POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Edile – Architettura

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dei Sistemi Edilizi

Scuola di Architettura e Società

Corso di Laurea Magistrale in Progetto Tecnologico-Strutturale delle Costruzioni

Percorsi medievali a Como: le Torri lungo le mura

Consolidamento e valorizzazione del patrimonio medievale comasco

Relatore: Prof. Ing. Lorenzo Jurina

Co-Relatore: Ing. A. Andrea Bassoli

Tesi di Laurea di :

Filippo MAGATTI matr. 746485

Nicolò ZUGNINO matr. 755022

Anna SERAFINI matr. 750748

Anno Accademico 2010-2011

Cogliamo l'occasione per ringraziare
il Prof. Ing. L. Jurina e il Prof. Ing. A. A. Bassoli
per averci seguito e guidato lungo tutto il periodo
di realizzazione della presente Tesi

Abstract – Italiano

Le Torri di Como richiedono **interventi di manutenzione straordinaria e consolidamento** strutturale. Si sono condotte una serie d'indagini: **l'analisi storica** ha permesso di definire le trasformazioni che le Torri hanno subito nel tempo; **il rilievo geometrico e topografico** ha consentito di quantificare i valori di fuoripiombo che interessano Torre Pantera e Torre Gattoni; **il rilievo materico, fotografico e patologico** ha evidenziato la forte presenza di materiale biologico e macchie, nonché di un **quadro fessurativo** a tutta altezza che, unito all'assenza di giunti di malta, comporta il **rischio di distacco di parti**.

Per approfondire le conoscenze acquisite, si è **elaborato un progetto di diagnostica** e **monitoraggio** consistente in una valutazione tecnica ed economica delle prove da eseguire su ogni singolo edificio.

Si è inoltre predisposto un **progetto di manutenzione straordinaria**, coordinato con un **piano di manutenzione**, utile per avviare la conservazione programmata del bene.

Sono stati sviluppati interventi di consolidamento strutturale specifici: **Porta Torre** e **San Vitale**, prive di copertura, necessitano del **consolidamento strutturale del coronamento**; **Torre Gattoni**richiede un **consolidamento strutturale** utile a migliorare il comportamento globale dell'edificio; **Torre Pantera** esige un **intervento di consolidamento strutturale di ricostruzione** dei solai e della copertura, e della messa in sicurezza di scale e volte.

L'obiettivo è rendere **nuovamente fruibili le Torri** e a tale fine si propongono interventi di rifunzionalizzazione quali: l'apertura di uno **spazio museale in Torre Gattoni**; la costruzione di una **scala monumentale in Porta Torre**; la **realizzazione di una passerella in Torre San Vitale** per collegarla al Museo Civico dalle mura, e la collocazione di funzioni di **promozione turistica in Torre Pantera.**

La valorizzazione delle Torri si completa con un itinerario storico artistico del periodo medievale della città di Como che, grazie agli interventi proposti, **vedrà nelle Torri e nelle nuove funzioni introdotte, una meta di primario e centrale interesse**.

Abstract – English

The **Como's towers are in need of extraordinary repairs and structural consolidation interventions**. In the present thesis, an exhaustive investigation program has been carried out. **An historical analysis** allowed tracking the modifications in time undergone by the Towers. **Geometric and topographic surveys** allowed the evaluation of the loss of verticality involving both Pantera and Gattoni Towers. **Material survey**, **picture reportage and pathological survey** pointed out the relevant presence of biologic materials and stains, together with a full-length diffused cracking that, added to the missing joint mortar, may lead to the falling of stone pieces.

To delve into the acquired information, a **detailed diagnostic and monitoring project** has been developed, consisting in technical and cost evaluation of the tests to be performed on each building.

Additionally, a **plan of extraordinary repairs joined to a plan of ordinary maintenance**, useful to begin a programmed preservation of the towers, has been defined.

Particular consolidation interventions have been developed. The unroofed **Porta Torre and San Vitaleare in need of structural reinforcement** at the top; **Torre Gattoni requires a structural consolidation**, helpful in improving the whole performance of the building; **Torre Pantera calls for structural consolidation interventions**, to rebuild stories and roof, and to improve the safety of staircases and vaults.

The final goal is to bring the Towers back to fruition and, to this aim, new revitalizing functions are proposed, such as the **opening of a museum area in Torre Gattoni**, the **construction of a monumental staircase in Porta Torre**, the installation of a footbridge to **connect** along the city walls **Torre San Vitale and the Civic Museum**, and the setting of **touristic info spots in Torre Pantera**.

The enhancement of the Towers is completed by the definition of a historic-artistic itinerary in the medieval period of Como's town, where, thanks to the proposed interventions, **the Towers and the new activities will become a primary and central interest destination.**

Premessa

La Tesi è stata la prima concreta occasione per sperimentare le conoscenze acquisite in cinque anni di studio al Politecnico di Milano. I primi schizzi, i primi ragionamenti e i primi elaborati presero forma nell'ottobre 2010 quando,durante lo svolgimento del Corso di Riabilitazione e Consolidamento delle Strutture, tenuto dal Prof. Ing. L. Jurina e dal Prof. Ing. A. Bassoli nell'anno accademico 2010-11, ci fu presentata l'opportunità di svolgere il Tirocinio presso lo Studio Tecnico Prof. Ing. L. Jurina. Il professore ci propose di seguire il progetto di consolidamento e rifunzionalizzazione di Torre Pantera, un edificio medievale posto a pochi passi dal Duomo della città di Como, per il quale si prefigurava un urgente intervento di ripristino della copertura a seguito di un crollo. Grazie a quest'opportunità iniziò la collaborazione tra una studentessa della Scuola di Architettura e Società e due studenti della Scuola di Ingegneria dei Sistemi Edilizi.Questa prima fase di lavoro si concluse nel mese di maggio 2011 con la consegna del progetto esecutivo del consolidamento strutturale di Torre Pantera, redatto in collaborazione e sotto la supervisione del Prof. Ing. L. Jurina, presso l'Ufficio Tecnico del Comune di Como.

Le tematiche affrontate in questa prima esperienza ci portarono ad approfondire il lavoro svolto e ad estendere il nostro interesse alle Torri poste lungo le mura medievali della Città.

Grazie alla disponibilità del Direttore del Settore Edilizia Pubblica e Ufficio Tecnico Estimativo Dott. Ing. A. Ferro e del Referente di Settore Dott. Arch. P. Pappalardo, a partire dal mese di giugno 2011 iniziò la seconda fase di lavoro che ha portato alla stesura della presente Tesi.

A oggi le Torri oggetto di studio sono edifici monumentali, eredità di un passato lontano, che a causa di mancanza di manutenzione e d'impossibilità di utilizzo si trovano a ricoprire un ruolo marginale, di monumento non vissuto. L'obiettivo principale è stato quello di realizzare un elaborato che possa essere uno strumento di lavoro per chi, speriamo in un futuro prossimo, si occuperà delle Torri. È stato realizzato un quadro conoscitivo storico, geometrico, fotografico e patologico, proponendo attività urgenti di diagnostica e monitoraggio, unitamente ad interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria finalizzata alla conservazione programmata del bene. Gli studi da noi condotti hanno evidenziato la necessità di predisporre interventi di consolidamento, anche urgenti, che possano migliorare le condizioni attuali delle strutture aprendo la strada a ipotesi di rifunzionalizzazione degli edifici.

Anna Serafini - Scuola di Architettura e Società
Filippo Magatti - Scuola di Ingegneria dei Sistemi Edilizi
Nicolò Zugnino - Scuola di Ingegneria dei Sistemi Edilizi

A. Indice

Abstract – Italiano V

Abstract – English VII

Premessa IX

A.Indice XI

B. Indice delle tavole XIX

B.1. Tavole di Rilievo XIX

B.2. Tavole dei Consolidamenti XXI

B.3. Tavole delle Rifunzionalizzazioni XXII

B.4. Proposte di Cartellonistica XXII

C. Indice delle figure XXIII

Introduzione XXXIII

1. Le Torri e la loro storia 2

1.1.1. Dalla nascita della città alla composizione Repubblicana delle mura 2

1.1.2. Da Como medievale alle vicende attuali 5

1.2. Le Torri medievali della città di Como 10

1.2.1. Porta Torre 11

1.2.2. Torre San Vitale 18

1.2.3. Torre Gattoni 24

1.2.4.Torre Pantera 29

2. Rilievo dello stato di fatto 37

2.1. Introduzione 37

2.2. Rilievo Fotogrammetrico 38

2.3. Rilievo Topografico 38

2.3.1. Porta Torre 39

2.3.2. Torre Gattoni 41

2.3.3. Torre San Vitale 44

2.4. Interpretazione della verticalità delle murature perimetrali 46

2.4.1. Porta Torre 46

2.4.2. Torre Gattoni 46

2.4.3. Torre San Vitale 48
2.4.4. Torre Pantera 49
2.5. Rilievo delle patologie di degrado 50
2.5.1. Proprietà del materiale 51
2.5.2. Le cause del degrado degli elementi lapidei 52
2.5.2.1. Le azioni fisico-meccaniche 53
2.5.2.2. Le azioni chimiche 53
2.5.2.3. Le azioni biologiche 54
2.5.3. Patologie di degrado riscontrate e possibili procedure d'intervento 54
2.5.3.1. Deposito superficiale/Crosta 56
2.5.3.2. Efflorescenza 59
2.5.3.3. Presenza di ferri ossidati 60
2.5.3.4. Fessurazioni 61
2.5.3.5. Fronte di risalita 62
2.5.3.6. Graffiti vandalici 64
2.5.3.7. Macchie di ruggine 65
2.5.3.8. Mancanza 66
2.5.3.9. Patina biologica 67
2.5.3.10. Scagliatura 69
2.5.3.11. Presenza di vegetazione 70
2.5.3.12. Conclusioni 71
2.6. Analisi del quadro fessurativo 72
2.6.1. Porta Torre 72
2.6.2. Torre Gattoni 73
2.6.3. Torre San Vitale 75
2.6.4. Torre Pantera 76
3. Progetto di diagnostica e monitoraggio 81
3.1. Introduzione 81
3.2. Resistenza residua delle murature 82
3.2.1. Martinetti piatti 82
3.2.1.1. Misura dello stato di sollecitazione 82
3.2.1.2. Come si realizza la prova 83
3.2.1.3. Utilizzazione dei dati 83

3.2.1.4. Determinazione delle caratteristiche di deformabilità 85
3.2.1.5. Come si realizza la prova 85
3.2.1.6. Utilizzazione dei dati 86
3.2.2. Prove sclerometriche 88
3.2.2.1. Come si realizza la prova 89
3.2.2.2. Utilizzazione dei dati 89
3.3. Determinazione della tipologia muraria 90
3.3.1.Carotaggio 90
3.3.1.1. Come si realizza la prova 90
3.3.1.2. Utilizzazione dei dati 91
3.3.2. Endoscopia 91
3.3.2.1. Come si realizza la prova 91
3.3.2.2. Utilizzazione dei dati 92
3.3.3. Georadar – GPR Ground Penetrating Radar 92
3.3.3.1. Come si realizza la prova 93
3.3.3.2. Utilizzazione dei dati 93
3.3.4. Prove soniche 94
3.3.4.1. Come si realizza la prova 94
3.3.4.2. Utilizzazione dei dati 95
3.3.4.3. Tomografia sonica 97
3.4. Lo stato complessivo dell'edificio 97
3.4.1. Inclinometro 97
3.4.1.1. Come si realizza la prova 98
3.4.1.2. Utilizzazione dei dati 98
3.4.2. Fessurimetro 98
3.4.2.1. Come si realizza la prova 99
3.4.2.2. Utilizzazione dei dati 99
3.5.1. Prova dinamica con accelerometri 99
3.5.1.1. Come si realizza la prova 100
3.5.1.2. Utilizzazione dei dati 100
3.6. Indagini geotecniche in sito 101
3.6.1. Sondaggi 102
3.6.1.1. Come si realizza la prova 102

3.6.1.2. Utilizzazione dei dati 104
3.6.2. Prove penetrometriche statiche 104
3.6.3.1. Come si realizza la prova 105
3.6.3.2. Utilizzazione dei dati 105
3.7. Monitoraggio 106
3.7. Progetto della diagnostica per le Torri di Como 107
3.8. Valutazione economica degli interventi 107
3.8.1. Porta Torre 108
3.8.2. Torre Gattoni 109
3.8.3. Torre San Vitale 110
3.8.4. Torre Pantera 111
3.8.5. Importo complessivo degli interventi 111

4. Progetto di manutenzione straordinaria e programmata 115

4.1. Stato attuale: valutazione della conservazione del bene 115
4.1.1. Porta Torre 116
4.1.2. Torre Gattoni 119
4.1.3. Torre San Vitale 123
4.1.4. Torre Pantera 126
4.2. Interventi di manutenzione finalizzati alla conservazione 128
4.2.1. Porta Torre 130
4.2.2. Torre Gattoni 131
4.2.3. Torre San Vitale 132
4.2.4. Torre Pantera 135
4.2.5. Interventi di manutenzione straordinaria in sintesi 136
4.3. Descrizione interventi – Capitolato speciale d'appalto 136
4.3.1.Pulizia da biodeteriogeni mediante estirpazione della vegetazione 137
4.3.2. Pulizia delle macchie e delle patine con idropulitrice e detergenti chimici 138
4.3.3. Ristilatura dei giunti con l'ausilio di malte di calce e sabbia 139
4.4. Analisi delle voci di lavoro per gli interventi di manutenzione straordinaria 140
4.4.1.Pulizia da biodeteriogeni mediante estirpazione della vegetazione 140
4.4.2. Lavaggio delle facciate a bassa pressione e con detergenti chimici 141
4.4.3. Ristilatura dei giunti delle murature 141
4.4.4. Riparazione degli elementi lapidei di coronamento 142

4.4.5. Inserimento reti metalliche 142
4.4.6. Riparazione impermeabilizzazione di copertura 143
4.5. Computo metrico estimativo della manutenzione straordinaria 143
4.5.1. Porta Torre 143
4.5.2. Torre Gattoni 146
4.5.3. Torre San Vitale 148
4.6. Valutazione comparata degli interventi di manutenzione sulle torri di Como 150
4.7. Manutenzione programmata 152
4.7.1. Piano di manutenzione 152

5. Interventi di consolidamento strutturale 163

5.1. Porta Torre 163
5.1.1. Consolidamento del coronamento 164
5.1.2. Cerchiatura esterna 165
5.1.3. Computo metrico estimativo 167
5.2. Torre Gattoni 169
5.2.1. Consolidamento con micropali 169
5.2.1.1 Micropali: descrizione, modalità esecutiva e principali verifiche 170
5.2.1.2. Verifica dell'instabilità o a carico di punta del palo immerso nel terreno 171
5.2.1.3. Calcolo a compressione, resistenza del palo 172
5.2.1.4. Capacità portante 173
5.2.1.5 Portanza laterale : effetto dell'attrito 175
5.2.1.6 Portanza di base della punta del palo 176
5.2.1.7 Ancoraggio alle strutture superiori[6] 176
5.2.1.8. Aspetti tecnologici dei micropali 176
5.2.1.9. Progetto dei micropali per il consolidamento della Torre Gattoni 177
5.2.1.10 Analisi dei Carichi 179
5.2.1.11. Verifica di instabilità 180
5.2.1.12. Verifica di resistenza 180
5.2.1.13. Verifica della capacità portante 181
5.2.1.14. Progetto dei collegamenti con la sovrastruttura 182
5.2.1.15. Computo metrico estimativo micropali 184
5.2.2. Cerchiatura interna 187
5.2.2.1. Dimensionamento cerchiatura 188

5.2.2.2. Effetto della cerchiatura 189
5.2.2.3. Calcolo dell'azione sismica 191
5.2.2.4. Modellazione dell'azione sismica 193
5.2.2.5. Computo metrico estimativo 198
5.3. Torre San Vitale 199
5.3.1. Consolidamento del coronamento con sistema a graffetta 200
5.3.1.2. Effetto della graffetta 201
5.3.2. Cerchiatura esterna 202
5.3.2.1. Effetto della cerchiatura esterna 203
5.3.3. Integrazione di una nuova copertura 204
5.3.4. Computo metrico estimativo 204
5.4. Torre Pantera 206
5.4.1. Interventi di consolidamento 207
5.4.2. Interventi di consolidamento nel vano scale 208
5.4.3. Descrizione delle tecniche di intervento 210
5.4.4. Materiali 212
5.4.5. Analisi dei carichi 213
5.4.5.1. Azione sismica 214
5.4.6. Combinazioni di carico 215
5.4.7. Verifiche: nuovi solai in legno 216
5.4.7.1. Verifiche impalcato in pannelli lignei multistrato incrociato 216
5.4.8. Verifiche: volta a botte 220
5.4.9. Verifiche: cerchiatura dei vani 223
5.4.9.1. Determinazione delle forze sismiche 223
5.4.10. Verifiche: appensione scala 228
5.4.11. Verifiche: nuova copertura 231
5.4.12. Computo metrico estimativo Torre Pantera 234

6. Proposte di recupero e rifunzionalizzazione 247

6.1. Introduzione 247
6.2. Porta Torre 250
6.2.1. Il modello strutturale - Scala 252
6.2.2. I carichi applicati - Scala 258
6.2.3. Risultati del modello - Azioni interne - Scala 259

6.2.4. Verifiche - Scala 262
6.2.4.1. Verifiche delle sezioni - Scala 262
6.2.4.2. Verifiche di resistenza - Scala 266
6.2.4.3. Verifiche di instabilità - Scala 281
6.2.4.4 Verifica dei collegamenti - Scala 289
6.2.5. Pre-dimensionamanto delle strutture di fondazione - Scala 294
6.2.5.1. Risultati del modello - Reazioni vincolari - Scala 295
6.2.5.2. Verifiche del collegamento a terra - Scala 296
6.2.6. Computo delle quantità – Scala 299
6.3. Torre Gattoni 300
6.4. Torre San Vitale 301
6.5. Torre Pantera 302

7. Itinerario architettonico medievale 309

7.1. Introduzione 309
7.2. Como medievale 309
7.3. Le tappe dell'itinerario 314

8. Conclusioni 359

9. Bibliografia 363
Allegato 1 – Scassi murari dei prospetti interni di Torre Pantera 369
Allegato 2 – Schede patologie di degrado 391
Allegato 3 – Schede progetto di diagnostica 459

B. Indice delle tavole

B.1. Tavole di Rilievo

Cod.			Torre	Titolo	Scala	Cap. Rifer.
Tav.	I.	1	Torri di Como	Inquadramento generale	F.S.	1
Tav.	I.	2	Porta Torre	Inquadramento fotografico	1:1000	1
Tav.	I.	3	Torre Gattoni	Inquadramento fotografico	1:1000	1
Tav.	I.	4	Torre San Vitale	Inquadramento fotografico	1:1000	1
Tav.	I.	5	Torre Pantera	Inquadramento fotografico	1:1000	1
Tav.	R.	1	Porta Torre	Planimetria	1:100 1:1000	2
Tav.	R.	2	Porta Torre	Pianta piano terra Pianta copertura	1:100	2
Tav.	R.	3	Porta Torre	Prospetto Nord Prospetto Ovest	1:200	2
Tav.	R.	4	Porta Torre	Prospetto Sud Prospetto Est	1:200	2
Tav.	R.	5	Porta Torre	Sezione BB Sezione DD	1:200	2
Tav.	R.	6	Porta Torre	Sezione AA Sezione CC	1:200	2
Tav.	R.	7	Torre Gattoni	Planimetria	1:100 1:1000	2
Tav.	R.	8	Torre Gattoni	Pianta livello terra Pianta sommità	1:100	2
Tav.	R.	9	Torre Gattoni	Pianta prima risega Pianta seconda risega	1:100	2
Tav.	R.	10	Torre Gattoni	Prospetto Nord Prospetto Ovest	1:200	2
Tav.	R.	11	Torre Gattoni	Prospetto Sud Ovest Prospetto Sud Est	1:200	2
Tav.	R.	12	Torre Gattoni	Prospetto est Sezione 4-4	1:200	2
Tav.	R.	13	Torre Gattoni	Sezione 3-3 Sezione 1-1	1:200	2
Tav.	R.	14	Torre Gattoni	Sezione 2-2 Sezione 5-5	1:200	2
Tav.	R.	15	Torre Gattoni	Inquadramento fotografico interni Livello Terra	F.S.	2
Tav.	R.	16	Torre Gattoni	Inquadramento fotografico interni Livello 1	F.S.	2
Tav.	R.	17	Torre San Vitale	Planimetria	1:100 1:1000	2
Tav.	R.	18	Torre San Vitale	Pianta livello terra Piante livello copertura	1:100	2
Tav.	R.	19	Torre San Vitale	Prospetto Nord Prospetto Ovest	1:200	2
Tav.	R.	20	Torre San Vitale	Prospetto Sud Ovest Prospetto Sud Est	1:200	2
Tav.	R.	21	Torre San Vitale	Prospetto Nord Est Sezioni 1-1 2-2	1:200	2
Tav.	R.	22	Torre Pantera	Planimetria	1:100 1:1000	2
Tav.	R.	23	Torre Pantera	Piante	1:100	2
Tav.	R.	24	Torre Pantera	Prospetto Sud Prospetto Est	1:100	2
Tav.	R.	25	Torre Pantera	Sezioni Prospetti interni	1:100	2
Tav.	R.	26	Torre Pantera	Inquadramento fotografico interni 1	F.S.	2
Tav.	R.	27	Torre Pantera	Inquadramento fotografico interni 2	F.S.	2
Tav.	R.	28	Torri di Como	Rilievo Topografico Schema di rilievo complessivo	F.S.	2
Tav.	R.	29	Porta Torre	Fuori piombo Rilievo topografico 2011	1:400	2
Tav.	R.	30	Torre Gattoni	Fuori piombo Rilievo topografico 2011	1:400	2
Tav.	R.	31	Torre Gattoni	Fuori piombo Rilievo topografico 1996	1:400	2
Tav.	R.	32	Torre Gattoni	Confronto rilievi topografici 1996-2011	F.S.	2
Tav.	R.	33	Torre San Vitale	Fuori piombo Rilievo topografico 2011	1:400	2
Tav.	R.	34	P.Torre – S.Vitale	Sintesi fuori piombo Rilievo 2011	F.S.	2

Tav.	R.	35	Porta Torre	Mappatura degradi Prospetto esterno nord	1:100	2
Tav.	R.	36	Porta Torre	Mappatura degradi Prospetto esterno ovest	1:100	2
Tav.	R.	37	Porta Torre	Mappatura degradi Prospetto esterno sud	1:100	2
Tav.	R.	38	Porta Torre	Mappatura degradi Prospetto esterno est	1:100	2
Tav.	R.	39	Porta Torre	Mappatura degradi Prospetto interno nord	1:100	2
Tav.	R.	40	Porta Torre	Mappatura degradi Prospetto interno ovest	1:100	2
Tav.	R.	41	Porta Torre	Mappatura degradi Prospetto interno sud	1:100	2
Tav.	R.	42	Porta Torre	Mappatura degradi Prospetto interno est	1:100	2
Tav.	R.	43	Porta Torre	Quadro fessurativo prospetti esterni	1:200	2
Tav.	R.	44	Porta Torre	Quadro fessurativo prospetti interni	1:200	2
Tav.	R.	45	Torre Gattoni	Mappatura degradi Prospetto esterno nord	1:100	2
Tav.	R.	46	Torre Gattoni	Mappatura degradi Prospetto esterno ovest	1:100	2
Tav.	R.	47	Torre Gattoni	Mappatura degradi Prospetto esterno sud-ovest	1:100	2
Tav.	R.	48	Torre Gattoni	Mappatura degradi Prospetto esterno sud-est	1:100	2
Tav.	R.	49	Torre Gattoni	Mappatura degradi Prospetto esterno est	1:100	2
Tav.	R.	50	Torre Gattoni	Mappatura degradi Prospetto interno nord	1:100	2
Tav.	R.	51	Torre Gattoni	Mappatura degradi Prospetto interno ovest	1:100	2
Tav.	R.	52	Torre Gattoni	Mappatura degradi Prospetto interno sud-ovest	1:100	2
Tav.	R.	53	Torre Gattoni	Mappatura degradi Prospetto interno sud-est	1:100	2
Tav.	R.	54	Torre Gattoni	Mappatura degradi Prospetto interno est	1:100	2
Tav.	R.	55	Torre Gattoni	Quadro fessurativo prospetti esterni	1:200	2
Tav.	R.	56	Torre Gattoni	Quadro fessurativo prospetti interni	1:200	2
Tav.	R.	57	Torre San Vitale	Mappatura degradi Prospetto esterno nord	1:100	2
Tav.	R.	58	Torre San Vitale	Mappatura degradi Prospetto esterno ovest	1:100	2
Tav.	R.	59	Torre San Vitale	Mappatura degradi Prospetto esterno sud-ovest	1:100	2
Tav.	R.	60	Torre San Vitale	Mappatura degradi Prospetto esterno sud-est	1:100	2
Tav.	R.	61	Torre San Vitale	Mappatura degradi Prospetto esterno nord-est	1:100	2
Tav.	R.	62	Torre San Vitale	Quadro fessurativo prospetti esterni	1:200	2
Tav.	R.	63	Torre Pantera	Mappatura degradi Prospetto esterno ovest	1:50	2
Tav.	R.	64	Torre Pantera	Mappatura degradi Prospetto esterno sud	1:50	2
Tav.	R.	65	Torre Pantera	Mappatura degradi e quadro fessurativo Prospetto interno nord	1:50	2
Tav.	R.	66	Torre Pantera	Mappatura degradi e quadro fessurativo Prospetto interno ovest	1:50	2
Tav.	R.	67	Torre Pantera	Mappatura degradi e quadro fessurativo Prospetto interno sud	1:50	2
Tav.	R.	68	Torre Pantera	Mappatura degradi e quadro fessurativo Prospetto interno est	1:50	2
Tav.	R.	69	Torre Pantera	Quadro fessurativo prospetto esterno ovest	1:50	2
Tav.	R.	70	Torre Pantera	Quadro fessurativo prospetto esterno sud	1:50	2

B.2. Tavole dei Consolidamenti

Cod.			Torre	Titolo	Scala	Cap. Rifer.
Tav.	C.	1	Porta Torre	Cerchiatura Prospetti e sezioni	1:100	5
Tav.	C.	2	Porta Torre	Cerchiatura Particolare	1:20 1:5	5
Tav.	C.	3	Torre Gattoni	Consolidamento con micropali	1:50 1:100	5
Tav.	C.	4	Torre Gattoni	Cerchiatura interna	1:50 1:100	5
Tav.	C.	5	Torre San Vitale	Consolidamento del coronamento e cerchiatura	1:100 1:20	5
Tav.	C.	6	Torre San Vitale	Proposta di inserimento di una nuova copertura	1:100 1:50 1:5	5
Tav.	C.	7	Torre Pantera	Vespaio armato Pianta e sezioni	1:50 1:20	5
Tav.	C.	8	Torre Pantera	Consolidamento della volta Pianta e sezioni	1:50 1:20	5
Tav.	C.	9	Torre Pantera	Nuovi solai Piante	1:50	5
Tav.	C.	10	Torre Pantera	Nuovi solai Particolari	1:10	5
Tav.	C.	11	Torre Pantera	Nuovi solai Particolari	1:10 1:2	5
Tav.	C.	12	Torre Pantera	Nuovi solai Modalità esecutive Livello I	1:50	5
Tav.	C.	13	Torre Pantera	Nuovi solai Modalità esecutive Livello II	1:50	5
Tav.	C.	14	Torre Pantera	Nuovi solai Distinta ferri	1:20 1:5	5
Tav.	C.	15	Torre Pantera	Nuova copertura Pianta e sezione	1:50	5
Tav.	C.	16	Torre Pantera	Nuova copertura Particolari	1:10	5
Tav.	C.	17	Torre Pantera	Consolidamento vano scale Piante	1:50	5
Tav.	C.	18	Torre Pantera	Consolidamento vano scale Sezione e particolari	1:50 1:10	5
Tav.	C.	19	Torre Pantera	Nuova copertura e consolidamento vano scale Distinta Ferri	1:100 1:50 1:10	5

B.3. Tavole delle Rifunzionalizzazioni

	Cod.		Torre	Titolo	Scala	Cap. Rifer.
Tav.	F.	1	Porta Torre	Progetto di rifunzionalizzazione Sezioni prospettiche e viste	-	6
Tav.	F.	2	Porta Torre	Progetto di rifunzionalizzazione Sezioni prospettiche e viste	-	6
Tav.	F.	3	Porta Torre	Progetto di rifunzionalizzazione Piante (+5.00 +8.50 m)	1:100	6
Tav.	F.	4	Porta Torre	Progetto di rifunzionalizzazione Piante (+14.70 +20.00 m)	1:100	6
Tav.	F.	5	Porta Torre	Progetto di rifunzionalizzazione Piante (+26.00 +35.00 m)	1:100	6
Tav.	F.	6	Porta Torre	Progetto di rifunzionalizzazione Sezione trasversale AA'	1:100	6
Tav.	F.	7	Porta Torre	Progetto di rifunzionalizzazione Particolari costruttivi Rampa	1:20 1:10	6
Tav.	F.	8	Porta Torre	Progetto di rifunzionalizzazione Particolari costruttivi Attacco a terra pilastri	1:20	6
Tav.	F.	9	Porta Torre	Progetto di rifunzionalizzazione Particolari costruttivi Attacco a terra rampa	1:20	6
Tav.	F.	10	Porta Torre	Progetto di rifunzionalizzazione Particolari costruttivi Pianerottoli	1:20	6
Tav.	F.	11	Porta Torre	Progetto di rifunzionalizzazione Particolari costruttivi Camminamento sommità	1:20	6
Tav.	F.	12	Torre Pantera	Progetto di recupero Sezione AA'	1:20	6
Tav.	F.	13	Torre Pantera	Progetto di recupero Piante piani terra e primo	1:100	6
Tav.	F.	14	Torre Pantera	Progetto di recupero Piante piani secondo e terzo	1:100	6

B.4. Proposte di Cartellonistica

	Cod.		Torre	Titolo	Scala	Cap. Rifer.
Tav.	P.	1	-	Itinerario	-	7
Tav.	P.	2	Torre Pantera	Cartello	-	7
Tav.	P.	3	Torre San Vitale	Cartello	-	7
Tav.	P.	4	Le mura orientali	Cartello	-	7
Tav.	P.	5	Torre Porta Torre	Cartello	-	7
Tav.	P.	6	Torre Gattoni	Cartello	-	7

C. Indice delle figure

Figura 1.1 - Pianta di Como da F. Frigerio 3

Figura 1.2 - Porta Praetoria da F. Frigerio 4

Figura 1.3 - Castello della Torre Rotonda, disegno originale Museo Garibaldi 5

Figura 1.4 - Facciata del Teatro Sociale su Piazza Verdi da della Torre Pantera 5

Figura 1.5 - Pianta di Como, Vincenzo Coronelli 6

Figura 1.6 - Veduta della città di Como, Vincenzo Coronelli 7

Figura 1.7 - Veduta della città di Como, Como Palazzo Vescovile 7

Figura 1.8 - Como, don Giovanni Battista Sesti 8

Figura 1.9 - Veduta di Como dalla Basilica di San Carpoforo, Alfred Guesdon 9

Figura 1.10 -Veduta di Como da est, Riccardo Piatti 10

Figura 1.11 -Prospetto nord di Porta Torre, Collezione famiglia dell'acqua 11

Figura 1.12 - Thomas Charles Naudet, Vue ganaral de la Ville de Como 12

Figura 1.13 - Porta Torre di Como, Giueseppe Elena 12

Figura 1.14 - Rilievo di Porta Torre Archivio di Stato di Como 13

Figura 1.15 - Dopo la resa, Francesco Capiaghi 14

Figura 1.16 - Progetto di ricostruzione mura Porta Torre Palazzo degli Studi 15

Figura 1.17 - Progetto di ricostruzione mura porta torre il Palazzo degli Studi 15

Figura 1.18 - Ripristino del passaggio dei pedoni e tratto di mura 15

Figura 1.19 - Porta Torre, Cartolina Fotografica 16

Figura 1.20 - Porta Torre in una fotografia degli anni '80 17

Figura 1.21 - Mappa della città di Como con parte de suoi Borghi e corpi Santi 18

Figura 1.22 - Torre San Vitale, Vista da via Balestra 19

Figura 1.23 - Restauro della sommità della Torre San Vitale 20

Figura 1.24 - Restauro della sommità della Torre San Vitale - Dettagli costrutti 20

Figura 1.25 - San Vitale fotografia 1989 21

Figura 1.26 - San Vitale fotografia 1989 21

Figura 1.27 - San Vitale Porzione di copertura Via Nazario Sauro 22

Figura 1.28 - San Vitale - Sommità parete Via Balestra 22

Figura 1.29 - San Vitale - Prospetto su Via Balestra 23

Figura 1.30 - San Vitale - Prospetto su Via Balestra Fotografia 23

Figura 1.31 - San Vitale - Ultimo fornice su Via Balestra 23

Figura 1.32 - San Vitale - Coronamento su Via Nazario Sauro 23
Figura 1.33 - Torre Gattoni vista da est 24
Figura 1.34 - Torre Gattoni vista da sud 24
Figura 1.35 - Prospetto interno nord della Torre Gattoni verso giardino pensile 25
Figura 1.36 - Torre Gattoni vista dal giardino pensile a nord 25
Figura 1.37 - Scala murata per accesso alla copertura della Torre Gattoni 26
Figura 1.38 - Copertura della Torre Gattoni: piedistallo del parafulmine 26
Figura 1.39 - Accesso con cancello del vano terra della Torre Gattoni 27
Figura 1.40 - Quadro elettrico presente al vano terra della Torre Gattoni 27
Figura 1.41 - Intradosso voltato della copertura di Torre Gattoni 28
Figura 1.42 - Copertura della Torre Gattoni 28
Figura 1.43 - Inquadramento urbanistico della Torre Pantera 29
Figura 1.44 - Contesto urbano della Torre Pantera 30
Figura 1.45 - Evoluzione della pianta del piano terra della Porre Pantera 32
Figura 1.46 - Localizzazione delle stratificazioni storiche nella Torre Pantera 33
Figura 1.47 - Localizzazione delle stratificazioni storiche nella Torre Pantera 34

Figura 2.1 - Elaborazione fotografica: Rilievo settembre 2011 38
Figura 2.2 - Schema pianta Porta Torre 46
Figura 2.3 - Schema pianta Torre Gattoni 47
Figura 2.4 - Schema pianta Torre Gattoni 47
Figura 2.5 - Schema pianta Torre S. Vitale 49
Figura 2.6 - Schema pianta Torre Pantera 49
Figura 2.7 - Vista del prospetto est interno di Torre Pantera 52
Figura 2.8 - Particolare delle pietre in arenaria di Moltrasio 52
Figura 2.9 - Esempio di graffito Torre Gattoni - rilievo 05-10-11 57
Figura 2.10 - Esempio di pulitura chimica dei graffiti 58
Figura 2.11 - Esempio di efflorescenza sulla facciata esterna ovest di Porta Torre 59
Figura 2.12 - Esempio di estrazione dei sali dalla muratura 59
Figura 2.13 - Esempio di elementi in ferro ossidati su Torre Gattoni 60
Figura 2.14 - Esempio di fessurazione su Torre Pantera 61
Figura 2.15 - Esempio di stilatura dei giunti 61
Figura 2.16 - Esempio di macchia di ruggine su Torre Pantera 62

Figura 2.17 - Esempio di mancanza su prospetto esterno ovest di Torre San Vitale 63
Figura 2.18 - Esempio di patina biologica su Torre Pantera 64
Figura 2.19 - Esempio di trattamento idrorepellente su muratura 64
Figura 2.20 - Esempio di patina scura sulla facciata interna est di Porta Torre 65
Figura 2.21 - Esempio di pulitura chimica delle patine scure 66
Figura 2.22 - Esempio di scagliatura su Torre Gattoni 67
Figura 2.23 - Esempio di presenza di piante su Porta Torre 68
Figura 2.24 - Esempio di presenza di umidità su Torre Pantera 69
Figura 2.25 - Esempio di sistema di drenaggio 70
Figura 2.26 - Fessura presente sul prospetto interno ovest di Porta Torre 72
Figura 2.27 - Fessura presente sul prospetto interno est di Porta Torre 72
Figura 2.28 - Fessura presente sul prospetto interno est di Porta Torre 72
Figura 2.29 - Schema fessure in pianta di Torre Gattoni - tav di rif.: R.8 73
Figure 2.30 - Fessure presenti sui prospetti Torre Gattoni 73
Figure 2.31 - Fessure presenti sui prospetti Torre Gattoni 73
Figure 2.32 - Fessure presenti sui prospetti Torre Gattoni 73
Figura 2.33 - Schema volumetrico di Torre Gattoni - vista da est 74
Figura 2.34 - Schema volumetrico di Torre Gattoni - vista da ovest 74
Figura 2.35 - Porzione di muratura ricostruita di Torre San Vitale 75
Figura 2.36 - Porzione di coronamento fessurata e sconnessa di San Vitale 75
Figura 2.37 - Torre Pantera - Assonometria in trasparenza dei muri sud ed ovest 76
Figura 2.38 - Torre Pantera - Fessure presenti sul prospetto interno est 77
Figura 2.39 - Torre Pantera - Fessure presenti sul prospetto interno sud 77
Figura 2.40 - Torre Pantera - Fessure presenti sul prospetto interno ovest 77
Figura 2.41 - Schema fessure in pianta di Torre Pantera 77
Figura 2.42 - Interpretazione di cinematismo Torre Pantera 78

Figura 3.1 - Esecuzione della prova con i martinetti piatti 83
Figura 3.2 - Esecuzione della prova con i martinetti piatti 83
Figura 3.3 - Esecuzione della prova con i martinetti piatti 83
Figura 3.4 - Esecuzione della prova con i martinetti piatti 83
Figura 3.5 - Esecuzione della prova con i martinetti piatti 83
Figura 3.6 - Schema di posa degli estensimetri removibili 84

Figura 3.7 - Risultati prova con un solo martinetto 84
Figura 3.8 - Posizionamento degli estensimetri 85
Figura 3.9 - Esecuzione della prova con doppio martinetto 86
Figura 3.10 - Grafico eseguito con doppio martinetto piatto 86
Figura 3.11 - Prova di carico eseguita con doppio martinetto piatto 87
Figura 3.12 - Schema di posa delle basi della prova 87
Figura 3.13 - Sclerometro analogico per prove su pietra 88
Figura 3.14 - Sclerometro, diagramma di valutazione dei dati 89
Figura 3.15 - Carotatrice esegue un foro in una muratura in pietra 90
Figura 3.16 - Carota di una muratura in pietra 91
Figura 3.17 - Indagine endoscopica 92
Figura 3.18 - Foro passante per indagine endoscopica 92
Figura 3.19 - Risultato grafico di una prova condotta con georadar 93
Figura 3.20 - Risultato grafico di una prova condotta con georadar 93
Figura 3.21 - Schema di funzionamento della prova sonica 94
Figura 3.22 - Schematizzazione prova sonica 95
Figura 3.23 - Schematizzazione prova sonica 95
Figura 3.24 - Schematizzazione prova sonica - Modalità di prova su superficie 96
Figura 3.25 - Risultato dell'indagine sonica su una superficie muraria 96
Figura 3.26 - Inclinometro digitale biassiale 98
Figura 3.27 - Fessurimetro analagico per superficie piana 98
Figura 3.28 - Fessurimetro analagico angolare 99
Figura 3.29 - Modalità di messa in opera degli accelerometri 99
Figura 3.30 - Diagramma della prova dinamica 100
Figura 3.31 - Mezzo compatto con sonda carotatrice in avanzamento 103
Figura 3.32 - Campionatore punta perforante 103
Figura 3.33 - Campioni di terreno estratti e depositati in sequenza 103
Figura 3.34 - Rielaborazione di una sezione stratigrafica 104
Figura 3.35 - Prova penetro metrica 104
Figura 3.36 - Prova penetro metrica 104
Figura 3.37 - Prova penetrometrica 105

Figura 4.1 - Porta Torre - Degrado del coronamento 116

Figura 4.2 - Porta Torre - Prospetto est diffusione di patine e percolamenti 117
Figura 4.3 - Porta Torre - Reti in nylon degradate 118
Figura 4.4 - Torre Gattoni - Copertura 119
Figura 4.5 - Torre Gattoni - Punto di raccolta delle acque in copertura 119
Figura 4.6 - Torre Gattoni - Pluviale di scarico 119
Figura 4.7 - Torre Gattoni - Foto raddrizzamento del prospetto ovest 120
Figura 4.8 - Torre Gattoni - Fessurazioni e rigonfiamenti 120
Figura 4.9 - Torre Gattoni - Scala murata 121
Figura 4.10 - Torre Gattoni - Prospetto interno nord 122
Figura 4.11 - Torre San Vitale - Coronamento 123
Figura 4.12 - Torre San Vitale - Rigonfiamento delle pietre in sommità 123
Figura 4.13 - Torre San Vitale - Rigonfiamento delle pietre in sommità 123
Figura 4.14 - Torre San Vitale - Prospetti su Via Balestra - Via Nazario Sauro 124
Figura 4.15 - Torre San Vitale - Vicinanza con strada 125
Figura 4.16 - Torre Pantera - Crollo della copertura su Via Rodari 126
Figura 4.17 - Torre Pantera - Stato di degrado del coronamento 127
Figura 4.18 - Torre Pantera - Realizzazione del ponteggio in seguito al crollo 127
Figura 4.19 - Torre Pantera - Ambiente interno a cielo aperto 128
Figura 4.20 - Torre Pantera - vano scale puntellato con picchetti di legno 128
Figura 4.21 - Diagramma di lavoro piattaforma aerea 280 Kg PLJ360 151

Figura 5.1. - Porta Torre - Schema statico di calcolo delle cerchiature 165
Figura 5.2 - Torre Gattoni - Pianta livello terra sovrapposizione pianta copertura 169
Figura 5.3 - Fasi esecutive di un micropalo 170
Figura 5.4 - Carta Geologica d'Italia foglio 32 Como 177
Figura 5.5 - Carta Geologica d'Italia foglio 32 Como 178
Figura 5.6. - Torre Gattoni - Quadro fessurativo 187
Figura 5.7. - Torre Gattoni - Schema statico di calcolo delle cerchiature 188
Figura 5.8. - Torre Gattoni - Pianta di riferimento 189
Figura 5.9 - Torre Gattoni - distribuzione in altezza delle azioni orizzontali sismiche 195
Figura 5.10 - Torre Gattoni - distribuzione in pianta delle azioni orizzontali sismiche 195
Figura 5.11 - Torre San Vitale - Schema statico di calcolo delle cerchiature 201
Figura 5.12 - Torre Pantera - Schema di calcolo dell'impalcato posa pannelli lignei 216

Figura 5.13 - Torre Pantera - Schema di appoggio dell'impalcato ligneo 219
Figura 5.14 - Torre Pantera - Schema della volta e sezione della torre 220
Figura 5.15 - Torre Pantera - Azioni nella volta e curva delle pressioni 222
Figura 5.16 - Torre Pantera - Azioni interne nella volta 222

Figura 6.1 - Porta Torre - Il prospetto nord della Torre e la scala. 247
Figura 6.2 - Porta Torre - La scala vista dai pedoni 247
Figura 6.3 - Porta Torre -Panorama del ballatoio di sommità della scala 247
Figura 6.4 - Porta Torre - Vista della parte superiore della rampa 251
Figura 6.5 - Porta Torre - Vista della parte inferiore della rampa 251
Figura 6.6 - Porta Torre - Vista delle mensole 251
Figura 6.7 - Porta Torre - Vista degli irrigidimenti della passerella di copertura 251
Figura 6.8 - Porta Torre - Rappresentazione delle geometrie del modello 252
Figura 6.9 - Porta Torre – L'applicazione dei carichi al modello 252
Figura 6.10 - Porta Torre - Modello in Sap 2000 la parte inferiore della scala 254
Figura 6.11 - Porta Torre - Modello in Sap 2000: la parte inferiore della scala 254
Figura 6.12 - Porta Torre - Modello in Sap 2000 l'applicazione dei carichi 255
Figura 6.13 - Porta Torre - Modello in Sap 2000 le reazioni vincolari 256
Figura 6.14 - Porta Torre - Diagramma degli sforzi di azione assiale 256
Figura 6.15 - Porta Torre - Diagramma degli sforzi di taglio 256
Figura 6.16 - Porta Torre - Diagramma degli sforzi di taglio 257
Figura 6.17 - Porta Torre - Diagramma degli sforzi di torsione 257
Figura 6.18 - Porta Torre - Diagramma dei momenti 257
Figura 6.19 - Porta Torre - Diagramma dei momenti 257
Figura 6.20 - Orientamento degli assi e delle forze agenti sulle sezioni 266
Figura 6.21 - Porta Torre - Esploso dello scalino 289
Figura 6.22 - Porta Torre - Particolare della corona 291
Figura 6.23 - Porta Torre - Pianta della platea di fondazione 294
Figura 6.24 - Porta Torre - Sezione del plinto 294
Figura 6.25 - Porta Torre - Connessione plinto pilastro 295
Figura 6.26 - Porta Torre - Schema azioni agenti 296
Figura 6.27 - Porta Torre - Piastra di fondazione in acciaio 296
Figura 6.28 - Torre Gattoni - Quadro elettrico 300

Figura 6.29 - Torre Gattoni - Soletta in c.a. 300
Figura 6.30 - Torre Gattoni - Render della scala interne 301
Figura 6.31 - Torre Gattoni - Render primo piano 301
Figura 6.32 - Torre San Vitale - Scala di accesso dalle mura 301
Figura 6.33 - Torre San Vitale - Scala di accesso 301
Figura 6.34 - Torre Pantera - Il complesso da piazza Verdi 302
Figura 6.35 - Torre Pantera - Edificio orientale 303
Figura 6.36 - Torre Pantera - Impalcato provvisorio nel vano scala 303
Figura 6.37 - Uffici di promozione turistica 304
Figura 6.38 - Torre Pantera - Sezione 304
Figura 6.39 - Torre Pantera - Pianta piano terra 305
Figura 6.40 - Torre Pantera - Pianta piano primo 305
Figura 6.41 - Torre Pantera - Pianta piano secondo 305
Figura 6.42 - Torre Pantera - Pianta piano terzo 305

Figura 7.1 - Cartina di Como del 1844 - Como: le mura 311
Figura 7.2 - Veduta della città da nord-ovest, incisione del 1724 313
Figura 7.3 - Tratto di mura orientali stazione Como Lago 314
Figura 7.4 - Pianta di Porta Portello del settecento Como: le mura 314
Figura 7.5 - Il Castello della Torre Rotonda in un disegno dell'ingegner Zambra 315
Figura 7.6 - Torre Pantera - rilievo fotografico 26-10-10 316
Figura 7.7 - Palazzo Pantera - Rusconi - rilievo fotografico 05-10-11 316
Figura 7.8 - Palazzo al numero 9 di via Rodari - rilievo fotografico 05-10-11 317
Figura 7.9 - Chiesa di S. Provino - rilievo fotografico 05-10-11 317
Figura 7.10 - Palazzo al numero 42 di piazza Roma - rilievo fotografico 05-10-11 318
Figura 7.11 - Il cortile interno del vescovado - rilievo fotografico 05-10-11 319
Figura 7.12 - Chiesa di S. Giacomo - rilievo fotografico 05-10-11 320
Figura 7.13 - Ricostruzione Como medievale - Como e la sua storia 320
Figura 7.14 - Il palazzo del Broletto - rilievo fotografico 05-10-11 322
Figura 7.15 - Il pretorio in un dipinto del seicento Como: le mura 323
Figura 7.16 - La demolizione del quartiere della Cortesella 323
Figura 7.17 - La torre mercanti in via Ballarini 9 - rilievo fotografico 05-10-11 324
Figura 7.18 - Negozio al piano terra di via Vittani - rilievo fotografico 05-10-11 325

Figura 7.19 - Base di torre Demorata in via Vittani - rilievo fotografico 05-10-11 326
Figura 7.20 - Casa caritativa di Giovannina Franchi - rilievo fotografico 05-10-11 326
Figura 7.21 - La residenza dei Vittani - rilievo fotografico 05-10-11 326
Figura 7.22 - La residenza Giuliani - rilievo fotografico 05-10-11 327
Figura 7.23 - Casa al numero 4 di via Cinque Giornate - rilievo fotografico 05-10-11 327
Figura 7.24 - I resti della di S. Maria Maddalena - rilievo fotografico 07-10-11 328
Figura 7.25 - Casa al numero 23 di via Lambertenghi - rilievo fotografico 07-10-11 328
Figura 7.26 - Casa al numero 35 di via Lambertenghi - rilievo fotografico 07-10-11 328
Figura 7.27 - Un palazzo in via Bonanomi - rilievo fotografico 07-10-11 329
Figura 7.28 - La residenza del Pero - rilievo fotografico 07-10-11 329
Figura 7.29 - Facc. di S. Fedele e la casa adiacente - rilievo fotografico 05-10-11 330
Figura 7.30 - L'abside di S. Fedele - rilievo fotografico 05-10-11 330
Figura 7.31 - Giardini pubblici via Vittorio Emanuele - rilievo fotografico 05-10-11 331
Figura 7.32 - La torre degli Asini vista da via Luini - rilievo fotografico 05-10-11 331
Figura 7.33 - Le case su piazza S. Fedele - rilievo fotografico 05-10-11 332
Figura 7.34 - Facc. romanica dell'ex S. Pietro in Atrio - rilievo fotografico 05-10-11 332
Figura 7.35 - La torre nel palazzo del Municipio - rilievo fotografico 05-10-11 333
Figura 7.36 - La facciata di una casa in via Rovelli - rilievo fotografico 07-10-11 333
Figura 7.37 - I resti medievali di palazzo Giovio - rilievo fotografico 05-10-11 334
Figura 7.38 - La chiesa di S. Sisto 334
Figura 7.39 - Il portone delle ex case Lucini - rilievo fotografico 05-10-11 334
Figura 7.40 - Torre S. Vitale - rilievo fotografico 25-07-11 335
Figura 7.41 - Le mura collegate alla Torre S. Vitale - rilievo fotografico 29-09-11 335
Figura 7.42 - I giardini pubblici vicino mura sud - rilievo fotografico 29-09-11 336
Figura 7.43 - Il tratto di mura orientali vicino Duomo - rilievo fotografico 29-09-11 336
Figura 7.44 - Il primo tratto delle mura meridionali - rilievo fotografico 29-09-11 337
Figura 7.45 - L'ex chiesa di S. Francesco - rilievo fotografico 07-10-11 337
Figura 7.46 - Porta Torre - rilievo fotografico 25-07-11 338
Figura 7.47 - Il portale di S. Margherita alla Pinacoteca 338
Figura 7.48 - Via Milano - rilievo fotografico 07-10-11 339
Figura 7.49 - L'ex convento di S. Lazzaro - rilievo fotografico 07-10-11 339
Figura 7.50 - L'abside e il campanile di S. Carpoforo - rilievo fotografico 07-10-11 340
Figura 7.51 - I resti della chiesa di S. Martino - rilievo fotografico 07-10-11 341

Figura 7.52 - La torre del Baradello - rilievo fotografico 07-10-11 342
Figura 7.53 – L'abside e i campanili di S. Abbondio - rilievo fotografico 07-10-11 343
Figura 7.54 – L'interno della chiesa di S. Abbondio - rilievo fotografico 07-10-11 343
Figura 7.55 - Il cortile del monastero di S. Abbondio - rilievo fotografico 07-10-11 344
Figura 7.56 – L'abside di S. Cosma e Damiano - rilievo fotografico 07-10-11 344
Figura 7.57 - Resti '300 Conservatorio G. Verdi - rilievo fotografico 07-10-11 344
Figura 7.58 - Tratto mura sud, vicino T. Gattoni - rilievo fotografico 29-09-11 345
Figura 7.59 - Torre Gattoni - rilievo fotografico 25-07-11 345
Figura 7.60 - I giardini pubblici lungo alle mura - rilievo fotografico 29-09-11 346
Figura 7.61 - Palazzo Erba Odescalchi - rilievo fotografico 05-10-11 346
Figura 7.62 - La parete esterna di S. Eusebio rilievo fotografico 05-10-11 347
Figura 7.63 - Resti medievali nella facciata via Volta 3 - rilievo fotografico 07-10-11 347
Figura 7.64 - La casa mercantile via Volta - rilievo fotografico 07-10-11 348
Figura 7.65 - Pianta di Porta Sala del settecento 348
Figura 7.66 - via Borgo Vico - rilievo fotografico 07-10-11 349
Figura 7.67 - La chiesa di S. Giorgio - rilievo fotografico 07-10-11 349
Figura 7.68 - Casa Bazzi - rilievo fotografico 07-10-11 350
Figura 7.69 - Facciata della casa in via Muralto 39- rilievo fotografico 07-10-11 351
Figura 7.70 - Veduta del porto di Como da est 352
Figura 7.71 - Fianco della città verso il borgo S.Agostino 352
Figura 7.72 - via Trieste - rilievo fotografico 05-10-11 353
Figura 7.73 - Via Parravicini - rilievo fotografico 05-10-11 353
Figura 7.74 - La chiesa di S. Agostino - rilievo fotografico 05-10-11 354
Figura 7.75 - L'interno della chiesa di S. Agostino - rilievo fotografico 05-10-11 355
Figura 7.76 – L'itinerario proposto 356

Introduzione

La presente Tesi analizza le Torri di Como che appartengono alla cinta muraria medievale. Si tratta di quattro edifici di proprietà del Comune per i quali, allo stato attuale, non esiste una destinazione d'uso e un programma di manutenzione e valorizzazione. L'obiettivo del presente elaborato è di colmare queste lacune tramite una conoscenza storica, geometrica e materica approfondita, un programma di manutenzione, un progetto di consolidamento delle strutture ed uno studio di rifunzionalizzazione degli edifici.

Data l'importanza storica delle Torri, si è resa necessaria un'approfondita ricerca documentale che ha permesso di conoscere quelle che sono state le trasformazioni che le Torri hanno subito nel tempo. In particolare tre sono gli edifici che ancora oggi si trovano addossati alle mura: Torre Gattoni, Porta Torre e Torre San Vitale; Torre Pantera è posta in una zona della città, quella prossima al Duomo, in cui le antiche mura non sono più visibili, ma l'accorpamento alla cinta muraria trova riscontro nelle fonti storiche.

Per intervenire su edifici di tale importanza è risultato necessario sviluppare un quadro conoscitivo molto approfondito al quale si è pervenuti tramite una campagna di rilievo (topografico, fotografico e materico) che ha permesso di acquisire informazioni di tipo geometrico e patologico delle superfici. Per tutte le Torri è stato possibile effettuare i rilievi interni ed esterni ad eccezione della Torre San Vitale, nella quale è risultato impossibile accedere in condizioni di sicurezza. Al fine di rendere quanto più completo il quadro di conoscenze, utili nelle successive fasi di progettazione, si è proposta una serie di prove diagnostiche e di monitoraggio in grado di dare informazioni sullo stato delle strutture.

Lo strumento fornito dal presente elaborato è un progetto di diagnostica, redatto per ogni singola Torre, contenente le modalità esecutive delle prove approfondite nel capitolo 3. L'Ente Pubblico potrà servirsene come strumento per stabilire le indagini da effettuare.

Completata la fase conoscitiva degli edifici si è predisposta una campagna di manutenzione straordinaria, valutata per ogni torre a seconda delle necessità evidenziate. Gli interventi più frequenti che si sono resi necessari sono: la pulizia dei prospetti da agenti biologici e macchie, la ristilatura dei giunti tra le pietre e la riparazione della copertura. Il programma di manutenzione straordinaria si compone di analisi di carattere operativo, tecnico ed economico. A seguito della manutenzione straordinaria si propone un piano di manutenzione,che simula i controlli periodici e gli interventi programmati svolti dall'Ente Pubblico, al fine di conservare le torri in condizioni ottimali.

Successivamente è stato sviluppato il progetto dei consolidamenti strutturali delle Torri in oggetto. In particolare per Porta Torre si prevede il consolidamento del paramento murario in corrispondenza del coronamento tramite iniezioni di boiacca di calce idraulica e acqua con l'aggiunta di fluidificanti anti ritiro, unitamente alla messa in opera di diatoni. In corrispondenza di questi elementi si propone una cerchiatura esterna della Torre, in grado di migliorare il comportamento scatolare dell'edificio nel suo complesso.

Torre Gattoni presenta elevati fuori-piombo di alcuni suoi prospetti, evidenziati tramite rilievo topografico. Per fare fronte a tale problematica si propone l'esecuzione di micropali, posti lungo il perimetro interno ed esterno dei paramenti murari maggiormente interessati al fenomeno.Inoltre, sono stati previsti sette ordini di cerchiature poste in opera su lato interno. Tali interventi, lavorando simultaneamente, sono in grado di arrestare eventuali cinematismi ancora in attoe garantiscono un ripristino della monoliticità dell'edificio.

Lo sviluppo dei progetti di consolidamento e di rifunzionalizzazione della Torre San Vitalesono stati influenzati dall'impossibilità di accedere. Si è predisposto, per la Torre, un consolidamento del coronamento delle murature, al fine di migliorare il comportamento della parte alta dell'edificio che, allo stato attuale, si presenta priva di copertura. È stata prevista l'installazione di cavi d'acciaio in grado di cucire gli elementi lapidei in sommità, l'esecuzione di iniezioni di boiacca di calce idraulica e acqua con l'aggiunta di fluidificanti anti ritiro,l'introduzione di diatoni di acciaio, e la cerchiatura esterna in corrispondenza delle piastre di ancoraggio delle barre passanti. Un progetto esecutivo di tali interventi non potrà prescindere da futuri rilievi interni.

Il progetto di consolidamento e rifunzionalizzazione di Torre Pantera è stato svolto in collaborazione con lo Studio Tecnico del Prof. Ing. L. Jurina, per il quale abbiamo redatto parte del materiale che costituisce il progetto esecutivo presentato all'Ufficio Tecnico del Comune nel maggio 2011. Le proposte di consolidamento sono costituite dalla realizzazione di un vespaio armato, di una cappa armata estradossale in corrispondenza della volta, di cerchiature interne in corrispondenza dell'installazione dei nuovi solai lignei e della nuova copertura. Il progetto comprende inoltre un consolidamento murario tramite l'utilizzo della tecnica del Reticolatus e il consolidamento del vano scale tramite l'appensione delle rampe alla copertura.

Beni monumentali come le Torri in oggetto, sono spesso soggetti a problematiche di degrado e incuria a causa di un mancato utilizzo e funzionalità degli stessi. Per fare fronte a tale mancanza, si è sviluppato un piano di rifunzionalizzazione che preveda un utilizzo pubblico delle Torri, per un reinserimento nella vita della città.

Porta Torre, collocata nella centrale Piazza Vittoria, è un luogo ideale per ammirare la città dall'alto. Allo stato attuale, l'edificio è privo di solai e di copertura ed è utilizzato come porta di accesso all'area pedonale del centro storico. Si è prevista l'installazione di una scala metallica che possa permettere di elevare il punto di vista dell'osservatore portandolo a beneficiare di un nuovo punto di vista sulla città. Una progettazione architettonica e strutturale molto approfondita ha permesso di realizzare una scala dalle forme uniche e irregolari che si pone in contrasto con un edificio di 1000 anni, valorizzandone la presenza.

Torre Gattoni è costituita da due vani non comunicanti tra loro. Quello inferiore è adibito a centralina elettrica ora in disuso; quello superiore è vuoto ed è utilizzato occasionalmente da un privato. A causa dell'assenza di connettivi verticali, non è possibile renderla completamente fruibile al pubblico. Il progetto di rifunzionalizzazione prende spunto dalla storia dell'edificio. Nel Settecento la Torre era adibita a laboratorio di osservazione dei fenomeni elettrici dal canonico Gattoni, da cui il nome, e nel secolo scorso, ha ospitato la prima centralina elettrica di Como, della quale restano i trasformatori, veri e propri monumenti dell'archeologia industriale. Inserendo una scala si realizza la connessione tra i vani, potendo sviluppare così un percorso all'interno della Torre. La proposta è di realizzare il "Museo della Luce" che prevede l'esposizione delle attrezzature elettriche, al piano terra, e un percorso visivo al piano superiore che illustrerà l'evolversi della tecnologia della luce: dalle prime lampade elettriche ai moderni apparecchi d'illuminazione.

La rifunzionalizzazione di San Vitale è stata ostacolata dall'impossibilità di accedere all'edificio e la conseguente impossibilità di conoscere le geometrie e le volumetrie interne. Tuttavia l'ipotesi di utilizzo dell'edificio prende spunto dalla vicinanza con il Museo Civico Paolo Giovio con la possibilità di mettere in comunicazione il complesso museale con la Torre. Il percorso si sviluppa lungo un tratto delle mura medievali per il quale è necessario una pulizia dagli arbusti per permettere il passaggio. L'accesso a San Vitale è garantito dall'installazione di una scala che mette in comunicazione le mura con l'interno dell'edificio.

Torre Pantera è collocata in una zona particolarmente pregiata della città. A pochi metridi distanza sorgono il Duomo, il Teatro Sociale e la Ex Casa del Fascio di Terragni. Il recupero funzionale dell'edificio prevede l'inserimento al piano terra di una struttura di ricezione e promozione turistica e, ai piani alti,gli Uffici dell'Assessorato al Turismo.

Le quattro Torri presentate si possono inquadrare in un più ampio panorama di monumenti della città di Como. I punti d'interesse medievale, sono molteplici, e spesso si corre il rischio di non valorizzarli nel modo adeguato. Si propone quindi, a completamento del lavoro svolto, un

itinerario storico che raggiunge i più importanti siti medievali comaschi, facendo vivere nuovamente le Torri.

1.

Le Torri e la loro storia

1. Le Torri e la loro storia

1.1.1. Dalla nascita della città alla composizione Repubblicana delle mura

L'evoluzione della città murata si identifica quasi completamente con la storia di Como nel suo complesso, e costituisce il nucleo centrale e fondamentale almeno dall'epoca romana, cioè dalla fondazione cesariana del 59 a.C. È questo il punto fermo che segna la storia della città nel luogo in cui si trova. Resta ancora incerta e priva di riscontri archeologici l'ipotesi che già in epoca preromana i Comensi si siano insediati in una parte della convalle non del tutto impaludata.

L'ubicazione del centro urbano venne decisa in ragione della favorevole posizione geografica, prossima alle sponde del lago e circondata dalle colline, così da avere al tempo stesso facile accesso alle vie di comunicazione e notevole protezione strategica e climatica.

Il più evidente lascito della fondazione romana di *Novum Comum* è rappresentato per la maggior parte degli studi storici, dalla struttura stessa della città, dal suo impianto urbanistico che si fa risalire al modello castramentato, cioè assimilato alla disposizione degli accampamenti militari. In realtà, la progressiva conoscenza del sottosuolo urbano, acquisita negli ultimi decenni grazie a sempre più frequenti scavi archeologici, ha rilevato una situazione assai più complessa di quella che un lineare sviluppo dall'età romana ai giorni nostri farebbe presumere. Tralasciando le molte tesi sulla composizione del perimetro della città pubblicate nei primi anni del '900 ad opera di illustri studiosi comaschi tra cui l'arch. Caniggia, l'arch. Frigerio, il Prof. Gianoncelli, il prof. Maggi, a seguito di importanti ritrovamenti archeologici è interessante sottolineare gli aspetti che hanno determinato la conformazione attuale delle mura e delle torri nonché della composizione urbana. L'unico elemento certo, allo stato attuale delle conoscenze, è l'estensione del perimetro fortificato, identificato sui lati rivolti a est, sud,e a ovest. È stato possibile, grazie ai ritrovamenti recenti, comporre il perimetro murario d'età romana e medievale. Alla pagina seguente è riportata una mappa realizzata dall'arch. Frigerio nella sua pubblicazione nella Rivista della Società Archeologica Comense che restituisce la stratificazione sulla mappa della città di Como degli anni '30 del novecento, e la composizione del perimetro murario d'età romana e medievale, restituito in rosso. Il perimetro murario costituito da un grande rettangolo di 560 X 445 m è un opera perfetta e nel contempo di austera semplicità, ove la monotonia della linea è rotta solo dalle quattro porte fiancheggiate ognuna da due torri, poste al centro dei quattro lati: la *Porta Praetoria* (così impropriamente definita, poiché dovrebbe rivolgersi a est) sul lato di mezzogiorno;

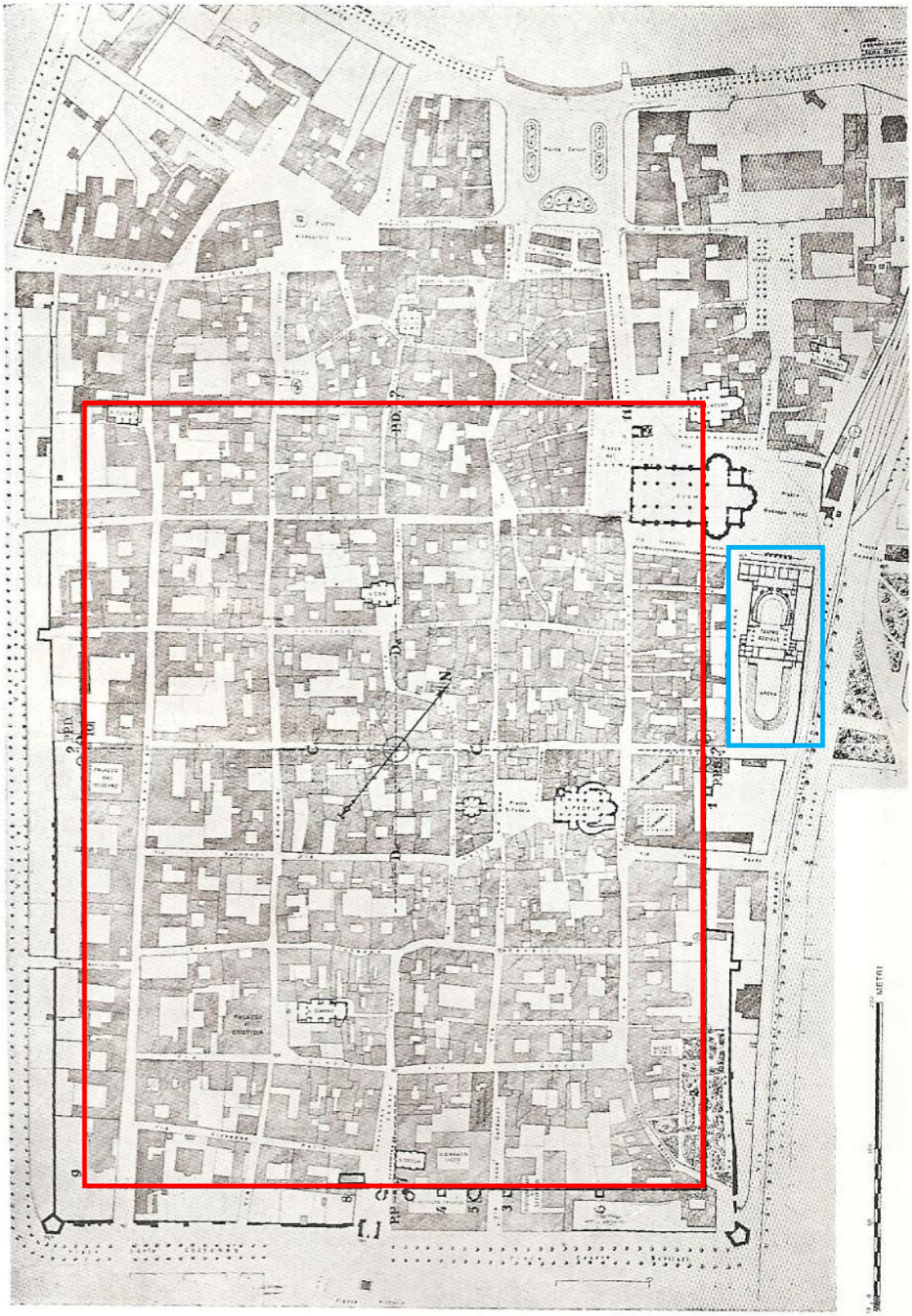


Figura 1.1 - Pianta di Como da F. Frigerio, Antiche porte di città Italiche e Romane, ''RAC'' 1934-35 tav. f.t.

(indicata con la freccia in figura 1.1), la *Porta Decumana* su quella di settentrione, la *Principalis Dextra*e la *Principalis Sinistra* rispettivamente ai lati di ponente e di levante.

I ritrovamenti della *Porta Praetoria*avvenuti nel 1914, nonché quelli di ulteriori presenze murarie, verificatisi nell'edificazione degli edifici ora a ridosso delle mura, impiegate come pareti dell'edificio stesso o come imposta di fondazione, hanno così potuto definire questo perimetro murario, arretrato di circa 30 m rispetto alla posizione attuale.

Qui di seguito è riportata una ricomposizione stilistica effettuata dall'arch. Frigerio della *Porta Praetoria*in seguito ai ritrovamenti del 1914 ora accessibili dal piano interrato del Liceo A. Volta in posizione arretrata verso il centro rispetto all'attuale Porta Torre.

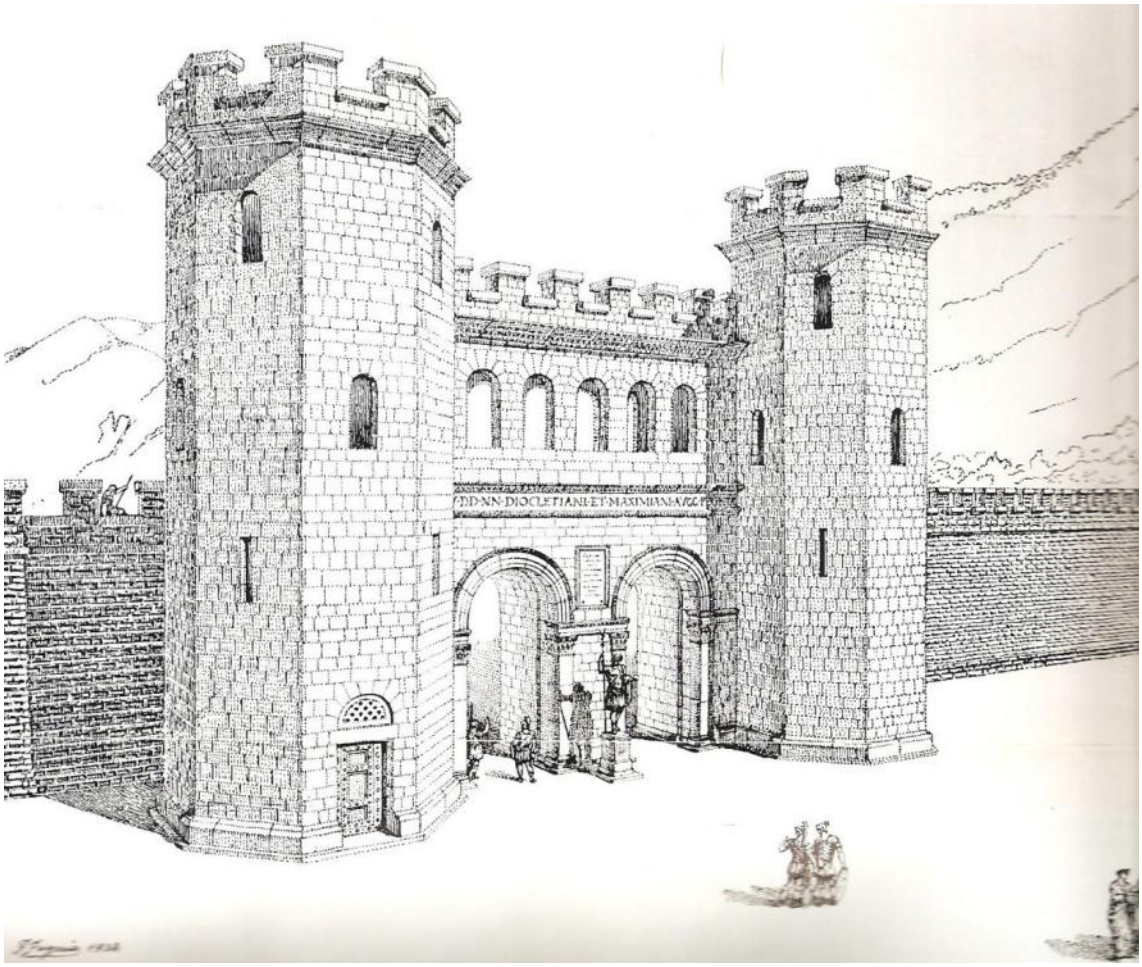


Figura 1.2 - Porta Praetoria da F. Frigerio, *Antiche porte di città Italiche e Romane*, ''RAC'' 1934-35

1.1.2. Da Como medievale alle vicende attuali

Il periodo alto medievale, probabilmente caratterizzato da una contrazione della vita urbana, potrebbe aver modificato non poco il tessuto edilizio romano, così che la ripresa di importanza delle funzioni urbane tra X e XI secolo avrebbe trovato una città in gran parte da ricostruire nella sua consistenza fisica e nella sua strutturazione simbolica.

Il fatto più importante per l'organizzazione della città tra XI e XII secolo fu certo l'addensarsi nella zona nord-orientale degli edifici più rappresentativi sia religiosi che civili: qui si concentrarono il Vescovado, la chiesa cattedrale di S. Maria Maggiore con l'attigua e imponente S. Giacomo, il Broletto, il Pretorio le numerose torri e infine il Castello dei Rusconi, con chiari intenti di controllo su tutta la zona.

Il castello della Torre Rotonda, indicato nel rettangolo azzurro di Fig.1.1, fu costruito nel XIII secolo ad opera della famiglia Rusconi che, insieme ai Vitani, si avvicendavano al potere in quei secoli di vicende comunali e lotte intestine. Venne distrutto nel 1292, quando i Vitani presero il sopravvento e fu riedificato dai Visconti, i quali lo fecero entrare a far parte della cittadella viscontea che includeva l'area e gli edifici compresa fino al Vescovado tra cui il Duomo, il Broletto e il Pretorio. Successivamente, nel 1504-1508, la costruzione fu munita con due poderosi bastioni semicircolari, e il castello fu in uso fino al XVIII secolo quando perse la sua funzione militare e se ne decise l'abbattimento. Tra aspre polemiche, fu eseguito l'abbattimento nel 1811 e al suo posto si elevò il Teatro Sociale soddisfacendo così il volere di alcuni illustri Comaschi.

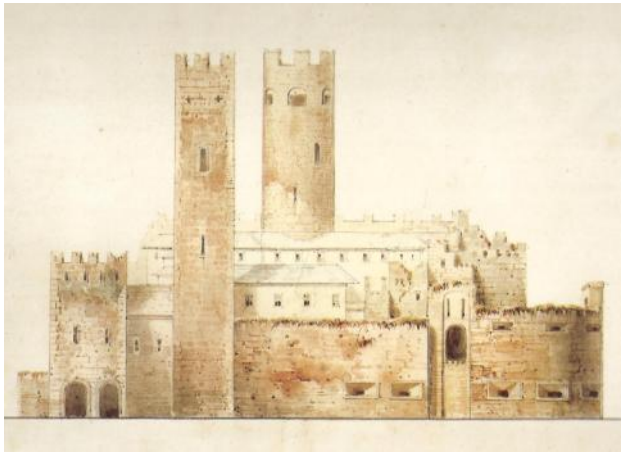


Figura 1.3 - Castello della Torre Rotonda, disegno originale conservato al Museo Civico Garibaldi. Curato dal perito ing. Zambra prima dell'abbattimento nel 1811

Figura 1.4 - Facciata del Teatro Sociale su Piazza Verdi vista dalla sommità della Torre Pantera

Ritornando alle vicende medievali, questo periodo è segnato dall'episodio traumatico della sconfitta subita nello scontro con i Milanesi nel 1127, cui sarebbe seguita la distruzione della città: non è facile immaginare quale impatto abbia avuto l'evento sulla realtà fisica della città ed è ancor più difficile documentarne gli esiti. È certa la distruzione del perimetro murario e degli elementi costituenti la Como romana e altomedievale.

La ricostruzione, seguita a pochi anni di distanza (1158-1159) ad opera dell'intervento di Federico Barbarossa, si dispose in simbolica continuità con l'organismo urbano di fondazione romana. Le mura infatti vennero riedificate rispettando sostanzialmente l'antico perimetro, come si può notare in Fig.1.1, con uno slittamento verso l'esterno di 30 m circa seguendo un perimetro più ampio e curando particolarmente la difesa dal lato meridionale.

Nel 1176, all'indomani della battaglia di Legnano, Barbarossa trovò rifugio proprio a Como: la successiva pace di Costanza del 1183, con Milano ed ai suoi alleati della lega lombarda, venne seguita da un'ulteriore pace, nel 1196, che garantiva alla città meneghina l'accesso ai valichi del San Bernardino e del Maloja, ma Como conservò, ancora per 139 anni, l'autonomia municipale. Nel 1169 vennericostruito il Castel Baradello e, nel 1192 venne completata l'edificazione della grande Porta Torre, a base quadrata e alta circa 40 metri, rivolta verso Milano, che venne seguita dalle due torri pentagonali di San Vitale ad est e Porta Nuova, ad ovest. La ricostruzione della città autorizzata dal Barbarossa avvenne esattamente secondo il precedente modello romano, tanto che l'attuale città murata può essere definita, indifferentemente, "città romana".

Nei secoli seguenti si assistette al consolidamento dell'impianto urbano nella zona presso il lago, sancito dal prolungamento delle mura nel 1288, che guadagnò al tessuto edilizio qualche nuovo terreno; contemporaneamente il centro fondamentale del potere si stabilizzò nell'area a nord ovest in corrispondenza come visto del castello della Torre Rotonda e della cittadella. Tutta la cinta muraria era ulteriormente difesa da un fossato, alimentato dal lago. Le porte di accesso principale erano tre, una per ciascuno dei latiindicati con le lettere in figura 1.8: Porta Sala ad ovest (D); Porta Portello ad est (B) di

Figura 1.5 - Pianta di Como da Vincenzo Coronelli, *Incisioni da città, fortezze isole e porti principali dell'Europa*, Venezia 1689

fronte al castello (A); Porta Torre a nord (C). Con il porto a nord sul lago (F) costringevano l'accesso alla città da soli quattro punti.

Nel 1500 si definirono le zone funzionali, discendentida insediamenti dei secoli precedenti, all'interno della città murata. Alcune zone sono restate tali fino a tempi recenti, di altre non si ha più traccia. Tra tutte merita attenzione l'area del porto e del *water front*, fino al secolo scorso anima dei traffici commerciali settentrionali della città e ora centro dell'attività turistica, o l'area di Porta Torre, crocevia dei traffici commercialiper Milano, ora semplice presenza monumentale.

Figura 1.6 - Veduta della città di Como, Vincenzo Coronelli, *Incisioni da città, fortezze isole e porti principali dell'Europa*, Venezia 1689

Figura 1.7 - Veduta della città di Como, affresco - 1625-1629 ca, Como Palazzo Vescovile

Nel 1508 un governatore francese, Giovanni Gruerio, ridusse a tre le porte di accesso alla città, rinforzò i baluardi, edificò le pusterle e fece rafforzare la cinta muraria con contrafforti per meglio resistere all'attacco delle armi da fuoco ormai entrate nell'uso bellico. Per quella più importante, di fronte a Porta Torre, si procedette alla distruzione di un preesistente ospedale.

Nel 1600 la funzione militare delle mura venne progressivamente diminuendo, per la perdita di importanza strategica della città. Smessa ogni funzione militare, ridotto il ruolo commerciale sulle rotte di transito tra Mediterraneo ed Europa Centrale, la città si avviò a un futuro di centro manifatturiero.

Nel 1783 l'Erario Militare vendette le mura al Comune di Como che a sua volta le cedette a privati. Su progetto del marchese Rovelli, il fossato che circondava le mura venne colmato, e solo all'inizio dell'Ottocento verrà trasformato in un viale alberato con la piantumazione di platani.

L'ultima vicenda che riguarda il funzionamento difensivo della cinta muraria si verificò nel marzo del 1848 quando già le mura servivano da semplice cinta daziaria, benché fossero ancora mantenuti gli antichi portoni e portelli.

La guarnigione austriaca, circa 2.000 soldati contro 18.000 abitanti, era a quel tempo divisa in tre caserme: la principale all'interno delle mura, la seconda a nord, verso Cernobbio, la terza subito fuori Porta Torre. Giunta notizia della rivoluzione viennese, il 18 marzo 1848, il municipio organizzò una improvvisata guardia civica che, rinforzata da molti volontari giunti in battello dai paesi del lago e, in minima parte, dal vicino Canton Ticino, presero possesso delle mura e delle porte la mattina del 20 marzo, impedendo il ricongiungimento della guarnigione.
Ottenuta la resa della caserma di città, dai bastioni di Porta Torre e dalle case dirimpetto, essi mantennero l'assedio dell'ultima caserma austriaca che si arrese cedendo bandiera, armi e cadendo quasi interamente prigioniera. Si può ben affermare che l'inattesa vittoria venne consentita, anzitutto, dal controllo delle mura e delle porte, le quali svolsero, per l'ultima volta, la loro antica funzione di baluardo del municipio, cui le aveva destinate Giulio Cesare.

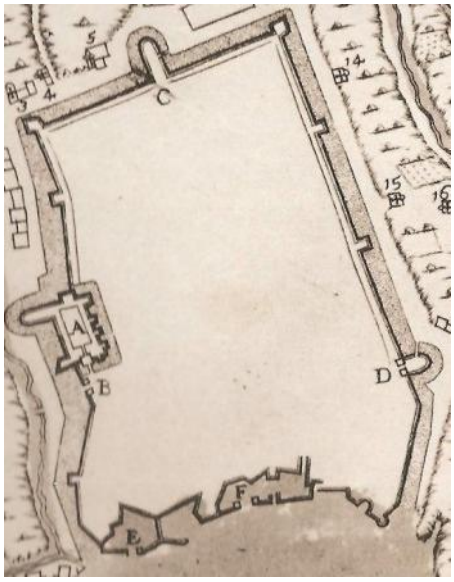


Figura 1.8 - Como, don Giovanni Battista Sesti, *Piante delle città,piazze e castelli fortificati in questo Stato di Milano, con le loro dichiarazioni*, Milano 1707

Nel corso dell'Ottocento il volto della città andò regolarizzandosi secondo la logica neoclassica guidata dalla Commissione di Pubblico Ornato, si modificò con il nuovo assetto urbanistico dei porticati attorno al Duomo, con l'interramento del porto, la rettificazione e l'allargamento delle strade del 1856, e infine la realizzazione del viale alberato attorno alle mura che lo portò ad essere, per una serie di vicende, da quattro a due file. In quest'epoca venne abbattuta la merlatura ed i camminamenti vennero occupati dai giardini pensili delle ville patrizie. A questa intensa stagione di rinnovamento si deve la trasformazione del volto della città e la cancellazione della maggior parte dei residui medievali tra cui le case torri che riempivano la città murata. Sull'onda dell'entusiasmo si arrivò anche ad auspicare la totale distruzione delle mura e delle torri, ma fortunatamente ci si limitò soltanto a eliminare i baluardi alle porte e ad aprire nuovi varchi.
In figura 1.9 è riportata una veduta di Como del 1851 nel quale si nota la composizione dei nuovi viali alberati antistanti le mura e l'espansione della città oltre il perimetro murario che anticipa il futuro allargamento della città in tutte le direzioni rendendo evanescente la funzione separante delle mura. Si può affermare cheil centro di Como si presentò con tale

struttura e tale aspetto alle soglie del Novecento, pronto per essere stravolto dalle nuove esigenze come i moderni mezzi di trasporto che iniziarono a transitare nel nucleo storico.

In figura 1.10 è riportata una fotografia scattata dalla parte opposta della città che mette in luce la conformazione sopra descritta e in particolare la sistemazione del lungolago nella conformazione attuale, con Piazza Cavour che prese il posto del porto.

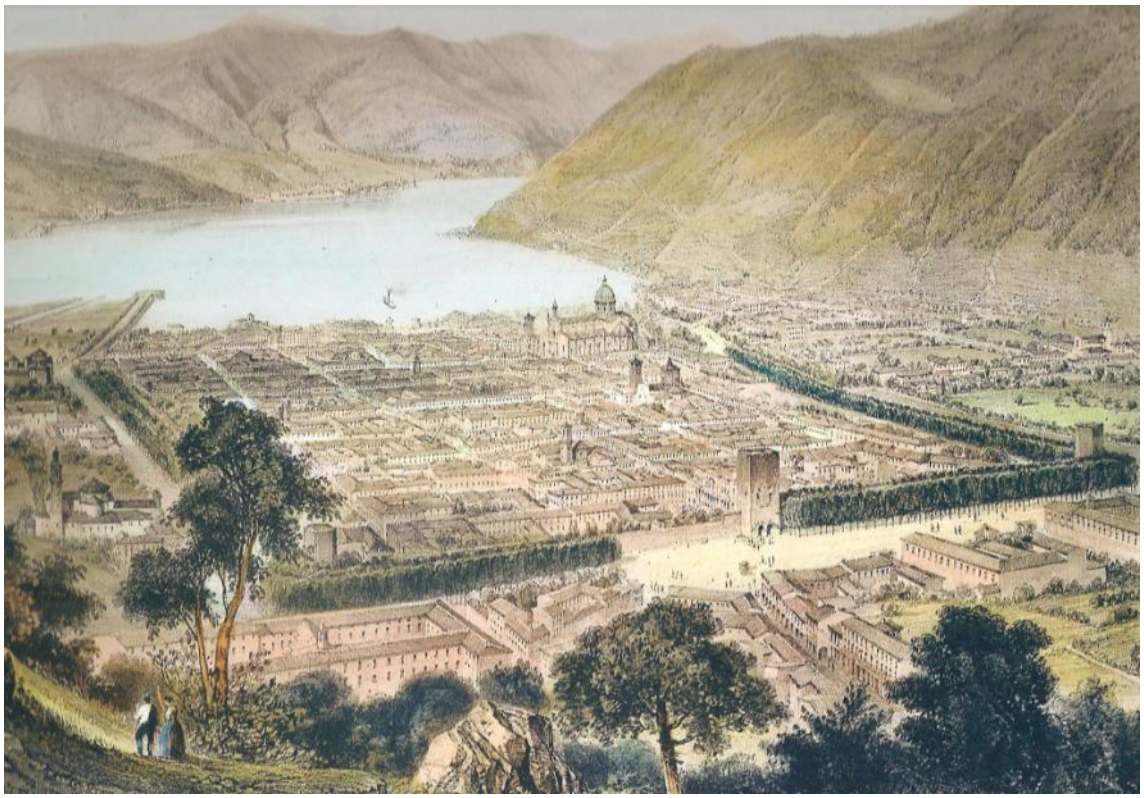


Figura 1.9 - Veduta di Como dalla Basilica di San Carpoforo, Alfred Guesdon, disegno a inchiostro acquerellato, 1851. Como, Collezione Bottega della Cornice

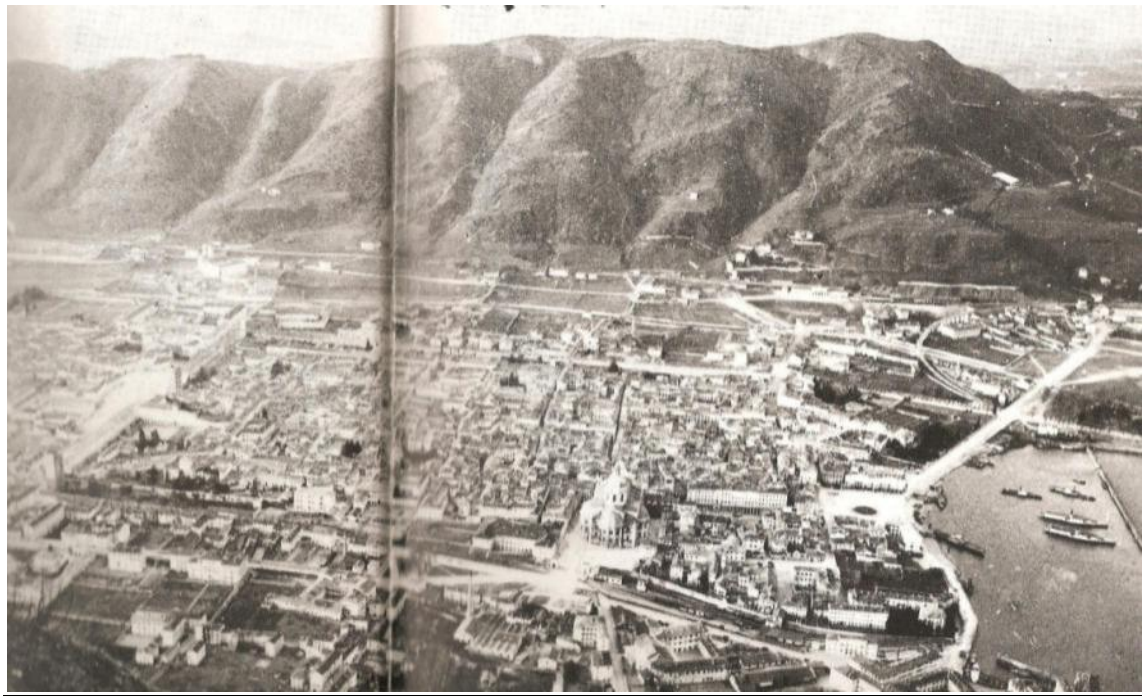


Figura 1.10 -Veduta di Como da est, Riccardo Piatti, 1890 ca Como, Biblioteca Comunale, fondo Fotografie

1.2. Le Torri medievali della città di Como

Le Torri e le mura, che cingono la città di Como ad oggi, appartengono al periodo medievale e in particolare sono state erette a seguito della distruzione della città, e delle precedenti mura, ad opera dei Milanesi nel 1127. L'inizio dell'edificazione delle mura è documentata a partire dall'anno 1158 circa ai tempi del regno di Federico I, detto il Barbarossa.

Questa data rappresenta quindi per Porta Torre, Torre Gattoni e Torre San Vitale una data limite certa a cui far risalire la loro edificazione, anche se, come successivamente illustrato, la loro costruzione è postdatata e soprattutto diversa per ognuna.

Discorso a parte varrà fatto per la Torre Pantera che risulta fisicamente svincolata dalla cerchia muraria e che quindi ha avuto una storia parallela. Essa rimane tuttavia l'ultimo esempio di casa-torre medievale conservata al giorno d'oggi, e si posiziona in uno dei punti più caratteristici e strategici della città di Como.

1.2.1. Porta Torre

Figura 1.11 - Prospetto nord di Porta Torre, fotografia, 1893 ca. Collezione famiglia dell'acqua

Porta Torre venne innalzata nel 1192 per iniziativa del podestà Uberto da Pavia, e inserita nel baricentro del lato meridionale delle mura, non lontano dal sedime della vecchia *Porta Praetoria.* Di aspetto massiccio sul prospetto verso Milano, si presenta invece aperta da quattro ordini di archi doppi verso la città, da cui affacciavano i quattro livelli andati distrutti. Le partizioni orizzontali che definivano i livelli sono ancora chiaramente identificabili dagli scassi murari in cui si innestavano le grandi travi lignee che reggevano i solai. Il grande fornice centrale che si apre al piano terra verso la città risulta disallineato rispetto all'asse centrale della torre, e tale asimmetria del prospetto può costituire iniqua distribuzione del carico sull'arco a terra. Questa grande torre con muri in pietra a sacco dello spessore di 2 m circa, è un residuo delle glorie municipali e oltre a essere testimone di molti fatti storici, ha subito non poche trasformazioni che ne hanno modificato l'aspetto.

Nel 1511 il governatore Giovanni Gruerio munì Porta Torre di un baluardo circondandola così di un fortilizio e di una chiesetta, dedicata a S. Biagio. Nel 1644 all'interno del bastione semicircolare venne costruita una chiesetta dedicata alla Vergine Addolorata. Successivamente, nel 1783-1785 il marchese Rovelli, dopo aver acquistato a una pubblica asta i fondi fortilizi della città, cominciò a colmare il fossato intorno alle mura, che solo all'inizio dell'Ottocento sarebbe stato trasformato in un viale alberato. Altro episodio legato al bastione, è del 1787 quando il ponte levatoio antistante Porta Torre venne riedificato in muratura, segno che ormai la sua funzione difensiva era definitivamente cessata.

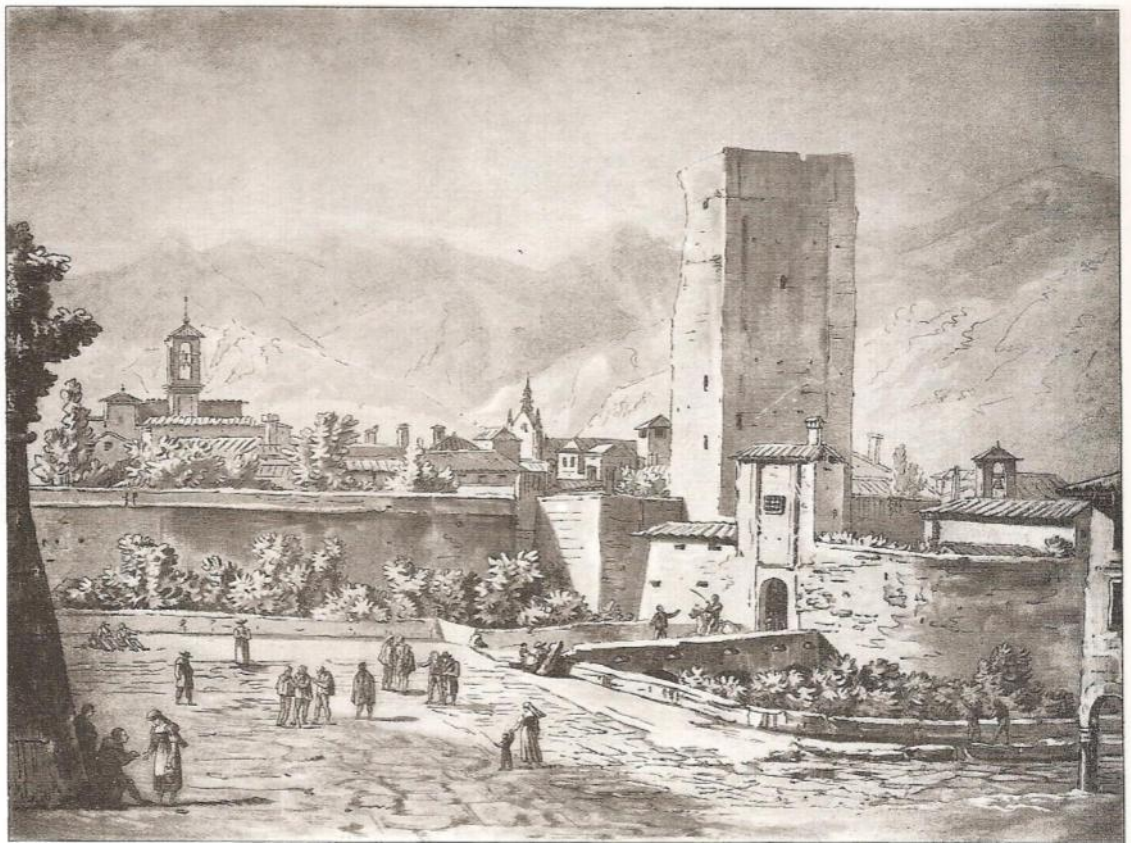


Figura 1.12 - Thomas Charles Naudet, Vue gènèral de la Ville de Como, Acquatinta di Louis Philibert Debecourt,da T.C. Bruun Neergaard, Voyage pittoresque et historique du nord de l'Italie, Didot, Parigi 1812

Nel 1811 tutte le opere che costituivano il bastione vennero distrutte e la torre ritornò nella sua conformazione spoglia originaria, quella che tutt'ora è possibile osservare. Le uniche differenze, rispetto all'attuale aspetto, sono legate all'altezza della torre e alle aperture nelle mura ai suoi lati. Infatti nel 1830, quando ormai la cinta fortificata rivestiva solo il ruolo di cinta daziaria, ai cui ingressi si riscuotevano le imposte di consumo, per cui le opere difensive erano costituite da semplici cancellate, il disinteresse nei confronti delle mura e delle torri dilagò. Porta Torre venne abbassata di undici braccia e nel 1848, quei cittadini che in essa vedevano un ammasso di pietre su pietre, proposero addirittura la sua distruzione. Fortunatamente prevalse il buon senso della conservazione.

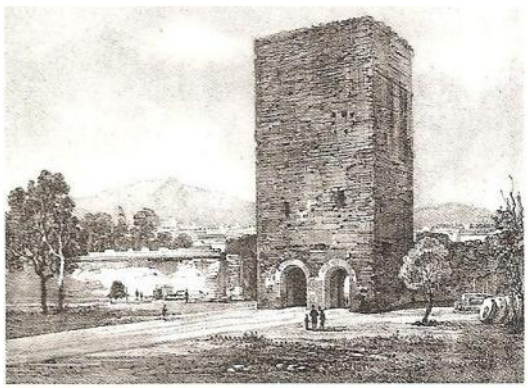


Figura 1.13 - Porta Torre di Como, Giueseppeelena, Litografia, da Lombardia Pittoresca, Milano,1836. Como, Collezione bottega della Cornice.

Una proposta d'intervento di salvaguardia venne presentata nel 1840 della quale è conservata presso l'archivio di Stato uno dei pochi rilievi esistenti della Porta Torre, figura 1.14.

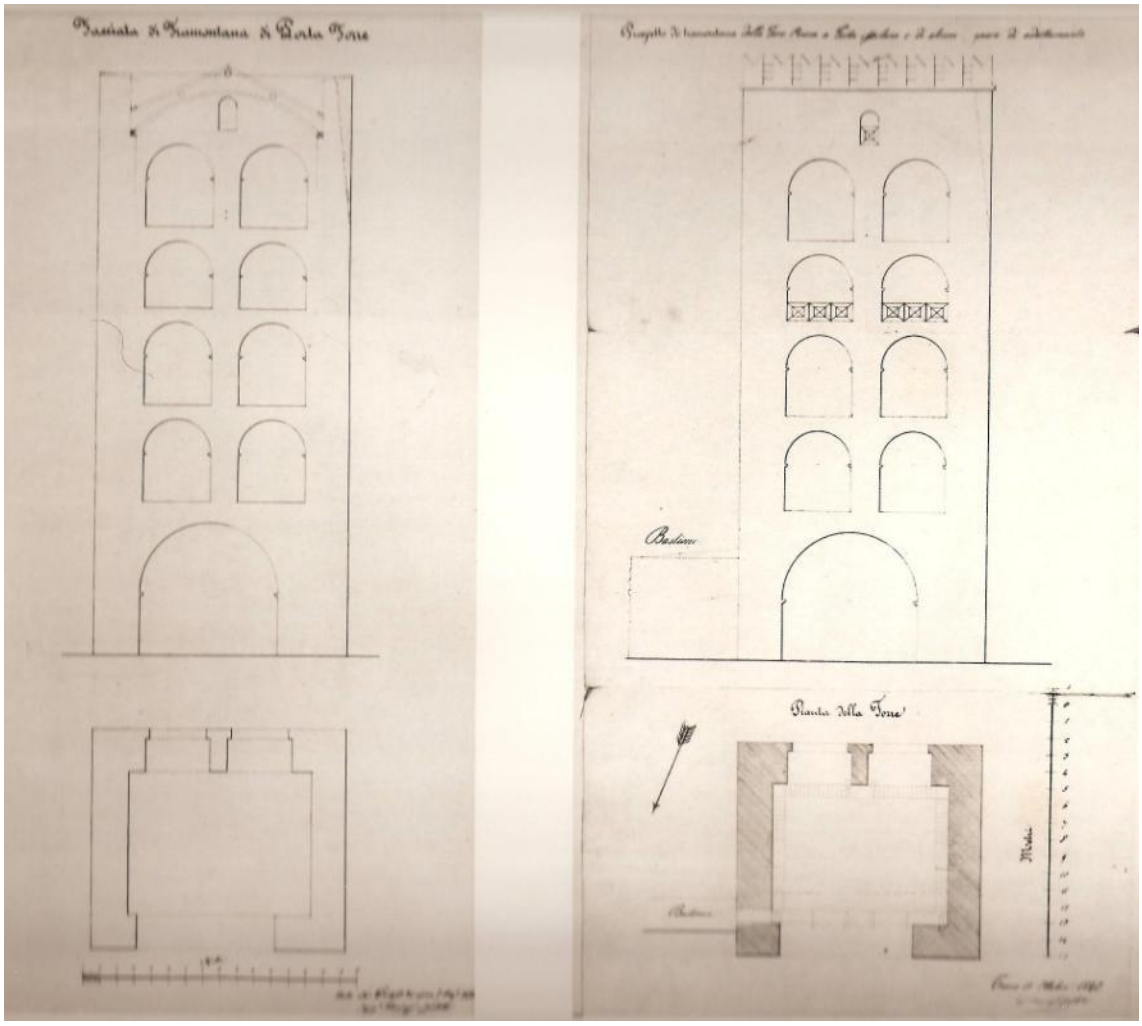


Figura 1.14 - Rilievo di Porta Torre, Facciata di tramontana, a sinistra, e prospetto della stessa facciata,a destra, con opere di adattamento. Archivio di Stato di Como, 1840

È possibile osservare come la sommità della facciata presenti una sorta di copertura, mentre risulta singolare la ricostruzione stilistica con merlature e parapetti.

Tale intervento non fu mai realizzato ma resta un importante documento storico della torre. Porta Torre iniziò così la sua storia di conservazione a rudere.

Figura 1.15 - Dopo la resa, Francesco Capiaghi, olio su tela,1898. Como, Museo Storico Garibaldi

In figura 1.15, riferita all'esito delle 5 giornate di Como del 1848, quando l'esercito Austriaco si arrese alla ribellione Comasca, è possibile osservare lo stato di conservazione in cui si presentava la sommità della torre proprio della metà dell'Ottocento. Altri elementi interessanti dell'immagine sono la quantità di alberi presenti in Viale Cattaneo, ora ridotte ad un'unica fila, e sullo sfondo la sommità della Torre San Vitale scapitozzata come Porta Torre.

Altro elemento che ha modificato l'aspetto della torre è stata l'apertura dei passaggi ai lati di levante e di ponente. Come è possibile osservare nella figura 1.11, Porta Torre si presentava fino a tutto l'Ottocento chiusa tra le mura e gli edifici di Via Cesare Cantù. Ai primi del Novecento, si distrusse un lungo tratto delle fortificazioni meridionali per dar luogo ad alcuni edifici scolastici e pubblici. In prossimità della Porta Torre venne quindi costruito il Palazzo degli Studi poi Istituto Tecnico ora occupato dal Liceo Volta.

Nel 1915 venne redatto un progetto a cura dell'Ing. Giussani riguardante la ricostruzione della tratta di muro fra la torre di Porta Vittoria ed il palazzo degli studi. La sua proposta era di realizzare una doppia arcata sul lato occidentale, ricreando così la continuità del muro fortilizio con il muro del palazzo degli studi appena terminato. Pensava di predisporre il passaggio

attraverso queste due aperture, voltate come quella esistente sul lato orientale, che tuttavia, a quell'epoca, risultava chiusa. L'intervento consisteva infatti anche nell'apertura di quest'ultima. Tuttavia la Soprintendenza ai Monumenti in Lombardia, pose un vincolo sulla realizzazione di tale muro da ricostruire.

Le indicazioni della Soprintendenza, riportate in figura 1.18, erano che il muro si sarebbe dovuto staccare dallo spigolo del palazzo degli studi perpendicolarmente alla parete della torre e non allineato al prospetto del palazzo e, inoltre, che l'apertura arcuata, sarebbe dovuta essere una invece che due. L'unico intervento che venne realizzato è l'apertura dell'arco sul lato orientale mentre nessun nuovo muro o arco venne realizzato. In figura 1.19 si osserva come si presentava Porta Torre negli anni '30 del Novecento, staccata dalle mura sul lato di levante, con l'arco ripristinato sul lato di ponente.

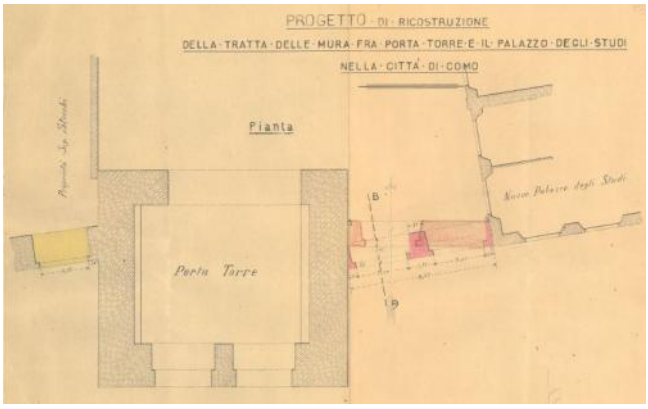


Figura 1.16 - Progetto di ricostruzione della tratta delle mura fra porta torre e il palazzo degli studi nella città di Como - Pianta, Ing. Giussani, Archivio del Comune di Como

Figura 1.17 - Progetto di ricostruzione della tratta delle mura fra porta torre e il palazzo degli studi nella città di Como - Alzato e sezione, Ing. Giussani, Archivio del Comune di Como

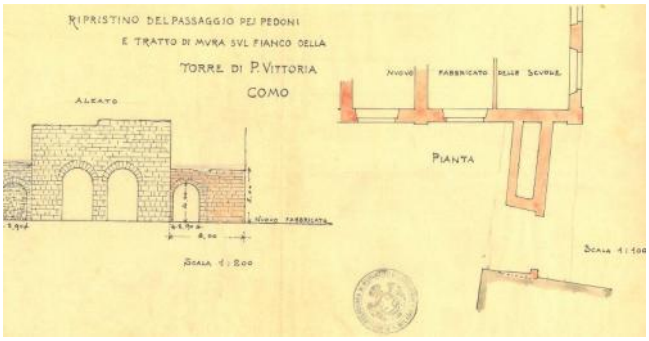


Figura 1.18 - Ripristino del passaggio dei pedoni e tratto di mura sul fianco della torre di porta vittoria – Proposta di modifica della Sovraintendenza ai Monumenti in Lombardia

Nel 1965 venne enfatizzata, da parte dell'amministrazione comunale, la volontà di intervenire sulla Porta Torre, suggerendo quelle che potevano essere le tracce da seguire nell'effettiva realizzazione di un'idea: un'innovazione che riguardasse la Torre oppure la conservazione a rudere. Da una relazione tecnica datata 25 Maggio 1965 sulle condizioni della Torre di Piazza Vittoria si evince che le condizioni della torre erano queste: "[…] ampie falle circoscritte aperte nella muratura legate alla caduta di alcuni masselli; l'azione combinata e differente degli agenti atmosferici all'esterno e all'interno dell'edificio su una struttura instabile come è di fatto la muratura a sacco; la progressiva nidificazione di più specie di volatili comporta la caduta dei giunti di malta dei paramenti murari e l'instabilità con pericolo generale di stacco delle pietre minute; il conseguente inserimento nelle fessure di essenze arboree che sviluppandosi e radicandosi contribuiscono a rendere precaria la stabilità delle murature […]". Ovviamente la torre non presentava più quel valore funzionale difensivo che ne consentiva l'utilizzo, quindi giaceva in stato di abbandono. Inoltre, essendo edificata originariamente con la presenza di impalcati e una copertura, trovandosi privata di questi elementi e sprovvista dei benefici che ne conseguono, il degrado non poteva che accelerare. Le strade proposte come detto erano di restauro con integrazione delle parti mancanti, inserimento di una copertura a due falde e i disimpegni verticali. Le proposte funzionali erano ad esempio di inserimenti di sedi di associazioni o di uffici tecnici comunali. L'alternativa proposta era un restauro a rudere, consolidando e agendo con interventi di manutenzione considerevole sulle murature. Di fatto possiamo affermare che è stata perseguita la strada della conservazione. Tra il 1965 e l'inizio dell'anno successivo infatti sono stati realizzati alcuni interventi di manutenzione ordinaria sulle mura della torre, finalizzati all'accertamento del loro stato: in particolare l'asportazione di vegetazione, l'asportazione di pietre pericolanti, la stilatura dei giunti effettuata con il

Figura 1.19 - Porta Torre, Cartolina Fotografica, Brunner&C., Como 1932 ca. Como, Archivio Nodo

montaggio di un ponteggio esterno e interno, e il montaggio delle reti in nylon con telaio in ferro zincato di protezione negli 8 finestroni.

Nella primavera del 1986 questo tipo di intervento di manutenzione, finalizzato all'accertamento dello stato delle murature, venne ripetuto.

L'ultimo interesse del Comune risale al 2005 quando è stato programmato un intervento di manutenzione relativo alla verifica della tenuta dei conci di pietra, rimozione delle parti in fase di distacco, eventuale sigillatura dei giunti, e asportazione di materiale biologico, che tuttavia non venne realizzato.

Figura 1.20 - Porta Torre in una fotografia degli anni '80, da Como e la sua storia, NODO libri, Como, 1994

1.2.2. Torre San Vitale

Poche e imprecise sono le notizie che gli storici ci hanno tramandato attorno alla Torre San Vitale, ed essa è sempre citata assieme al resto delle mura: non si conosce neppure con esattezza l'anno in cui fu edificata.

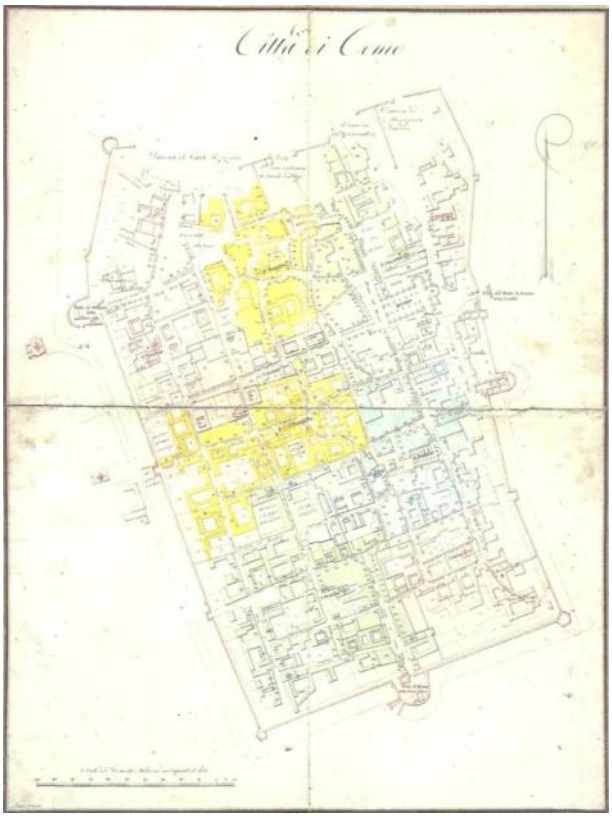


Figura 1.21 - Mappa della città di Como con parte de suoi Borghi e corpi Santi, MDCCXXII – noto come "Catasto Teresiano"

Il marchese Giuseppe Rovelli nella sua "Storia di Como" edita nel 1794 a pagina 131 scrive che l'atterramento delle mura e delle fortificazioni romane fu eseguito forse un anno dopo la sconfitta subita dai comaschi nella guerra decennale fra Como e Milano (agosto 1127) ed, a pag 204, riferendosi ad un diploma dal quale risulta la presenza dell'imperatore Enrico nel 1195 "sulla piazza davanti a Porta Torre" per una cerimonia d'investitura, riferisce che "[…] da questo documento veniamo a sapere che la maestosa torre era già stata eretta, ciò che può dirsi parimenti delle altre due di simile struttura e mole […]".

Nella "Storia di Como" edita a Como nel 1832, Maurizio Monti concorda con l'asserzione del Rovelli e, dopo aver ripetuto la data di costruzione di Porta Torre (1192), asserisce che "verso gli stessi tempi dovrebbero essere state erette le altre due Torri di San Vitale e Porta Nuova e le contigue muraglie della città" che verranno riadattate e alzate nel 1442, mentre "da una memoria del 1473 e da un'altra del 1536" appare "che alla spiaggia del lago ed in altri siti eranvi non mura ma palizzate a difesa".

Cesare Cantù, nella "Grande illustrazione del Lombardo Veneto", oltre ad averci confermato a pagina 1067 come le precedenti mura romane furono demolite nel 1127, scrive che in seguito alla pace di Costanza fra i Comuni e l'Imperatore (1183) Como fu circondata da mura "[…] e son quelle che ancora la cingono.. e protetta da torri ad intervalli. Nella fronte verso mezzodì,

la quadrata è tolta in mezzo da due pentagone.. e sono delle più antiche di tal foggia […]" come si può notare dal *Catasto Teresiano* in figura 1.21.

Unico Santo Monti nella sua Storia ed Arte della Provincia e antica diocesi di Como affronta il problema con maggiore senso critico pubblicando fra l'altro la traduzione della lapide latina murata nella torre di Porta Torre: "[…] Quest'opera insigne, prezioso monumento patrio, venne fatta costruire da Umberto da Pavia, quando era podestà di Como. Questo baluardo è utile onde il nemico stia lungi di qui. Erano allora gli anni del Signore 1192; Sia onore lode e gloria a Cristo […]".

La Torre collocata nell'angolo sud-orientale del perimetro della città murata è a pianta pentagonale di circa 10 m per lato, si eleva a m 33,60 dall'attuale piano stradale e presenta una rastremazione per ogni lato della Torre. Le uniche interruzioni alla pesante uniformità delle pareti lapidee sono le 5 aperture che, su altrettanti livelli, alleggeriscono la fronte occidentale verso l'interno della città. Le due aperture maggiori hanno un'altezza massima, misurata al vertice dell'arco acuto che le sottende, di m 4,25 ed una larghezza al piano di soglia di circa 3 m; le altre tre sono invece molto più piccole, avendo verticalmente una luce netta di m 2,10 ed orizzontalmente di m 1,50.

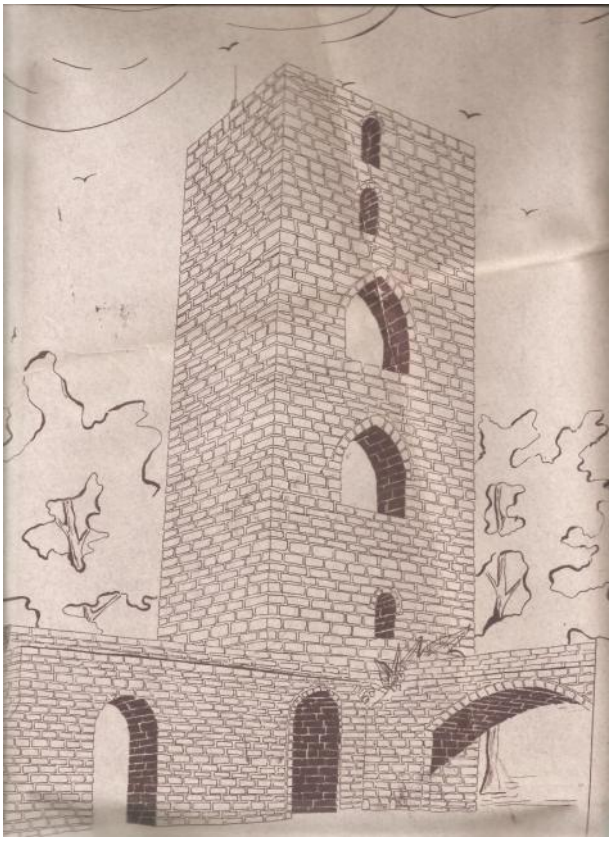


Figura 1.22 - Torre San Vitale, Vista da via Balestra, Disegno a china1960 ca, conservato presso l'Archivio del Comune di Como

Un arco di notevoli dimensioni si intravede nel punto dove si innestano i due moderni archi creati negli anni '20 per il passaggio delle filovie. Tale elemento potrebbe far pensare all'esistenza di un locale coperto da volta, tuttavia data l'impossibilità di entrare nell'edificio si rimanda alla documentazione relativa allo svuotamento realizzato nel 1965 nel quale si segnala la presenza di materiale depositato all'interno della torre fino ad una quota di 10 m dal livello strada.

Nel 1906 venne realizzato un intervento di manutenzione consistente nella copertura con lastroni di pietra di Moltrasio delle murature alla sommità della torre. A questo progetto corrispondono degli elaborati comprendenti i disegni della pianta della sommità nonché delle cinque sezioni terminali delle murature con stato di fatto e intervento riportati in figure 1.23 e 1.24.

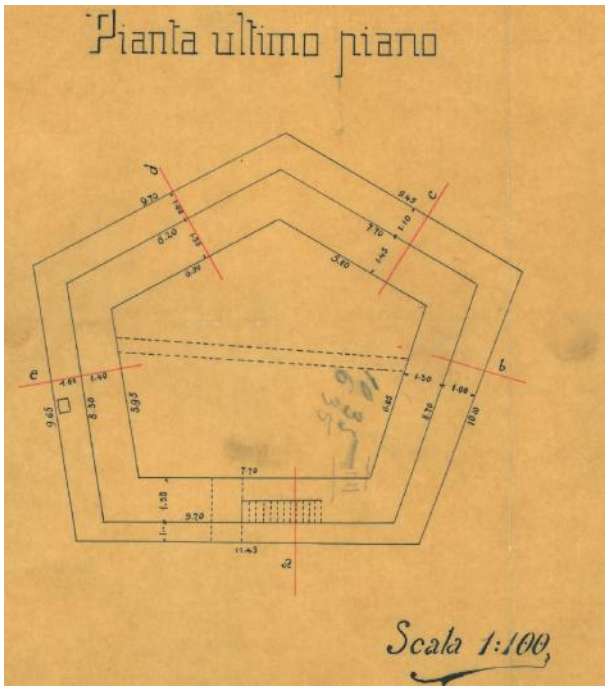


Figura 1.23 - Restauro della sommità della Torre San Vitale - Pianta sommità, Como, 1906, Archivio del Comune di Como

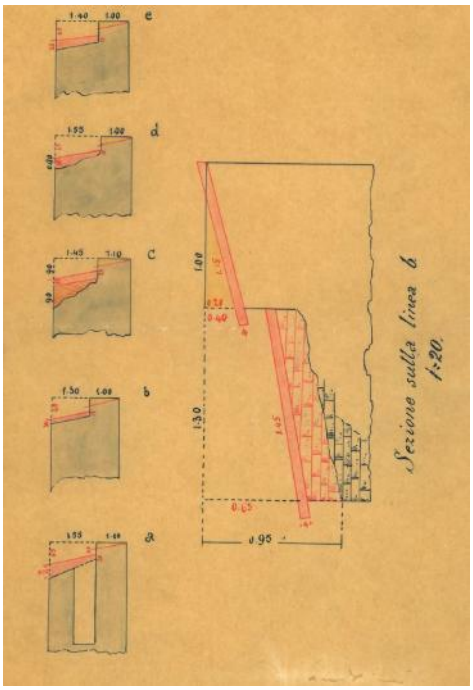


Figura 1.24 - Restauro della sommità della Torre San Vitale - Dettagli costruttivi, Como, 1906, Archivio del Comune di Como

Tali disegni sono una testimonianza storica molto utile perché consentono di determinare com'è realizzato lo strato di tenuta della sommità dei muri che costituiscono la torre.

Nel 1929 venne realizzato l'intervento di apertura delle mura da Via Balestra a Via Nazario Sauro e Viale Battisti per permettere la circolazione dei filobus. Nel 1936 venne effettuato un intervento di diserbamento delle facciate della Torre San Vitale con l'aiuto di un ponteggio. Nel 1952 venne proposto l'inserimento dei servizi igienici al piano terra della Torre San Vitale, tale intervento, autorizzato dalla Sopraintendenza ai Monumenti, nonostante la creazione di un vano di accesso al piano terra non esistente, non venne mai attuato, anche perché iniziò a svilupparsi l'idea di un recupero culturale con annessione al museo civico. Tale intervento è documentato anche con una tavola di progetto riportata in fig.1.26. Nel giugno del 1958 è documentato uno dei primi interventi di manutenzione sulle pietre della Torre San Vitale riguardante la rimozione delle pietre pericolanti, nuova posa in opera delle stesse con malta di

cemento, sigillatura dei giunti.

Nel 1961 è documentato il primo interessamento da parta dell'Azienda Autonoma di Soggiorno e Turismo finalizzati ad un utilizzo culturale - museale della Torre San Vitale; questo fermento è documentato da numerosi articoli di giornali editi dai quotidiani locali tra il 1961 e il 1962 che testimoniano il coinvolgimento della Sovraintendenza alle antichità per la Lombardia.

Nell'inverno del 1965 avvenne lo svuotamento della Torre San Vitale ovvero lo sgombero dei detriti che nel tempo si erano accumulati a seguito del crollo nel tempo di tutte le solette. Per l'occasione venne quindi allestito un ponteggio interno ed esterno per mezzo del quale venne effettuato un rilievo a vista dello stato di conservazione della muratura ovvero dei giunti di malta e lo stato delle pietre finalizzato all'accertamento dello stato delle murature. Tale attività venne promossa dall'Azienda Autonoma di Soggiorno e Turismo poiché intendeva realizzare un intervento di recupero del fabbricato finalizzato all'esposizione di armi collegato al Museo Civico. Il progetto venne sviluppato dall'Arch. Buttè e prevedeva la costruzione di cinque solette e l'accesso dal giardino del Museo. A questo periodo corrisponde un rilevo geometrico in

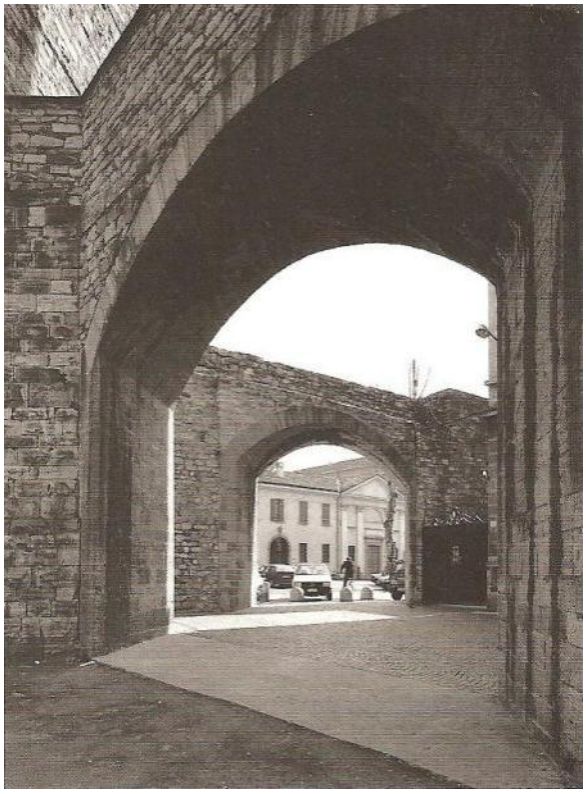


Figura 1.25 - San Vitale fotografia 1989, vista degli archi ribassati aperti nelle mura nel 1929 per far transitare i tram- AAVV,*Como e la sua Storia*, NODO libri, Como, 1994

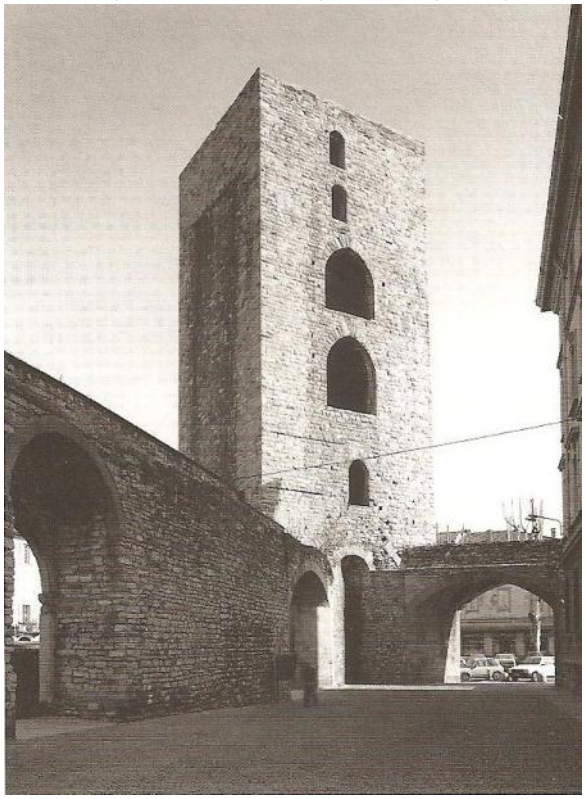


Figura 1.26 - San Vitale fotografia 1989 - AAVV,*Como e la sua Storia*, NODO libri, Como, 1994

pianta e in alzato nonché di una suggestiva vista prospettica da Via Balestra riportata in figura 1.22.

Nel 1982 venne effettuata dal Dr. Castelletti, dirigente comunale, la proposta, rivolta al Sindaco, di utilizzare la Torre San Vitale come esposizione di lapidi su supporti metallici creando le solette non esistenti realizzando così 4 livelli più gli spazi al piano terra destinati a magazzino. L'idea si completava con l'inserimento del disimpegno verticale comprensivo anche di un elevatore e di un terrazzo panoramico da collocare sulla sommità della torre. Tale proposta seguiva filologicamente la proposta precedente.

Nel 1990 vennero eseguiti dei lavori di manutenzione straordinaria a seguito della caduta di pietre; essendo la zona molto frequentata nei giorni di mercato e soggetta al transito di mezzi pubblici venne svolto un accurato intervento di controllo dei giunti di malta e asportazione delle pietre pericolanti nonché la rimozione del parafulmine e pilastrino di un sostegno anch'esso pericolante, oltre all'estensione dell'intervento alle mura adiacenti la torre.

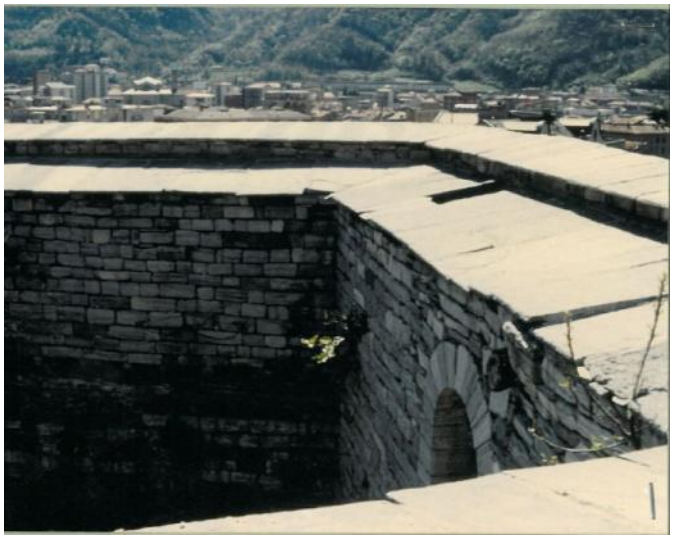


Figura 1.27 – San Vitale - Porzione di copertura sulla sommità delle pareti ovest su Via Nazario Sauro, Fotografia, 12-04-1990, Archivio del Comune di Como

Figura 1.28 – San Vitale - Sommità parete su Via Balestra, Fotografia, 12-04-1990, Archivio del Comune di Como

A questo intervento appartiene uno studio fotografico realizzato con l'ausilio di una piattaforma aerea che documenta lo stato di conservazione e le patologie di degrado evidenti in quel periodo.

Da tale studio è stato possibile trovare riscontro dell'intervento di manutenzione del 1906 (figg. 1.28, 1.29), nonché del progressivo stato di avanzamento dei degradi biologici (figg. 1.30,1.31,1.32,1.33).

Figura 1.29 – San Vitale - Prospetto su Via Balestra, Fotografia, 12-04-1990, Archivio del Comune di Como

Figura 1.30 - San Vitale - Prospetto su Via Balestra , Fotografia, 27-09-2011

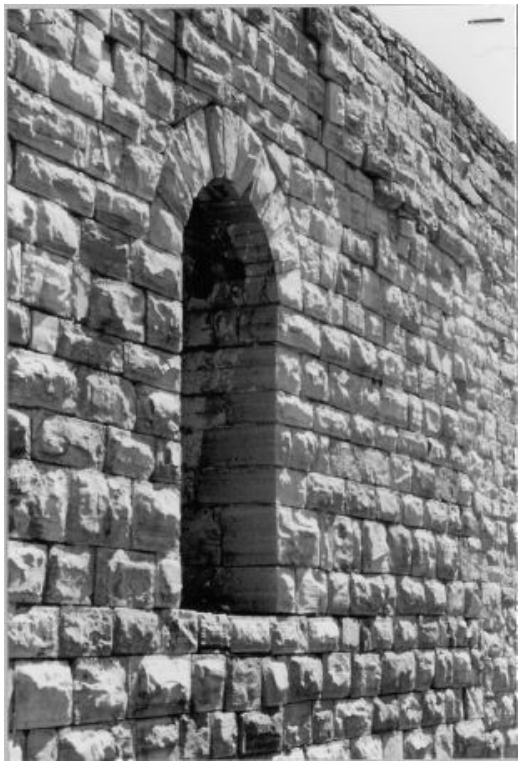


Figura 1.31 – San Vitale - Ultimo fornice su Via Balestra, Fotografia, 12-04-1990, Archivio del Comune di Como

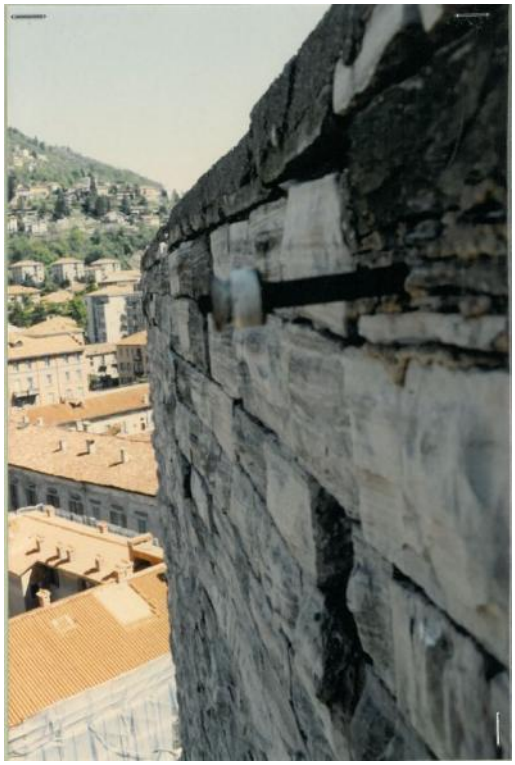


Figura 1.32 – San Vitale - Coronamento su Via Nazario Sauro, Fotografia, 12-04-1990, Archivio del Comune di Como

1.2.3. Torre Gattoni

La Torre di Porta Nuova, meglio nota come Torre Gattoni come si dirà in seguito, si trova nello spigolo sud occidentale della cinta muraria di Como. A differenza della Torre di San Vitale, che presenta due archi che la aprono a livello terra verso il centro storico, la Gattoni fa coincidere uno dei suoi cinque lati con le mura stesse, e dunque risulta inglobata in esse.

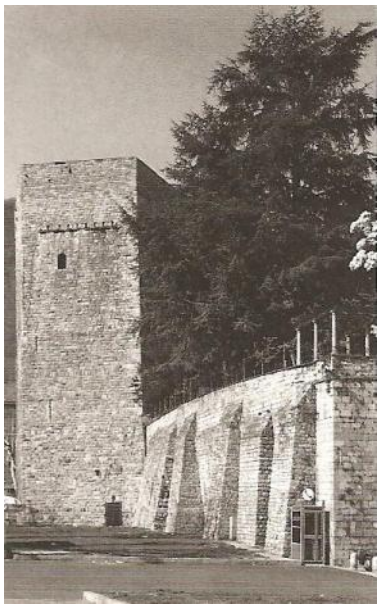


Figura 1.33 - Torre gattoni vista da est, fotografia da AAVV, *Como e la sua storia*, NODO libri, Como, 1989

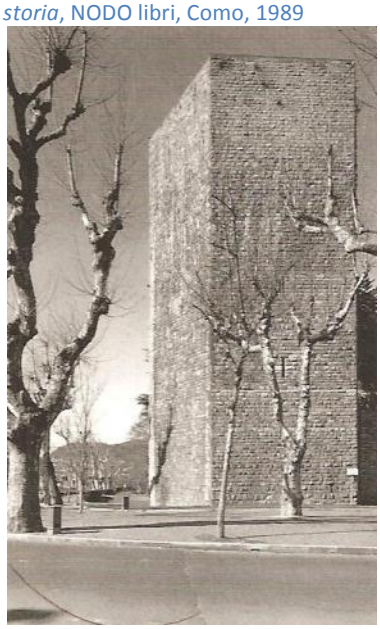


Figura 1.34 - Torre Gattoni vista da sud, fotografia da AAVV, *Como e la sua storia*, NODO libri, Como, 1989

Di forma pentagonale come la San Vitale, è accessibile da due livelli distinti: presenta infatti un solaio a livello delle mura. Il piano terra, occupato fino a trent'anni fa dalla società ENEL come cabina di trasformazione-distribuzione e quadro elettrico di gran parte della convalle comasca, come si vedrà successivamente, è accessibile dal giardino pubblico tramite un cancello, le cui chiavi sono custodite presso il *Museo Civico Paolo Giovio;* il piano a livello delle mura, ad una quota di 7 m circa, si situa in corrispondenza del giardino pensile di proprietà della ditta *Mantero Spa* ed è accessibile da un portoncino.

La costruzione della torre è databile, come la San Vitale e la Porta Torre, a seguito della ricostruzione della città dopo la distruzione da parte dei Milanesi nel 1127. A forma pentagonale come San Vitale, è posta sullo spigolo opposto rispetto a Porta Torre, nell'angolo sud – occidentale del perimetro murario. È alta 28 metri da terra circa, su 4 lati, mentre il quinto risulta inglobato nelle mura, che misurano circa 10 m. I prospetti sono massicci e sono interrotti da poche e piccole aperture; alcune di queste risultano a forma rettangolare con centinatura a tutto sesto, altre sono delle semplici feritoie. Queste ultime corrispondono nel disegno del prospetto interno a delle aperture più grandi, anche loro centinate. La copertura, che da una vista aerea risulta piana, all'intradosso presenta una volta in mattoni non centrata rispetto al perimetro pentagonale. Al vano terra è presente una scala a pioli murata che consentirebbe l'accesso al livello superiore (fig. 1.39), tuttavia la botola è stata

coperta da un massetto. Anche nel vano superiore è presente una scala a pioli a muro, che consente di raggiungere la quota da cui parte una scala murata, nascosta nel muro, che raggiunge la copertura.

La storia della torre è incerta fino al XVIII secolo, ovvero scarse sono le citazioni che si hanno nei documenti storici. Certa è la funzione militare difensiva che svolgeva, in prossimità della Porta Nuova, collocata in cima alla Via Volta. Un dato rilevante della torre, che potrebbe essere causa di cinematismi nel corso della storia, è la presenza del fossato che cingeva le mura. L'interramento avvenuto tra la fine del XVIII e l'inizio del XIX secolo, colmò il vuoto, tuttavia è possibile che nel tempo tale terreno abbia subito dei fenomeni di compattazione, definendo dei cedimenti fondazionali per i paramenti più esterni della torre, rivolti in Viale Varese e Viale Cattaneo.

Figura 1.35 – Prospetto interno norddella Torre Gattoni verso giardino pensile.

Le vicende più rilevanti della storia della torre sono legati all'attività del canonico Pietro Gattoni, da cui la torre di Porta Nuova ha preso poi nome.

Figura 1.36 - Torre Gattoni vista dal giardino pensile a nord

Nel 1768, a soli otto anni di distanza dal primo parafulmine costruito a Filadelfia da Benjamin Franklin, Como vide inalberato il primo parafulmine della città sopra uno dei suoi edifici. L'iniziativa era dovuta al canonico Giulio Cesare Gattoni, noto amico e mecenate di Alessandro Volta, cultore appassionato delle scienze naturali e uomo ricco d'iniziative. Il parafulmine fu eretto dal Gattoni nella sua casa in contrada di Porta Nuova, ora Via Volta. Nel 1784 il canonico Gattoni acquistò al Municipio, per una discreta somma, la Torre di Porta Nuova, dirimpetto all'Ospedale – ora sede del Conservatorio Musicale *G. Verdi* – e adiacente alla sua casa – ora sede dell'azienda *Mantero Spa.* In occasione della presa in gestione dell'immobile, il canonico fece eseguire una serie di lavori di manutenzione sulla torre per poter convenientemente servirsene ai suoi scopi. Fece sistemare lo spiazzo antistante il portone alla quota delle mura, che definì "teatrino" per poter tenere le sue lezioni; fece edificare una scala in legno a quattro

rampe che arrivava fino ad un finestrone, a partir dal quale esisteva già una scala costruita nello spessore del muro, che portava fino alla sommità, figura 1.37.

Qui c'era una terrazza sopra la quale fece costruire un piedistallo, su cui eresse il parafulmine, figura 1.38. La cosa curiosa è che oltre all'apparecchio, congegnò intorno all'asta metallica un complesso di apparati che dovevano servire per l'esplorazione dell'atmosfera e le segnalazioni dei più piccoli cambiamenti in essa. Il parafulmine era connesso ad uno scaricatore di ferro che discendeva lungo la torre, mentre un altro cavo fu teso dalla sommità della torre alla casa del canonico. Tale cavo era collegato ad un apparecchio segnalatore di campanelli, collocato nella stanza del Gattoni, con lo scopo di segnalare i più piccoli cambiamenti nelle condizioni dell'atmosfera, in rapporto col variare dello stato elettrico: all'avvicinarsi di un temporale, i campanelli entravano in azione squillando, mentre dai metalli sprigionava una pioggia di scintille. L'apparecchio del Gattoni fu battezzata *Armonia Meteorica* o *Arpa elettrica*. Molte furono le osservazioni che nel corso di un decennio riuscirono al Canonico che restituì in alcune pubblicazioni quali la *Descrizione di un fenomeno elettrico,* inserita ne "Giornale di incoraggiamento". Il laboratorio fisico della Torre di Porta Nuova ebbe l'onore della visita di Alessandro Volta, che, dopo ripetuti inviti, si decise ad andare a vedere l'*Arpa elettrica* dell'amico Gattoni non abbandonando il suo scetticismo circa la validità scientifica delle sue osservazioni. Fino al 1798 il Gattoni poté proseguire la sua attività di osservazione e ricerca senza impedimenti. Quando iniziarono le occupazioni, francese prima e austro-russa poi, il Gattoni dovette sgomberare la sua attività per far riprendere la funzione militare originaria della torre. Nel 1800, ristabilita l'occupazione francese dell'Italia settentrionale dopo la battaglia di Marengo, il Gattoni poté riprendere possesso della torre e ristabilirvi l'*armonica.* Nel 1808 il canonico, morto poi nell'anno successivo, non potendo più proseguire l'attività per

Figura 1.37 - Scala murata per accesso alla copertura della Torre Gattoni, Sopralluogo Mantero, 2011

Figura 1.38 - Copertura della Torre Gattoni: piedistallo di sostegno del parafulmine del Gattoni e sullo sfondo,botola d'accesso. Sopralluogo Mantero, 2011

problemi di salute, decise di donare l'impianto elettrico - meteorologico al Liceo, nonché la torre stessa, mettendo così a disposizione dei giovani l'attrezzatura. In questo modo agevolò la loro attività di studio e salvaguardò la conservazione degli apparecchi. Tale fatto è testimoniato da una lapide murata nel Liceo, ora intitolato ad Alessandro Volta. A quel tempo erano ancora eretti i bastioni antistanti le mura e le torri, i quali permettevano la comunicazione tra il giardino del Liceo e la torre.

Nel 1812 a seguito della demolizione dei bastioni e dell'apertura degli ingressi di Porta Torre, divenne impossibile il passaggio e il raggiungimento del laboratorio da parte dei liceali. I proprietari dei giardini sulle mura non concessero il transito dalle loro proprietà rendendo così impossibile l'accesso al laboratorio. Quell'anno segna dunque, nella storia della torre, la data dell'inizio di una progressiva decadenza e verso l'abbandono della torre. Infine, a seguito di un episodio che vide la morte di una persona a causa della caduta di un fulmine, il parafulmine venne smantellato, non senza polemiche, stabilendo la definitiva conclusione dell'attività di laboratorio presente nella torre. Da allora non si hanno più notizie sull'utilizzo della torre se non a partire della seconda metà del Novecento. Intorno agli anni 50, infatti, la torre venne suddivisa in due spazi da una soletta in cemento armato. Il piano terra venne occupato dalla società di fornitura elettrica *Subalpina* la quale allestì il vano con trasformatori di media bassa tensione e quadri elettrici che governavano la fornitura del centro città nonché delle zone limitrofe. Tale presenza ripropose una funzione utile della torre alla città, seguendo una linea del progresso nel campo della corrente elettrica da quand'era in gestione al Gattoni.

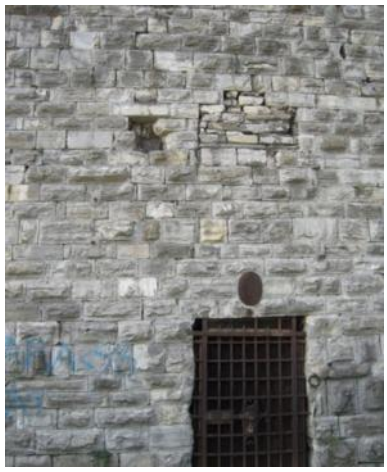


Figura 1.39 – Accesso con cancello del vano terra della Torre Gattoni occupato da apparecchiature elettriche, con logo ovale della *Società Subalpina*

Figura 1.40 - Quadro elettrico presente al vano terra della Torre Gattoni in disuso dal 1978

Nel 1978 tuttavia venne di nuovo abbandonata poiché sorse, poco distante, una nuova e più moderna centralina elettrica in prossimità del cimitero monumentale; tuttavia i trasformatori e

le macchine non vennero trasferiti e giacciono tutt'oggi in stato di abbandono e irreversibile degrado all'interno della torre.

Le informazioni in possesso del Comune di Como, a rigardo della Torre, risultano esigue proprio perché venne lasciata in uso alla Società Subalpina, poi ENEL. L'unica informazione è del 1971, relativa al consolidamento della parte superiore di Torre Gattoni, con la realizzazione della nuova impermeabilizzazione della copertura.

Il vano superiore, accessibile dal giardino della società *Mantero,*venne impiegato come spazio espositivo occasionale dall'azienda, in occasione di presentazioni di prodotti ed eventi mondani, ed è tutt'ora impiegato in codesto modo. È presente sulla soletta che divide i vani un massetto pendente che fa convergere le eventuali infiltrazioni d'acqua verso l'accesso dal giardino pensile. La società ha provveduto nell'estate del 2011 a eseguire un sopralluogo sulla copertura, con l'ausilio di un tecnico specialista, per eliminare un fico cresciuto sulla sommità della copertura e che quindi ha rotto la continuità dello stato di tenuta costituito da un bitume. Dalle informazioni avute dall'azienda il fico è stato tagliato e sradicato e il solco creatosi, coperto con una pietra. Di quell'intervento è presente una documentazione fotografica riportata nel presente paragrafo.

Figura 1.41 - Intradosso voltato della copertura di Torre Gattoni con rete in nylon anticaduta di detriti.

Figura 1.42 - Copertura della Torre Gattoni, presenza biologica di *ficus carica,* estirpata nell'estate del 2011, sullo sfondo, Porta Torre. Sopralluogo Mantero 2011

1.2.4. Torre Pantera

La Torre Pantera è un edificio in pietra situato in Via Rodari 9 a Como, una delle zone più caratteristiche e di importanza storica della città.

Essa infatti è collocata in prossimità di quello che era la porta orientale della città medievale – la *Porta del Portello* - non lontano dagli edifici cardine della vita politica e religiosa: il Broletto – sede del Comune e residenza del Podestà , il Duomo dedicato a Santa Maria Assunta – sede della Cattedra del Vescovo lariano.

Entrambi gli edifici rimandano ad un epoca storica, quella dei comuni, durante la quale Como visse uno dei suoi momenti di maggior splendore, quando il lago rappresentava un'importante via delle rotte commerciali verso le valli alpine e la vicina Svizzera.

I caratteri evidenti di questa città erano le mura, parzialmente ancora conservate, che cingevano la città sui lati orientale, meridionale e occidentale, e il lungo lago con il porto e la darsena che apriva la città a settentrione verso le rotte lacustri. Ancora oggi è possibile apprezzare questa composizione urbanistica che ha generato l'espansione della città caratterizzandone i percorsi intorno alle mura e l'estensione del percorso lungo il lago ancora oggi oggetto di modifiche idrogeologiche con il grande progetto delle *paratie*.

Quella medievale era l'epoca in cui le famiglie comasche illustri edificavano le proprie residenze nel centro storico determinando la matrice di strade e quartieri della città, poi riviste e rettificate nel corso del tempo.

La torre Pantera fa parte dell'attuale complesso di Palazzo Rusconi – Pantera, situato a nord della stessa.

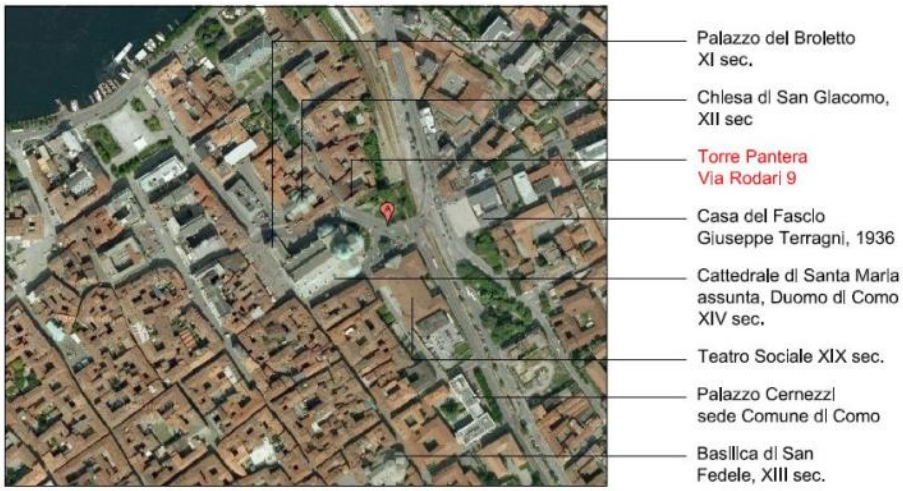
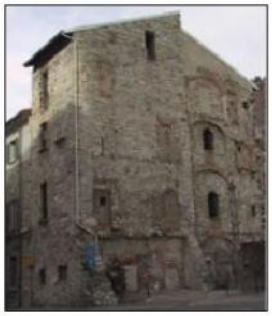


Figura 1.43 - Inquadramento urbanistico della Torre Pantera



1 - Torre Pantera, vista dalla Piazza Verdi prima del crollo del tetto del 25 Ottobre 2010

2 - Casa del Fascio Giuseppe Terragni, 1936 in un disegno assonometrico realizzato dall'architetto comasco

3 -Palazzo del Broletto XI sec. e Cattedrale di Santa Maria assunta, Duomo di Como XIV sec. in una foto d'epoca

4 - Teatro Sociale XIX sec. visto dalla sommità della Torre Pantera (nella foto si può notare la nuova conformazione della Piazza Verdi oggetto di un restyling del 2009 che ne esalta il prospetto principale)

Figura 1.44 - Contesto urbano della Torre Pantera

Dalla relazione redatta nel 1982 dall'Arch. Pandakovic, docente presso il Politecnico di Milano, in occasione dell'elaborazione del progetto di restauro, approvato dal Comune di Como ma mai realizzato, è possibile recuperare alcune informazioni storiche.

"[…] Gli scrostamenti preliminari all'interno della Torre Pantera, eseguiti nei mesi di maggio e giugno 1982, hanno posto in luce le caratteristiche di torre-porta, torrione quindi di fortificazione sotto il quale passava un percorso stradale, analoga, come tipologia, alla Porta Torre in piazza Vittoria (costruita quest'ultima nel 1192) […]"[1]

[1] *D.Pandakovic*, Comune di Como -Restauro Torre Pantera, Como 1982

"[…] Solo dopo tale rilevamento si può affermare che non si tratta di una torre legata ad un nucleo fortificato residenziale, bensì al residuo di un muro difensivo."[2]

Essa si trova infatti , secondo gli studi di Gianfranco Caniggia, su di un percorso evidenziato nella "terza fase dell'impianto romano": il Municipio di Giulio Cesare, che prevedeva una dimensione urbana più ampia di quella successivamente consolidatasi in epoca medievale, ed oggi riconoscibile nel centro storico. E' interessante l'ubicazione della torre su di un percorso che, confermato in quelle che il Caniggia chiama IV e V fase dello sviluppo della città, è certamente rimasto tale nelle modificazione medievali.

Determinante nel passaggio dall'epoca romana alla fase medievale è la considerazione dell'aumento di quota del piano urbano. Il basamento della torre Pantera è a m meno 1.10 rispetto all'attuale pavimentazione stradale, coerente quindi in linea di massima con gli altri impianti medievali. Comunque nella progressiva sopraelevazione di quota, si erano conservate le funzioni degli spazi ed i percorsi.

Da notare che la torre non ha nulla a che vedere con l'origine del palazzo da cui prende nome. Casa Pantera fu costruita ad occlusione della porta passante, e probabilmente in due fasi successive: la prima lasciava uno spazio di transito a fianco alla torre, la seconda intasava lo spazio superstite inglobando la torre. La torre era fornita di una duplice porta sul percorso stradale sud-nord e sul fianco est vi si poteva accedere con un portello laterale, ora parzialmente sotto il livello stradale in Via Rodari.

Dalle vedute antiche della città si può dedurre tuttavia che la torre, fino al 1500 circa, non era più tale, in quanto completamente inglobata nel tessuto residenziale circostante. Dai catasti si può notare come fino al 1902 sia presente una porzione di edificio davanti alla torre. E' presumibile che la liberazione della torre sia avvenuta nel 1907, anno del rilievo effettuato dall'Ufficio Tecnico Municipale.

Tuttavia Pandakovic sottolinea: "[…] Si può premettere che la messa in luce delle caratteristiche della Torre ed il confronto con le ipotesi elaborate dagli studiosi sulle evoluzioni della città in questo settore nord-occidentale, non ha sino ad ora dato luogo ad una soluzione circa la natura ed il ruolo della torre nel suo contesto […]"[3]

È quindi deducibile che le ricerche effettuate non portino a definire nulla di certo sull'edificazione e sull'utilizzo della Torre.

[2] *ibidem*
[3] *ibidem*

Sempre utilizzando come fonte le ricerche effettuate dall'Arch. Pandakovic, è stato possibile effettuare delle ipotesi sull'evoluzione delle fasi di intervento che hanno definito l'attuale forma della Torre.

Prima Fase: La Torre Porta . La torre si eleva su quattro grandi fornici con un doppio percorso stradale: quelli sulla parete sud, verso Piazza Verdi, hanno subito molti danni, quelli sulla parete nord sono integri. Le murature in questa prima fase sono tecnicamente sane, i blocchi sono squadrati con estrema cura a spigoli vivi. Sono pure della prima fase le due finestre sul lato est della torre e la finestra sul lato nord. Sulle pareti nord e sud sono state reperite le tracce dei buchi nelle murature sopra gli archi ad una quota di circa 7 m, e gli alloggiamenti per delle travi in copertura a circa 17 m. Questa fase è databile al 1100 circa.

Seconda Fase: Residenza medievale .Realizzazione della volta tra i quattro fornici e assestamento della facciata su via Rodari con forme duecentesche. A questa fase è possibile attribuire le due finestre a quota 4.00 m, di cui ci sono evidenti tracce nelle murature.

Terza Fase: Residenza settecentesca . Intento della terza fase è stato quello di cancellare l'aspetto medievale dell'edificio con l'ordinamento di finestre e solette a quote omogenee con il tessuto residenziale circostante. Le finestre sono rettangolari, delle dimensioni consuete dell'architettura del '700 - '800. Le solette sono complanari a quelle dell'edificio adiacente, anch'esso di questa fase. L'edificio adiacente è caratterizzato da logge a ciascun piano. Anche il piccolo edificio a due piani adiacente è attribuibile a tale fase, così come la scala.

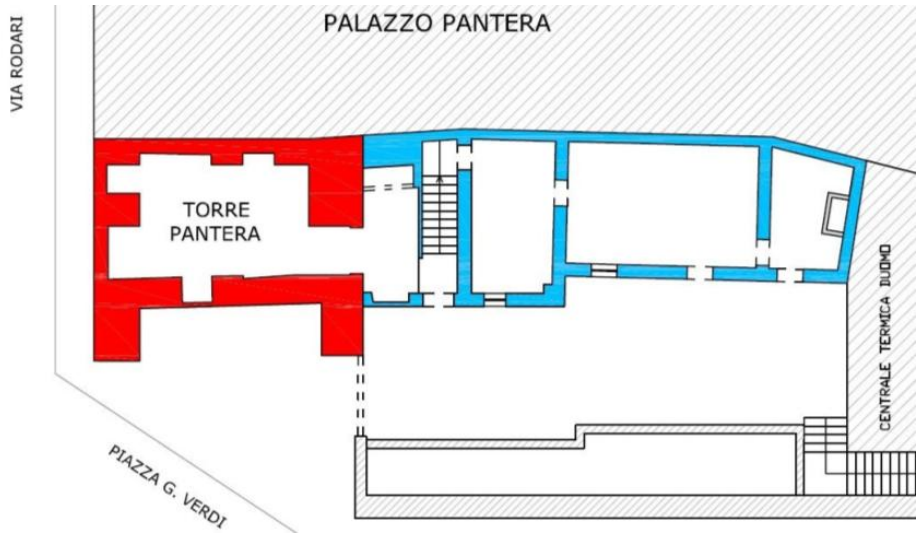
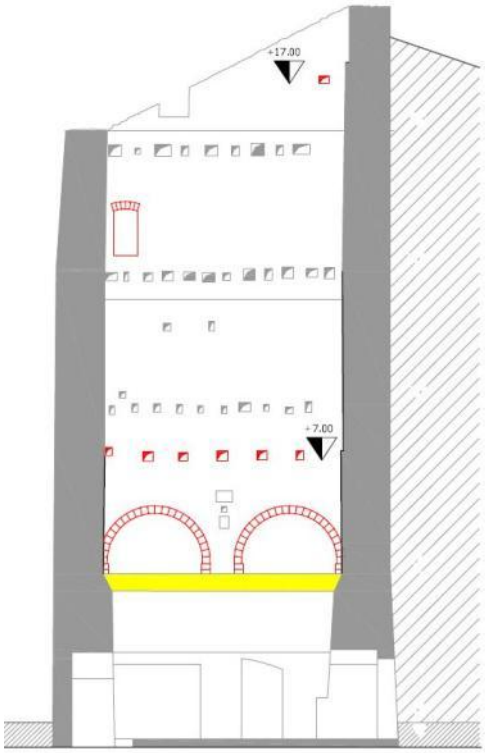
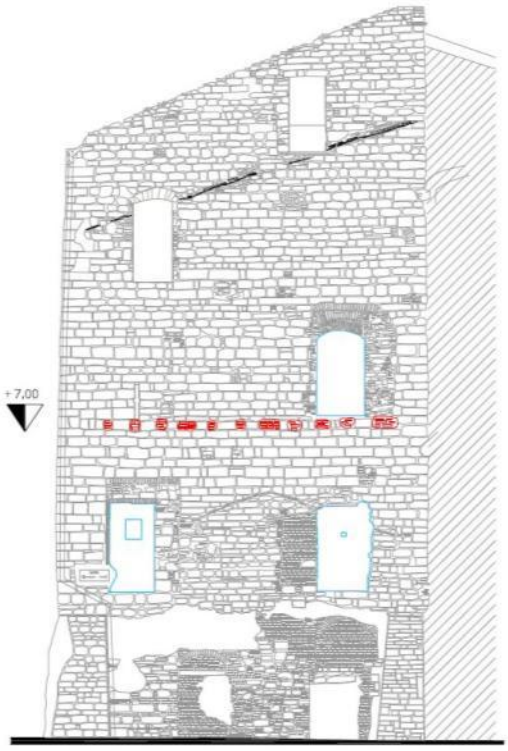


Figura 1.45 - Evoluzione della pianta del piano terra della Porre Pantera: nucleo originale della torre in rosso, estensione settecentesca in azzurro



PARETE INTERNA NORD
Tracce degli archi della “torre porta” e dei buchi pontai, innesto della voltaduecentesca

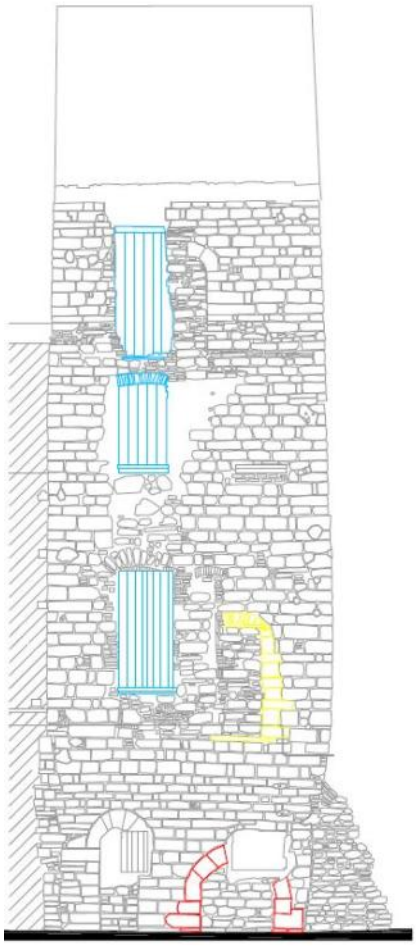


FACCIATA SUD
Tracce dei buchi pontai, aperturesettecentesche e innesto della copertura dell’edificio sito di fronte alla torre sinoal 1907

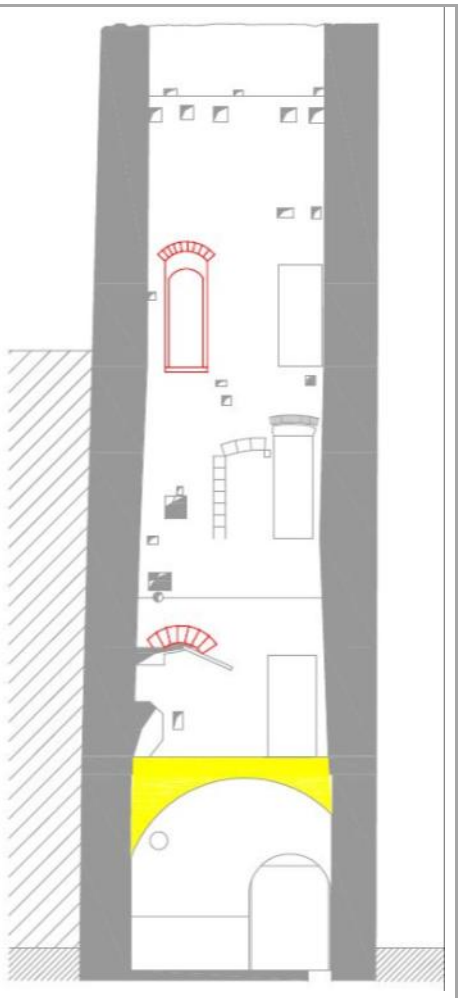
Archi della “torre porta” nella parete nord

Tracce di buchi pontai nel prospetto interno sud

Figura 1.46 - Localizzazione delle stratificazioni storiche nella Torre Pantera.



FACCIATA OVEST
Tracce di un arco della “torre porta”, di una finestra duecentesca e di aperture settecentesche



PARETE INTERNA EST
Tracce di due finestre della prima fase, e innesto della volta duecentesca

FACCIATA OVEST
Tracce di un arco della “torre porta” nella facciata ovest

PARETE INTERNA EST Finestra nella parete interna est, verso vano scale

Figura 1.47 - Localizzazione delle stratificazioni storiche nella Torre Pantera

2.

Rilievo dello stato di fatto

2. Rilievo dello stato di fatto

2.1. Introduzione

Nelle costruzioni esistenti le condizioni strutturali possono essere molto diverse da un edificio all'altro. Al fine di realizzare un modello di comportamento statico si è provveduto a definire in modo puntuale quello che è lo stato di fatto di tutte e 4 le Torri oggetto del presente elaborato. In accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14.01.2008 – Cap.8, si è proceduto alla valutazione della sicurezza: in prima istanza, come riportato al capitolo precedente, si è elaborata un'analisi storico-critica che ha permesso di stabilire quelle che sono state le modifiche che hanno interessato le strutture.

Il rilievo topografico, condotto per le Torri poste in continuità con le mura della città, ha permesso di definire con esattezza la geometria esterna degli edifici.

Torre Gattoni è stata rilevata internamente con metro laser e metro rigido. Tramite l'utilizzo del software ArTenDigiplan è stato possibile definire con precisione il profilo interno dell'edificio. Inoltre grazie al rilievo della profondità delle aperture è stato possibile definire qualitativamente gli spessori dei muri perimetrali.

Porta Torre è stata caratterizzata dal punto di vista geometrico tramite un rilievo topografico esterno e una misurazione tramite metro laser e metro rigido del perimetro interno del piano terra.

Torre Pantera è stata rilevata utilizzando metro laser, metro rigido e bindella ed è stato possibile, tramite l'accessibilità data dalla presenza dei ponteggi, rilevare la geometria sia interna che esterna.

Torre San Vitale è stata caratterizzata, per quello che riguarda le geometrie esterne, tramite rilievo topografico mentre, internamente non è stato possibile accedere e le dimensioni riportate nelle piante sono desunte da tavole storiche pervenute presso l'Archivio del Comune di Como datate 1965.

Per le Torri costituenti la cinta muraria èstato possibile tramite rilievo topografico definire quantitativamente il fuori-piombo delle murature e, grazie al rilievo fotografico, si è determinato il quadro fessurativo sia interno che esterno di tutti i prospetti. Torre San Vitale è stata studiata solo per quello che riguarda le superfici e le geometrie esterne. Inoltre, limitatamente a Torre Gattoni, grazie all'esistenza di un rilievo topografico eseguito nel 1996 dal Comune di Como, è stato possibile eseguire un confronto con i dati da noi rilevati.

2.2. Rilievo Fotogrammetrico

Il rilievo fotogrammetrico è stato condotto tramite l'utilizzo dei rilievi fotografici da noi eseguiti nei mesi di settembre e ottobre 2011. Tramite l'utilizzo del software Archis 2D si è provveduto a rendere ortonormali le foto dei prospetti che, una volta raddrizzate, sono state utilizzate per una prima definizione di tutti i quadri fessurativi dei prospetti.

Tale quadro fessurativo è stato studiato in modo approfondito con ulteriori foto, scattate in modo ravvicinato, che rappresentano un valido strumento di analisi in sostituzione ad un rilievo effettuato da vicino con l'utilizzo di una piattaforma aerea o di un'opera provvisionale. Inoltre, per quei fronti in cui non è stato possibile realizzare una foto che comprendesse tutta la facciata, si è provveduto a elaborare le foto in modo tale che si potesse restituire un'immagine con il prospetto completo.

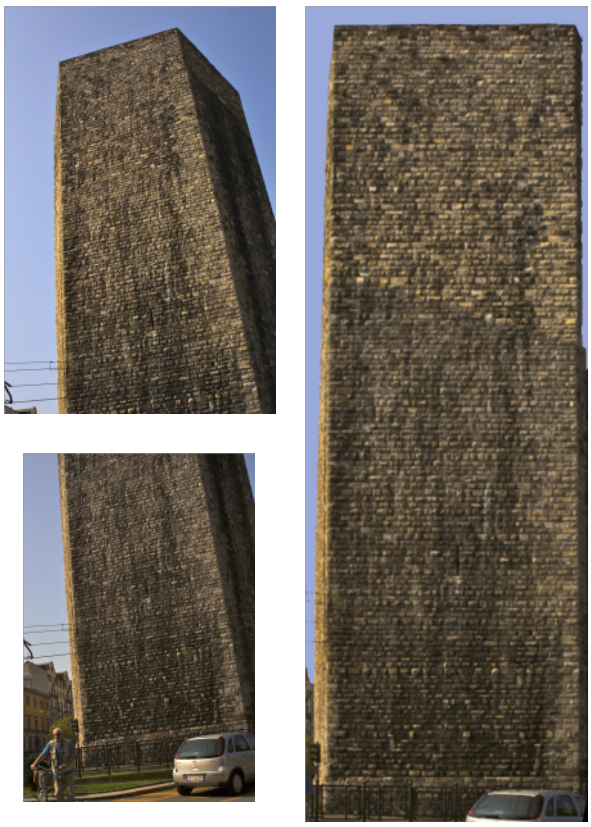


Figura 2.1 – Esempio di elaborazione fotografica: a sinistra le foto scattate in sito a destra l'elaborazione – Rilievo settembre 2011

2.3. Rilievo Topografico

A seguito di un attenta valutazione preliminare si è stabilito che, ad eccezione del rilievo compiuto nel 1996 su Torre Gattoni da parte del Comune, i disegni storici pervenuti presso gli archivi comunali non sono in grado di fornire l'adeguato livello di conoscenza degli edifici. Si è deciso di compiere un rilievo topografico per intersezioni in avanti che potesse restituire le dimensioni e caratteristiche geometriche senza essere influenzato dall'impossibilità di raggiungere le parti alte delle torri. Il procedimento seguito prevede di definire due tipi di punti: in primo luogo quelli raggiungibili dall'operatore che, ponendo il prisma in aderenza al punto da rilevare, possono essere rilevati in un'unica lettura. In questo caso il dato rilevato è caratterizzato da angolo orizzontale, verticale e distanza. In secondo luogo i punti non

accessibili dall'operatore che sono stati definiti grazie all'intersezione di tre letture, condotte da tre stazioni a terra differenti, caratterizzate ognuna dai soli angoli orizzontale e verticale. Di seguito sono riportati i dati dei libretti di campagna delle singole torri.

2.3.1. Porta Torre

Rilievo eseguito in data:05.09.2011

CodicePunto	TipoPunto	H. Strumento/ Ang. Orizzontale	Ang. Orizzontale	Distanza	H. Prisma	CodicePunto	TipoPunto	H. Strumento/ Ang. Orizzontale	Ang. Orizzontale	Distanza	H. Prisma
P100	PAT	1,51				D413	SF	20,763	58,724	0	0
D200	PAT	220,483	99,479	91,286	1,5	D500	PAT	1,755			
D1000	PAT	385,405	100,836	41,081	1,5	D400	PAT	349,9	101,099	16,763	1,92
D101	SF	194,859	85,205	0	0	D600	PAT	125,425	102,014	24,708	1,5
D102	SF	200,522	96,963	0	0	D401	SF	365,964	98,914	35,054	1,5
D103	SF	200,498	84,873	0	0	D402	SF	370,893	99,02	34,451	1,5
D104	SF	201,567	86,201	0	0	D502	SF	390,897	99,27	38,468	1,5
D105	SF	201,573	97,225	0	0	D101	SF	390,862	54,816	0	0
D200	PAT	1,625				D305	SF	365,92	93,396	0	0
D100	PAT	241,559	100,628	91,292	1,5	D304	SF	365,744	55,825	0	0
D300	PAT	25,47	99,957	78,429	1,5	D303	SF	365,924	51,162	0	0
D1000	CM	230,82	100,702	128,09	1,5	D403	SF	377,923	88,099	0	0
D201	SF	393,086	99,953	62,483	1,5	D404	SF	370,851	84,832	0	0
D202	SF	393,929	99,948	63,655	1,5	D405	SF	386,553	86,019	0	0
D203	SF	395,707	99,922	66,405	1,5	D406	SF	370,832	75,669	0	0
D204	SF	397,442	99,798	69,196	1,5	D407	SF	387,079	77,55	0	0
D101	SF	379,392	71,156	0	0	D408	SF	370,792	67,429	0	0
D102	SF	388,819	93,741	0	0	D409	SF	387,134	69,646	0	0
D103	SF	388,835	67,382	0	0	D410	SF	371,084	61,342	0	0
D104	SF	397,382	72,125	0	0	D411	SF	387,123	63,815	0	0
D105	SF	397,397	94,77	0	0	D412	SF	378,351	55,675	0	0
D300	PAT	1,635				D413	SF	380,232	55,918	0	0
D200	PAT	312,502	100,275	78,429	1,5	D600	PAT	1,72			
D400	PAT	395,426	100,93	85,834	1,9	D500	PAT	20,626	99,277	24,686	1,5
D1000	CM	315,821	100,375	206,34	1,9	D700	PAT	49,844	98,997	81,707	1,5
D201	SF	370,167	100,245	38,663	1,5	D402	SF	47,281	98,764	55,516	1,5
D202	SF	371,891	100,276	37,677	1,5	D503	SF	56,351	98,881	55,12	1,5
D301	SF	363,207	100,252	43,571	1,5	D101	SF	0,000	68,102	0	0
D302	SF	366,531	99,676	41,056	1,9	D303	SF	44,215	65,692	0	0
D102	SF	363,21	92,07	0	0	D304	SF	44,115	69,642	0	0

CodicePunto	TipoPunto	H. Strumento/ Ang. Orizzontale	Ang. Orizzontale	Distanza	H. Prisma	CodicePunto	TipoPunto	H. Strumento/ Ang. Orizzontale	Ang. Orizzontale	Distanza	H. Prisma
D103	SF	363,359	59,616	0	0	D305	SF	44,224	95,705	0	0
D104	SF	381,089	51,327	0	0	D403	SF	51,789	91,635	0	0
D105	SF	381,144	89,651	0	0	D404	SF	47,243	89,879	0	0
D303	SF	391,489	60,375	0	0	D405	SF	57,828	89,878	0	0
D304	SF	391,62	64,823	0	0	D406	SF	47,222	83,861	0	0
D305	SF	391,488	90,948	0	0	D407	SF	58,232	83,902	0	0
D400	PAT	1,665				D408	SF	47,215	78,108	0	0
D300	PAT	4,241	98,876	85,837	1,69	D409	SF	58,271	78,035	0	0
D500	PAT	349,901	98,899	16,762	1,5	D410	SF	47,401	73,535	0	0
D401	SF	8,501	98,225	41,492	1,5	D411	SF	58,269	73,526	0	0
D402	SF	12,506	98,305	40,78	1,5	D412	SF	52,103	68,145	0	0
D101	SF	31,558	55,253	0	0	D413	SF	53,363	68,102	0	0
D303	SF	8,492	56,835	0	0	D700	PAT	1,7			
D304	SF	0,000	56,835	0	0	D600	PAT	91,731	101,353	81,727	1,5
D305	SF	8,504	93,789	0	0	D100	PAT	393,126	100,497	146,992	1,5
D403	SF	18,585	88,603	0	0	D200	PAT	373,059	100,394	60,666	1,5
D404	SF	12,438	86,294	0	0	D300	PAT	233,624	100,448	25,708	1,5
D405	SF	26,941	85,991	0	0	D400	PAT	87,598	101,608	66,649	1,5
D406	SF	12,435	78,395	0	0	D204	SF	109,346	100,859	13,98	1,5
D407	SF	27,521	77,973	0	0	D205	SF	94,058	100,716	13,767	1,5
D408	SF	12,418	71,123	0	0	D201	SF	73,284	100,944	14,785	1,5
D409	SF	27,57	70,433	0	0	D202	SF	79,361	100,859	14,331	1,5
D410	SF	12,656	65,539	0	0	D301	SF	51,498	100,734	18,257	1,5
D411	SF	27,569	70,435	0	0	D302	SF	61,324	100,952	16,291	1,5
D412	SF	19,024	58,849	0	0						

Legenda:

Codice Punto: D – Dettaglio

P – Stazione

Tipo Punto: SF –Spigolo Fabbricato

PAT -Punto a Terra

CM – Chiodo Miniato

2.3.2. Torre Gattoni

Rilievo eseguito in data:10.12.1996 dall'Ufficio Tecnico del Comune di Como

Stazione	S1			D2	132,083	83,209
Punto	Azimutale	Zenitale		D3	132,693	69,388
A1	-	-		E1	-	-
A2	306,233	83,491		E2	-	-
A3	305,49	69,575		E3	119,465	69,163
B1	294,335	92,749		Stazione	P20	
B2	294,141	83,992		Punto	Azimutale	Zenitale
B3	293,573	69,92		A1	-	-
C1	291,249	94,336		A2	386,316	78,323
C2	291,11	86,759		A3	385,377	61,221
C3	290,666	74,026		C1	339,412	89,832
Stazione	S2			C2	-	-
Punto	Azimutale	Zenitale		C3	338,211	58,606
B1	-	-		Stazione	P25	
B2	-	-		Punto	Azimutale	Zenitale
B3	31,834	71,943		B1	67,354	90,523
C1	24,502	93,200		B2	80,624	67,464
C2	24,435	84,221		B3	67,762	64,531
C3	24,364	68,765		C1	65,389	83,84
D1	13,987	93,256		C2	65,495	76,753
D2	13,985	85,126		C3	65,926	57,686
D3	14,071	70,554		E2	43,42	80,413
Stazione	S3			E3	43,96	64,188
Punto	Azimutale	Zenitale		Stazione	P26	
C1	133,781	92,641		Punto	Azimutale	Zenitale
C2	133,945	85,439		E2	86,357	70,49
C3	134,455	73,167				
D1	131,788	91,270		NB. [-] dato non rilevato		

Rilievo eseguito in data:29.09.2011

CodicePunto	TipoPunto	H. Strumento/ Ang. Orizzontale	Ang. Orizzontale	Distanza	H. Prisma	CodicePunto	TipoPunto	H. Strumento/ Ang. Orizzontale	Ang. Orizzontale	Distanza	H. Prisma
P100	PAT	1,54				D104	SF	367,061	74,29	0	0
D101	SF	3,951	79,941	0	0	D107	SF	368,055	69,101	0	0
D102	SF	11,381	78,84	0	0	D203	SF	346,704	54,983	0	0
D103	SF	15,613	81,109	0	0	D204	SF	347,535	75,872	0	0
D104	SF	4,236	89,494	0	0	D205	SF	347,632	74,367	0	0
D105	SF	4,181	90,421	0	0	D206	SF	348,013	87,855	0	0
D106	SF	11,746	88,695	0	0	D207	SF	347,924	89,36	0	0
D107	SF	6,76	85,802	0	0	D302	SF	357,421	77,146	0	0
D108	SF	4,259	95,649	0	0	D303	SF	342,048	62,397	0	0
D109	SF	4,32	95,256	0	0	D304	SF	342,786	79,315	0	0
D110	SF	4,33	97,857	0	0	D305	SF	342,649	80,646	0	0
D111	SF	8,763	89,047	0	0	D306	SF	345,339	79,656	0	0
P200	PAT	387,737	100,416	0	0	D307	SF	343,046	90,572	0	0
P201	PAT	387,74	100,419	63,894	1,5	D308	SF	342,939	91,088	0	0
D150	SF	194,456	85,006	0	1,5	P500	CM	1,675			
D151	SF	200,051	84,71	0	1,5	D303	SF	35,817	72,238	0	0
D152	SF	201,116	86,117	0	1,5	P400	SF	48,836	99,068	90,761	1,5
D153	SF	194,414	89,099	0	1,5	D307	SF	35,207	91,808	0	1,5
D154	SF	200,068	96,975	0	1,5	D308	SF	35,27	92,349	0	1,5
D155	SF	201,115	97,352	0	1,5	D501	SF	35	99,234	57,958	1,5
P700	PAT	220,033	99,504	91,28	1,5	D301	SF	34,999	99,239	57,867	1,5
P200	PAT	1,635				D304	SF	35,355	84,296	0	0
P100	PAT	397,412	99,785	63,889	1,5	D305	SF	35,459	85,155	0	0
P101	PAT	0,412	99,781	63,887	1,5	D502	SF	24,87	69,135	0	0
D101	SF	265,17	46,627	0	0	D503	SF	24,309	82,382	0	0
D102	SF	286,05	52,066	0	0	D504	SF	24,309	82,085	0	0
D104	SF	266,746	66,902	0	0	D505	SF	23,951	90,852	0	0
D105	SF	266,753	68,222	0	0	P600	PAT	18,07	73,064	56,772	1,5
D109	SF	267,662	83,576	0	0	P601	PAT	56,395	99,676	56,773	1,5
D108	SF	267,56	85,495	0	0	P600	CM	1,76			
D110	SF	267,967	92,586	0	0	P500	CM	343,802	100,842	56,774	1,5
D106	SF	287,415	71,159	0	0	P400	CM	123,992	99,28	35,03	1,1
D107	SF	274,549	60,34	0	0	P300	CM	93,298	99,567	48,975	1,1
D201	SF	288,504	86,547	0	0	P200	CM	61,893	99,309	55,64	1,1
D202	SF	286,126	54,701	0	0	D210	CM	56,726	98,192	25,415	1,5

CodicePunto	TipoPunto	H. Strumento/ Ang. Orizzontale	Ang. Orizzontale	Distanza	H. Prisma	CodicePunto	TipoPunto	H. Strumento/ Ang. Orizzontale	Ang. Orizzontale	Distanza	H. Prisma
D203	SF	251,877	55,828	0	0	D301	SF	36,639	99,477	19,121	1,5
D204	SF	252,829	76,232	0	0	D103	SF	19,334	49,774	0	0
D205	SF	253,021	74,661	0	0	D505	SF	18,167	70,079	0	0
D206	SF	253,332	88,219	0	0	D504	SF	19,12	56,432	0	0
D207	SF	253,272	89,725	0	0	D503	SF	19,213	55,009	0	0
D208	SF	268,389	99,988	22,922	1,5	D303	SF	40,186	38,748	0	0
D209	SF	286,2	100,269	27,021	1,5	D305	SF	38,251	61,704	0	0
D210	SF	253,705	100,84	30,418	1,5	D304	SF	38,384	59,255	0	0
P300	CM	180,896	100,983	26,355	1,5	D308	SF	37,541	79,97	0	0
P2000	CM	5,406	100,834	22,936	1,5	D307	SF	37,577	78,453	0	0
P300	CM	1,657				P1000	CM	92,86	98,851	31,541	1,5
P200	PAT	19,014	99,767	26,347	1,5	P1000	CM	1,65			
D209	SF	370,934	99,796	39,281	1,5	P600	CM	1,839	102,027	31,558	1,5
D208	SF	368,165	99,486	31,386	1,5	P500	CM	34,975	101,153	81,942	1,5
D210	SF	348,387	100,333	30,913	1,5	P200	CM	139,814	99,508	31,44	1,5
D301	SF	343,363	101,185	39,792	1,5	D208	PF	87,84	99,144	22,286	1,5
D101	SF	366,17	54,983	0	0	D301	PF	43,452	101,551	24,395	1,5
D102	SF	369,801	62,719	0	0	D203	PF	41,925	47,014	0	0
D202	SF	369,846	65,113	0	0	D204	PF	60,178	58,79	0	0
D106	SF	370,179	73,863	0	0	D205	PF	60,178	57,921	0	0
D201	SF	370,992	89,922	0	0	D206	PF	60,749	77,897	0	0
D110	SF	367,933	94,052	0	0	D207	PF	60,682	80,406	0	0
D108	SF	367,707	88,739	0	0	D306	PF	51,609	66,04	0	0
D109	SF	367,67	87,275	0	0	D302	PF	75,499	64,747	0	0
D105	SF	367,181	75,335	0	0						

Legenda:

Codice Punto: D – Dettaglio

P – Stazione

Tipo Punto: SF –Spigolo Fabbricato

PAT -Punto a Terra

CM – Chiodo Miniato

2.3.3. Torre San Vitale

Rilievo eseguito in data:07.10.11

CodicePunto	TipoPunto	H. Strumento/ Ang. Orizzontale	Ang. Orizzontale	Distanza	H. Prisma	CodicePunto	TipoPunto	H. Strumento/ Ang. Orizzontale	Ang. Orizzontale	Distanza	H. Prisma
P100	PAT	1,660				D210	SF	388,725	64,143	0,000	0
D200	PAT	4,631	100,023	68,843	1,5	D211	SF	387,022	61,985	0,000	0
D500	PAT	54,220	100,605	63,847	1,9	D212	SF	388,555	62,44	0,000	0
D600	PAT	95,741	99,985	41,801	1,5	D213	SF	387,683	59,705	0,000	0
D101	SF	12,874	100,719	34,421	1,5	D214	SF	386,854	58,316	0,000	0
D102	SF	29,845	100,61	28,193	1,5	D215	SF	388,407	58,795	0,000	0
D103	SF	41,790	100,85	36,034	1,5	D216	SF	387,499	56,238	0,000	0
D104	SF	14,054	53,488	0,000	0	D503	SF	379,586	52,668	0,000	0
D105	SF	30,540	47,276	0,000	0	D601	SF	371,634	59,627	0,000	0
D106	SF	41,899	54,754	0,000	0	P400	PAT	1,610			
P200	PAT	1,700				D300	PAT	313,050	101,809	3,298	1,5
D100	PAT	395,969	100,323	68,861	1,5	D500	PAT	399,455	100,987	58,804	1,5
D300	PAT	124,242	103,117	7,608	1,5	D200	PAT	377,130	99,522	8,834	1,5
D400	PAT	100,456	102,907	8,834	1,5	D104	SF	48,825	56,271	0,000	0
D251	SF	390,371	101,135	33,528	1,5	D201	SF	40,800	89,783	0,000	0
D252	SF	386,076	101,282	30,981	1,5	D203	SF	42,186	85,477	0,000	0
D253	SF	378,419	101,27	31,187	1,5	D204	SF	40,832	80,903	0,000	0
D254	SF	377,650	101,63	27,371	1,5	D205	SF	37,638	75,948	0,000	0
D255	SF	375,843	102,59	20,302	1,5	D206	SF	42,921	76,877	0,000	0
D256	SF	0,387	101,196	32,163	1,5	D207	SF	40,267	69,838	0,000	0
D104	SF	54,069	386,726	0,000	0	D208	SF	37,531	67,57	0,000	0
D201	SF	378,863	88,977	0,000	0	D209	SF	43,044	68,049	0,000	0
D203	SF	380,898	84,38	0,000	0	D210	SF	40,263	62,89	0,000	0
D204	SF	379,595	79,207	0,000	0	D211	SF	38,428	60,755	0,000	0
D205	SF	376,492	73,416	0,000	0	D212	SF	40,107	61,166	0,000	0
D206	SF	381,518	74,998	0,000	0	D213	SF	39,143	58,426	0,000	0
D207	SF	378,975	67,059	0,000	0	D214	SF	38,256	57,062	0,000	0
D208	SF	376,318	64,252	0,000	0	D215	SF	39,956	57,479	0,000	0
D209	SF	381,586	65,527	0,000	0	D216	SF	38,960	54,938	0,000	0
D210	SF	378,913	59,689	0,000	0	D503	SF	30,412	51,659	0,000	0
D211	SF	377,140	57,161	0,000	0	D601	SF	23,544	59,115	0,000	0
D212	SF	378,764	57,852	0,000	0	P500	CM	1,780			
D213	SF	377,818	54,855	0,000	0	D400	PAT	1,370	99,464	58,820	1,5
D214	SF	376,941	53,308	0,000	0	D100	PAT	324,168	99,449	63,848	1,5
D215	SF	378,599	54,021	0,000	0	D600	PAT	280,131	98,83	39,772	1,5

CodicePunto	TipoPunto	H. Strumento/ Ang. Orizzontale	Ang. Orizzontale	Distanza	H. Prisma	CodicePunto	TipoPunto	H. Strumento/ Ang. Orizzontale	Ang. Orizzontale	Distanza	H. Prisma
D216	SF	377,797	51,333	0,000	0	D103	SF	339,449	98,604	29,330	1,9
D503	SF	368,976	46,537	0,000	0	D501	SF	361,013	99,219	25,253	1,9
D601	SF	357,464	54,476	0,000	0	D502	SF	372,488	99,051	33,683	1,9
P300	PAT	1,620				D106	SF	339,321	47,586	0,000	0
D200	PAT	344,156	99,725	7,594	1,5	D503	SF	371,212	51,954	0,000	0
D400	PAT	56,251	103,04	3,297	1,5	D601	SF	359,973	42,951	0,000	0
D104	SF	396,477	57,77	0,000	0	P600	PAT	1,680			
D201	SF	389,249	90,257	0,000	0	D500	PAT	97,728	101,92	39,785	1,5
D203	SF	390,507	86,139	0,000	0	D100	PAT	383,282	100,557	41,809	1,5
D204	SF	389,271	81,704	0,000	0	D102	SF	29,388	100,762	36,613	1,5
D205	SF	386,330	76,844	0,000	0	D103	SF	45,912	101,293	32,436	1,5
D206	SF	391,164	77,837	0,000	0	D105	SF	45,780	51,443	0,000	0
D207	SF	388,736	70,948	0,000	0	D106	SF	29,915	55,236	0,000	0
D208	SF	386,215	68,666	0,000	0	D601	SF	56,531	58,204	0,000	0
D209	SF	391,257	69,252	0,000	0						

Legenda:

Codice Punto: D – Dettaglio

P – Stazione

Tipo Punto: SF –Spigolo Fabbricato

PAT -Punto a Terra

CM – Chiodo Miniato

2.4. Interpretazione della verticalità delle murature perimetrali

I rilievi topografici condotti sulle torri della cinta muraria della città comasca hanno permesso di analizzare la verticalità delle murature perimetrali. L'obiettivo di tale indagine è quella di valutare le eventuali problematiche strutturali legate a fuori-piombo che possano compromettere la stabilità dell'edificio.

2.4.1. Porta Torre

Porta Torre non evidenzia problematiche legate alla mancanza di verticalità delle murature che ne costituiscono il perimetro. I punti rilevati, presi sui 4 spigoli di base e di sommità, permettono un confronto diretto su quella che è la verticalità di tutti e quattro i prospetti. In particolare si ottiene:

Nord	8 cm	Rastremazione
Est	7 cm	Rastremazione
Sud	0 cm	Rastremazione
Ovest	1 cm	Rastremazione
Altezza Edificio		33,65 m

Nel caso di rastremazione si intende che il perimetro della sommità è interno rispetto a quello di base.

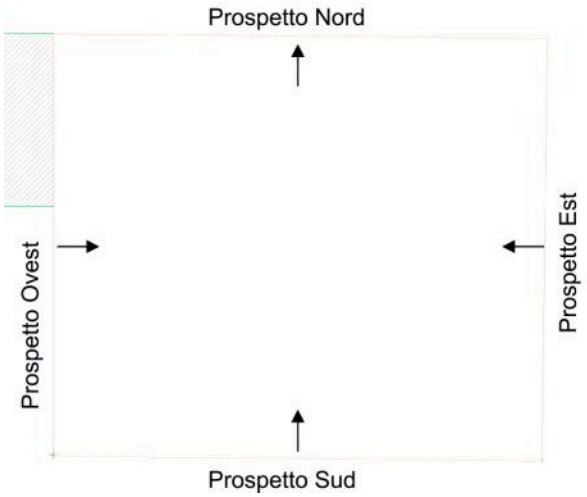


Figura 2.2 - Schema pianta Porta Torre-tav. di rif.: R.29

2.4.2. Torre Gattoni

Torre Gattoni è caratterizzata da elevati valori di fuori-piombo che suggeriscono, come evidenziato ai capitoli successivi, interventi di messa in sicurezza di alcune parti del edificio. In particolare i fronti non addossati alla cinta muraria sono estremamente inclinati verso i giardini e la strada pubblica sottostante. L'esistenza di dati storici sullo stato della torre, conservati presso l'Ufficio Tecnico del Comune, ha permesso di eseguire un raffronto tra le misure

rilevate dai tecnici comunali il 10 dicembre 1996 e quelle da noi eseguite il giorno 29 settembre 2011.

Rilievo 1996

Pr 1	33 cm	Fuori-Piombo
Pr 2	97 cm	Fuori-Piombo
Pr 3	55 cm	Fuori-Piombo
Pr 4	82 cm	Fuori-Piombo
Pr 5	162 cm	Fuori-Piombo
Altezza Edificio		27,50 m

La torre è, nel suo complesso, inclinata verso sud.

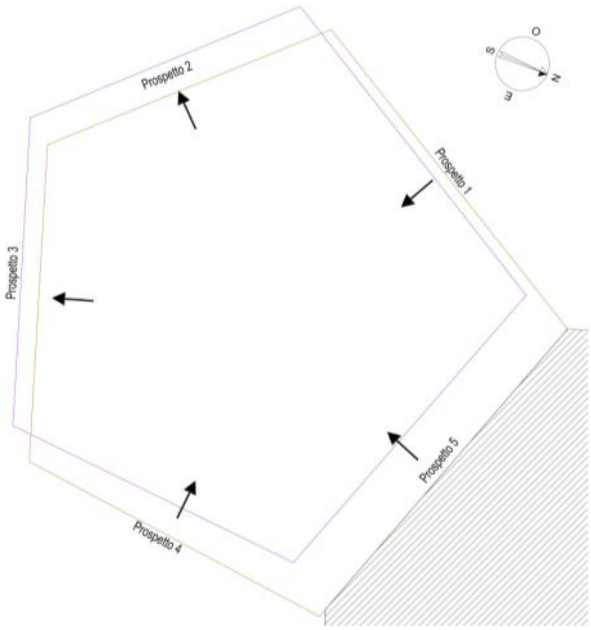


Figura 2.3 - Schema pianta Torre Gattoni-Tav. di rif.: R.30

Rilievo 2011

208-201	123 cm	Fuori-Piombo
210-203	94 cm	Fuori-Piombo
301-303	116 cm	Fuori-Piombo
Altezza Edificio		27,50 m

Il confronto è eseguito tra i punti direttamente rilevati, ovvero le parti d'angolo dell'edificio.

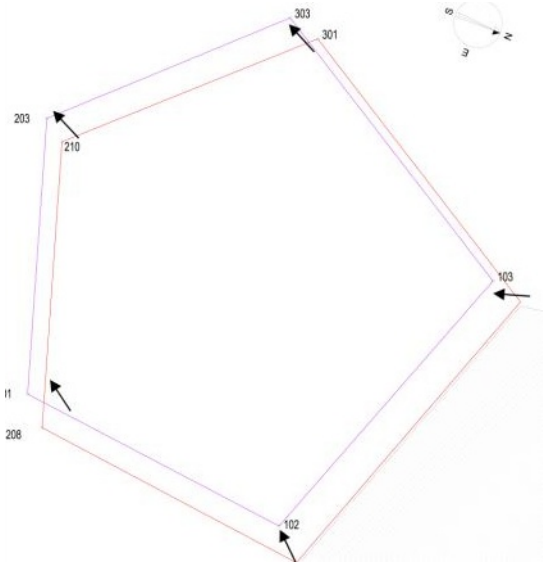


Figura 2.4 - Schema pianta Torre Gattoni-Tav. di rif.: R.31

La valutazione da noi eseguita si è basata sulla ripresa dei punti di spigolo dell'edificio in corrispondenza delle riseghe. In particolare per far sì che i valori d'inclinazione dei prospetti

non fossero influenzati dalle riseghe, si è scelto di rilevare un punto appena al di sopra e uno appena al di sotto delle riseghe stesse. In questo modo è stato possibile definire con esattezza l'inclinazione delle murature.

Inoltre per essere certi della validità delle considerazioni numeriche che precedono si sono elaborati gli errori di rilievo: tramite il software Pregeo si è valutato che l'errore planimetrico del rilievo è al massimo di 2 cm mentri quello altimetrico è di 2,5 cm. A fronte di quanto espresso si riportano i valori di fuori-piombo rilevati su tutti i prospetti confrontando il livello di sommità con quello a terra.

I valori numerici riportati rappresentano un confronto temporale tra il 1996 e il 2011.

Rilievo	1996	2011
Prospetto 1	33 cm	30 cm
Prospetto 2	97 cm	95 cm
Prospetto 3	55 cm	56 cm
Prospetto 4	82 cm	80 cm
Prospetto 5	162 cm	130 cm

Tutti i valori sono perfettamente confrontabili ad eccezione del prospetto 5. Tale differenza è da imputare a una differente scelta dei punti tramite i quali è stata eseguita la definizione del fuori-piombo. Il motivo è legato al fatto che al piano stradale la torre si innesta nelle mura difensive e non è univoca la scelta di dove finisce l'edificio e dove inizia la muratura.

2.4.3. Torre San Vitale

Torre San Vitale è caratterizzata, per quanto riguarda i prospetti 1-2-5 da inclinazione costante di circa 1,5%. I restanti fronti, quelli collocati in posizione opposta rispetto alle mura di cinta, sono invece quasi perfettamente verticali. Il motivo di tale verticalità è, con ogni probabilità, da ricercare in piccoli cedimenti del terreno che hanno fatto ruotare verso l'esterno i paramenti murari andando così ad annullare l'effetto della rastremazione.

Di seguito vengono proposti i valori numerici che caratterizzano le rastremazioni e i fuori-pimbo dell'edificio.

Pr 1	51 cm	Rastremazione
Pr 2	47 cm	Rastremazione
Pr 3	4 cm	Fuori-Piombo
Pr 4	6 cm	Fuori-Piombo
Pr 5	44 cm	Rastremazione
Altezza Edificio		32,70 m

La torre, nel suo complesso, non ha problematiche legate alla verticalità delle murature perimetrali.

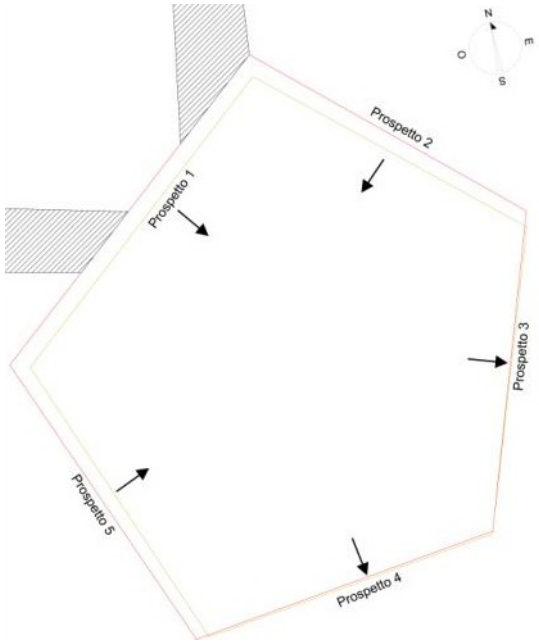


Fig. 2.5 - Schema pianta Torre S. Vitale-Tav. di rif.: R.33

2.4.4. Torre Pantera

Torre Pantera è caratterizzata da valori di fuori-piombo interni di difficile valutazione a causa dell'impossibilità di valutare la variazione di spessore del paramento murario.

Per quello che riguarda le facce esterne delle murature perimetrali, l'unica che presenta lievi valori di fuori-piombo è quella che affaccia su Piazza Verdi, mentre quella su Via Rodari è rastremata di 10 cm solo nella parte più alta. Tali misure sono state condotte tramite l'utilizzo del filo a piombo che è stato calato dalla sommità fino a terra.

Sud	5 cm	Fuori -piombo
Ovest	0 cm	Rastremazione
Nord	Addossato a edificio	
Est	Addossato a edificio	
Altezza. Edificio		19,05 m

I valori riportati sono frutto di misurazioni con filo a piombo.

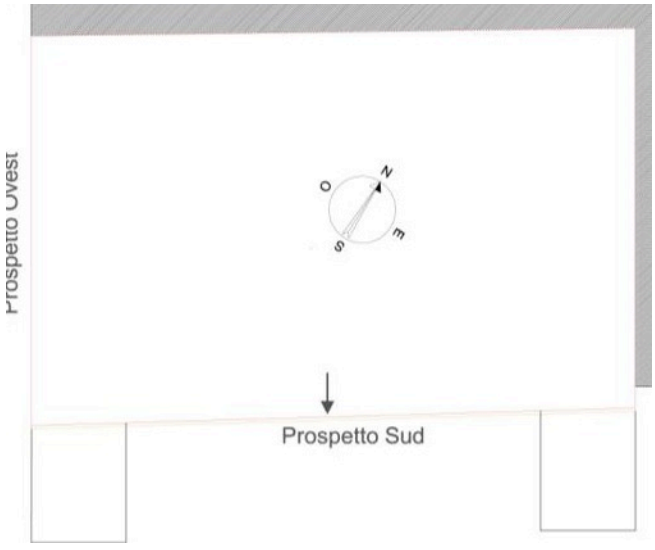


Figura 2.6 - Schema pianta torre Pantera-Tav. di rif.: R.23

2.5. Rilievo delle patologie di degrado

Occorre innanzitutto una breve premessa sulla metodologia di rilievo delle patologie di degrado, in quanto la precisione dei risultati ottenuti dipende in gran parte dai metodi che è stato possibile adottare in fase di rilievo.

La mappatura dei degradi ed il quadro fessurativo di torre Pantera sono infatti di gran lunga più precisi rispetto a quelli delle altre tre torri, in quanto è stato possibile avvicinarsi alla muratura a quasi tutti i livelli, grazie alla presenza di strutture provvisorie collocate sia all'esterno che all'interno della torre.

Per le altre tre torri è stato invece sfruttato soprattutto il rilievo fotogrammetrico, integrato con una mappatura fotografica di tutte le facciate, essendo stato impossibile avvicinarsi direttamente alla muratura per diversi motivi:

- Porta Torre è completamente vuota al suo interno, dunque non vi sono solai o livelli di altro tipo utilizzabili per il rilievo; è stato proposto al comune il noleggio di una piattaforma aerea che consentisse di stabilire con maggiore precisione la geometria dei prospetti e le condizioni di degrado, ma l'operazione non è stata consentita;
- Torre San Vitale ha degli accessi solo a quattro metri di altezza da terra e uno appena al di sopra del livello delle mura, e per questioni di sicurezza non è stato consentito entrarvi, di conseguenza è stata studiata solo esteriormente;
- Torre Gattoni è stata studiata esteriormente come le altre due, grazie al rilievo fotogrammetrico, mentre l'interno, presentando un solaio a livello delle mura, è stato rilevato più attentamente.

Ne consegue che, nel caso in cui si dovesse procedere ad interventi di pulitura, restauro e consolidamento delle torri Gattoni, San Vitale e Porta Torre, si dovrebbero confermare le mappature di degrado qui riportate attraverso uno studio più ravvicinato delle murature in esame.

Per la stesura delle mappature di degrado sono state seguite le indicazioni riportate dalla norma NORMA UNI 18882 del 2006, di cui si riportano le seguenti definizioni di alterazione/degrado:

ALTERAZIONE: Modificazione di un materiale che non implica necessariamente un peggioramento delle sue caratteristiche sotto il profilo conservativo.

DEGRADO: Modificazione di un materiale che comporta un peggioramento delle sue caratteristiche sotto il profilo conservativo.[4]

Le tavole di riferimento per le mappature dei degradi sono:

- Porta Torre: tav. da R.35 a R.44;
- Torre Gattoni: tav. da R 45 a R.56;
- Torre San Vitale: tav. da R.57 a R.62;
- Torre Pantera: tav. da R.63 a R.70.

2.5.1. Proprietà del materiale

I conci di pietra di cui sono costituite le Torri sono in arenaria, roccia caratterizzata da un colore grigio scuro, grana fine e buona compattezza, prelevata in massima parte nelle cave vicino alla cittadina di Moltrasio, da cui prende il nome. È costituita in gran parte da calcite e quarzo, che le conferisce le caratteristiche di resistenza. Appartiene alla formazione dei "Calcari selciferi lombardi"[5], affioranti su tutta la sponda occidentale del lago di Como. La scarsa qualità, soprattutto per la stratificazione irregolare e la forte alterazione cromatica, ne limitò durante la storia l'impiego all'area comasca. La pietra fu principalmete utilizzata per realizzare conci per le muratura e lastre per i tetti. A Como ne sono testimonianza, ad esempio, le chiese di S. Fedele e Sant'Abondio, oltre che numerosi altri edifici civili. Come meglio evidenziato nel proseguo del capitolo la pietra è facilmente esposta ad alterazioni superficiali quali la scagliatura e possibilità di solfatazione con formazione di croste.

Elemento	Caratteristiche meccaniche			Caratteristiche fisiche	
	Tensione di rottura a compressione f_{bck} [N/mm^2]	Tensione di rottura a trazione f_{btk} [N/mm^2]	Modulo elastico E [N/mm^2]	Peso specifico γ [kN/m3]	Coefficiente imbibizione [% del volume]
Arenaria	10-50	2	30000 40000	18,0 - 27,0	1,5-7
Acciaio	360	360	210000	78,5	-

Nella tabella precedente si riportano le caratteristiche meccaniche della pietra arenaria di Moltrasio. Con il solo scopo di rendere il dato di migliore interpretazione si forniscono le medesime informazioni dell'acciaio S235.

[4] UNI 18882/2006 – *Materiali lapidei naturali ed artificiali: descrizione della forma di alterazione*
[5] www.taroni.net – Novembre 2011

Figura 2.7 – Vista del prospetto est interno di Torre Pantera, in evidenza i conci murari in pietra arenaria

Figura 2.8 – Particolare delle pietre in arenaria di Moltrasio

2.5.2. Le cause del degrado degli elementi lapidei

Le torri in esame sono costituite da una muratura con blocchi in arenaria.

Le arenarie sono rocce sedimentarie detritiche formate in seguito a processi diagenetici quali il costipamento e la cementazione, e sono costituite principalmente da minerali silicati. La loro porosità più elevata rispetto a quella, per esempio, dei graniti, le rende più facilmente penetrabili e quindi sensibili all'azione dell'acqua, dei sali solubili e dei vari inquinanti atmosferici.

Le azioni che concorrono al degrado dei materiali lapidei si suddividono in: azioni chimiche (dissoluzione dei sali solubili, ossidazione, idrolisi dei silicati), azioni biologiche (muschi, licheni, piante superiori), azioni fisico-meccaniche (di natura termica, idrica o chimica).

I processi chimico-biologici portano a reazioni del tipo: solubilizzazioni, cristallizzazioni, reazioni redox, modificazioni fotochimiche, catalisi inorganiche e biologiche.

I processi fisico-meccanici portano a reazioni del tipo: tensioni, cambiamenti di stato, variazioni di volume, fratture, deformazioni, disgregazioni, variazioni di porosità.

L'intensità e la rapidità dell'alterazione degli elementi lapidei dipende dalla combinazione di fattori esterni, ossia dall'insieme degli agenti esogeni rappresentati dal complesso climatico, e dai fattori interni rappresentati dalla resistenza della roccia.

L'alterazione dei materiali lapidei è da considerare in ogni caso un fenomeno naturale irreversibile: il problema da porsi è allora la determinazione della velocità con cui il degrado avanza e quali sono le cause di questa accelerazione.

Inoltre, ai fenomeni di alterazione che riguardano direttamente la pietra se ne aggiungono altri, quali la sconnessione e la discontinuità della malta dei giunti, che possono influenzare

notevolmente sia la tenuta dei materiali lapidei che la quantità di umidità della stessa muratura.

2.5.2.1. Le azioni fisico-meccaniche

Le variazioni di temperatura provocano negli elementi lapidei delle *dilatazioni* e contrazioni che possono provocare fessurazioni superficiali soprattutto nei materiali compatti, piuttosto che in quelli porosi.

L'acqua penetra all'interno degli elementi lapidei, in base al loro grado di porosità, e negli interstizi fra i vari elementi, e *gelando* provoca delle pressioni interne che disgregano il materiale.

L'*umidità* avvia invece il processo di soluzione dei sali e il trasporto degli stessi all'interno della massa, di conseguenza favorisce la loro cristallizzazione in superficie, generando tensioni capaci di disgregare il materiale, e crea porosità e cavernosità che indeboliscono la massa del materiale. Inoltre aumenta la conducibilità termica del materiale e favorisce la formazioni di microrganismi, a loro volta in grado di deteriorare il materiale.

Il *vento*, incrementando l'evaporazione superficiale, accelera i fenomeni di trasporto salino sopra descritti (efflorescenze). Inoltre trasporta le polveri organiche e inorganiche sospese nell'atmosfera, come i residui della combustione, che tendono a depositarsi sulle superfici, in modo diseguale secondo le specifiche geometrie, ed a venire dilavate dalla pioggia con effetti di striature e colaticci.

2.5.2.2. Le azioni chimiche

Si tratta di aggressioni chimiche di tipo acido, in grado di disgregare il reticolo cristallino. I fattori principali di questo processo disgregativo sono le concentrazioni più o meno elevate di anidride carbonica e di anidride solforosa presenti nell'ambiente in cui si colloca il manufatto, che in presenza di umidità danno luogo a soluzioni acide che si depositano o condensano sulle superfici murarie. Le concentrazioni più elevate si hanno ovviamente nelle aree urbane e industriali per effetto dei fumi e della combustione di sostanze contenenti zolfo: in queste aree si sviluppano i processi più gravi di degrado, che sono più rilevanti nei punti dell'edificio maggiormente esposti all'azione delle piogge.

2.5.2.3. Le azioni biologiche

Gli agenti biologici possono provocare diversi tipi di degrado, a livello macroscopico e microscopico.

Al primo livello si collocano le azioni distruttive prodotte dalle radici di piante ad alto fusto ed erbe che, incuneando le loro radici nelle fessure delle pietre, tendono a disgregarle direttamente ed a favorire la penetrazione dell'acqua. Anche gli escrementi di uccelli ed altri animali producono degli attacchi acidi non indifferenti.

A livello microscopico si hanno invece attacchi di batteri, muschi, licheni e alghe. Gli ultimi tre agiscono disgregando il materiale in superficie e provocando un aumento della porosità e quindi una maggiore vulnerabilità a tutti gli altri attacchi ambientali.

2.5.3. Patologie di degrado riscontrate e possibili procedure d'intervento

Le patologie di degrado riscontrate sulle quattro torri in esame hanno origini ed estensioni differenti.

Le azioni fisiche hanno portato a fessurazioni e fratture, quindi a mancanze e disgregazioni quali le scagliature; le azioni biologiche hanno creato patine varie e la crescita di piante infestanti; le azioni chimiche hanno permesso la diffusione di efflorescenze, patine scure e macchie di ruggine. Infine anche l'uomo ha contribuito con graffiti e scritte di vario genere a livello terra di alcune torri, determinando un'alterazione cromatica sugli elementi lapidei.

L'elencazione delle patologie di degrado che segue è in ordine alfabetico, come quello delle Normal Uni 1/88, e non si basa quindi su criteri di classificazione o collegamento dei fenomeni descritti.

Per quanto riguarda le operazioni da svolgere a seguito dell'individuazione delle patologie di degrado, possono essere le seguenti:

- Il preconsolidamento ed il consolidamento sono necessari solo quando il materiale lapideo presenta uno stato avanzato di degrado, ovvero in presenza di polverizzazioni, esfoliazioni e scagliature. Vengono quindi suggeriti come trattamento solo per le scagliature, le mancanze e le fessurazioni.
- La pulitura è invece un'operazione manuale o meccanica, effettuata con acqua o prodotti chimici, che oggi si avvale anche di sofisticate tecnologie quali il laser e ultrasuoni, e che è utilizzata nel caso di patine, incrostazioni e macchie di varia dimensione e origine.

A lungo si è protratta una discussione fra gli esperti sulla necessità-legittimità o meno della pulitura dei monumenti storici.

L'importanza che riveste il sottile strato di materia delle superfici dei materiali lapidei è legata alla molteplicità di significati e problematiche che essa rappresenta: essa costituisce l'abito di rappresentanza degli edifici, porta con sé il messaggio degli artisti che li hanno creati e funge da veste di protezione dalle intemperie.

E' inoltre doveroso salvaguardare la biodiversità e la patina del tempo, che rappresenta quasi una naturale evoluzione della pietra.

Tuttavia si raggiunge un momento in cui la patina che ricopre qualsiasi superficie esposta alle intemperie non rappresenta più un'accentuazione delle qualità estetiche del monumento, ma anzi provoca una distorsione e un peggioramento del suo aspetto formale.

Non bisogna infatti fare confusione fra quella che si definisce la patina nobile della pietra, che rappresenta il segno del trascorrere del tempo, connotata dal mutamento del colore e da una attenuazione dei contrasti, e i massicci depositi di polvere e sporco che costituiscono unicamente un fattore di deturpazione e degrado. Mentre infatti la patina rappresenta una buona protezione per la pietra, lo strato di croste nere formato da inquinanti di ogni genere che ricopre la maggior parte dei monumenti contribuisce ad accelerare i fenomeni di degrado della pietra.

La pulitura è quindi assolutamente necessaria: restano da discutere i mezzi da impiegare.

In accordo alle norme[6] lo scopo della pulitura dal punto di vista della conservazione, è la rimozione di tutto ciò che è dannoso per il materiale lapideo: sali solubili, incrostazioni scarsamente solubili o insolubili, stratificazioni di materiali vari applicati intenzionalmente e non idonei o non più funzionali, vegetazione infestante, deiezioni animali e a questo deve limitarsi, rispettando policromie, patine naturali, e lo strato più superficiale del materiale lapideo, che lo protegge dalle intemperie.

Fino agli anni '70, e in alcuni casi ancora oggi, sono state utilizzate delle tecniche assolutamente sconsigliabili in qualsiasi condizione versi il monumento: lavaggi acidi che provocano corrosione superficiale e macchie di ruggine, lisciviazioni con acqua calda e cenere che eliminano le policromie, sabbiature che portano a profonde

[6] NORMAL 1 88 - *Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei*; UNI 18882/2006 – *Materiali lapidei naturali ed artificiali: descrizione della forma di alterazione*

abrasioni, smerigliature con frullini, spazzole meccaniche ed altri mezzi meccanici, impiego di prodotti chimici di composizione ignota. Oggi queste tecniche sono fortemente sconsigliate dalla letteratura di settore, anche perché lo sviluppo tecnologico ne ha messe a disposizione altre più evolute ed efficaci.

I requisiti necessari per un corretto metodo di pulitura sono dunque:

- efficacia nella rimozione di tutte le sostanze dannose; dipende anche dalla selettività e controllabilità del metodo, e dalle capacità tecniche dell'operatore;
- sicurezza e assenza di pericolo per operatore e ambiente;
- possibilità di ottenere una superficie pulita, omogenea e regolare;
- conservazione di patine naturali e policromie;

La determinazione del metodo più idoneo di pulitura deve essere definita, a seguito di prove e campionature in situ, con criteri di selettività nell'asportazione dello sporco, iniziando con il metodo più efficace e più blando applicato sull'intera superficie per proseguire poi con metodi man mano più energici e mirati limitatamente alle parti dove lo sporco è più tenace.

- L'incollaggio e la stuccatura non sono utili ai nostri fini, mentre la protezione è un intervento che si suggerisce di effettuare sulla superficie preventivamente consolidata e pulita, con lo scopo di rallentare i processi responsabili del deterioramento. Si tratta di ricoprire la superficie del manufatto con un sottile strato di un'opportuna sostanza idrorepellente, in genere resine siliconiche, che funga da "superficie di sacrificio" a protezione del materiale sottostante. Questi trattamenti devono essere fatti solo su superfici asciutte e devono permettere la traspirazione della pietra, per non provocare distacchi superficiale ed esfoliazioni. Hanno una durata limitata, di tre/sei anni, quindi devono essere previsti dei trattamenti manutentivi ravvicinati.

2.5.3.1. Deposito superficiale/Crosta[7]

"DEPOSITO SUPERFICIALE: Accumulo di materiali estranei di varia natura, quali polvere, terriccio, guano, ecc. Ha spessore variabile, generalmente scarsa coerenza e scarsa aderenza al materiale sottostante.

CROSTA: Modificazione dello strato superficiale del materiale lapideo. Di spessore variabile, generalmente dura, la crosta è distinguibile dalle parti sottostanti per le caratteristiche

[7] Rif. Scheda I, Allegato 1

morfologiche e spesso per il colore. Può staccarsi anche spontaneamente dal substrato che, in genere, si presenta disgregato e/o polverulento."[8]

Si tratta di depositi di sporco e materiale di natura differente, di colorazione scura, distribuiti in strati più o meno spessi (dal deposito si passa spesso alla crosta vera e propria), composti da agglomerati solidi e da particelle semisolide. La natura di queste croste dipende molto dall'ambiente in cui il manufatto si trova, ossia se esso è di tipo industriale, urbano, rurale, marino. Nel nostro caso le cause del fenomeno possono essere ricondotte a sostanze inquinanti sia naturali: piogge acide, particolato atmosferico, attacchi biologici; che antropiche: traffico veicolare che produce polveri provenienti dall'usura del manto stradale e di pneumatici, piombo tetraetile, idrocarburi incombusti, ossidi di C/N/S. Il fenomeno è presente in maniera estesa su quasi tutti i prospetti esterni ed interni di Porta Torre, Torre Gattoni e Torre San Vitale, in particolare al di sotto delle aperture o di elementi sporgenti. E' infatti legato ai fenomeni di ruscellamento e percolamento. E' uno dei degradi che interessa la maggior quantità di superficie muraria, ed è anche uno dei più visibili: la distorsione dell'aspetto formale del monumento è evidente.

Figura 2.9 – Esempio di patina scura sulla facciata interna est di Porta Torre – rilievo 18-10-11

Dopo il rilievo fotogrammetrico si deve procedere all'esecuzione di tutta una serie di indagini tecnico-scientifiche, come il prelevamento di campioni, analisi mineralogiche-petrografiche, analisi chimiche, analisi biologiche, che permettano di stabilire la natura petrografica del materiale di base, di determinare la composizione mineralogica e chimica dello stesso materiale e dei depositi/croste che lo ricoprono, di identificare gli organismi biologici infestanti. Solo dopo essere venuti a conoscenza di tutte queste specificità del materiale e del degrado si può procedere a scegliere una tecnica di pulitura adeguata.

Le possibili procedure d'intervento sono infatti tante e vanno scelte in base alla resistenza del supporto, alla superficie interessata e alla consistenza del deposito/crosta: nel nostro caso possiamo contare su di un supporto lapideo mediamente resistente, tuttavia la pulitura è necessaria per una superficie alquanto estesa e il deposito sembra spesso trasformarsi in una

[8] UNI 18882/2006 – *Materiali lapidei naturali ed artificiali: descrizione della forma di alterazione*

crosta piuttosto spessa. Di conseguenza vanno scartate tutte quelle tecniche di precisione o comunque troppo blande e che richiedono troppo tempo di applicazione: la pulitura meccanica, molto lenta perché su edifici di interesse storico-artistico non è consentito l'impiego di potenti frese o di spazzole metalliche applicate su trapani; l'impiego di acqua atomizzata o l'impiego di apparecchi ad ultrasuoni o aeroabrasivi, tecniche molto lente e precise, adatte a superfici particolarmente delicate. Una tecnica vantaggiosa, in quanto abbastanza veloce e controllabile, è la pulitura chimica: consiste nell'applicazione di un impasto sulla superficie degradata e nel successivo lavaggio della stessa con acqua a bassa pressione. E' un po' più costosa rispetto ad altre tecniche, perché richiede l'impiego di prodotti chimici il cui prezzo è in continuo aumento sul mercato, tuttavia l'economicità non è certo il primo criterio da seguire quando si tratta di pulire un edificio di interesse storico-artistico. Inoltre non abbisogna di personale qualificato e l'applicazione a pennello o a spatola è molto facile e veloce, in un'ora si possono trattare una decina di mq, e ciò fa si che i costi di manodopera siano abbastanza contenuti. Attualmente è possibile trovare in commercio delle paste già pronte per l'uso, ed esistono ditte specializzate nella loro applicazione. Il metodo è stato poi reso più efficace e raffinato da una formulazione messa a punto da tecnici dell'Istituto Centrale del Restauro di Roma: all'ETDA e al bicarbonato sono stati addizionati un altro sale leggermente basico (bicarbonato di ammonio) e un tensioattivo-funghicida. Il tutto viene sciolto in acqua e mantenuto in sospensione da un agente tixotropico. La ricetta consigliata è la seguente: acqua (cc. 1000), bicarbonato d'ammonio (gr. 30), bicarbonato di sodio (gr. 50), EDTA-sale bisodico (gr. 25), Desogen (cc. 10), Carbossimetilcellulosa (gr. 60). Ha un ph intorno a 7,5, è importante che non superi il valore di 8 per evitare una corrosione dei calcari e la formazione di sottoprodotti dannosi. Successivamente è necessario eliminare il più completamente possibile i residui della pasta, con un lavaggio a bassa pressione ripetuto più volte e accompagnato da una blanda azione meccanica di spazzolatura. Si può anche ricorrere ad un espediente: stendere la pasta pulente su compresse di carta o cotone idrofilo e dopo che essa ha agito, soffiare con aria compressa sotto la carta per provocare il facile distacco dell'impacco.

Figura 2.10 – Esempio di pulitura chimica delle patine scure – www.fermi.mo.it Novembre 20011

2.5.3.2. Efflorescenza[9]

"Formazione superficiale di aspetto cristallino o polverulento o filamentoso, generalmente di colore biancastro."[10]

L'efflorescenza è un degrado che può essere più o meno profondo e che è provocato dalla cristallizzazione dei sali sulla superficie del materiale. Si presenta quindi come una patina filamentosa di colore biancastro. L'umidità è la principale causa di questa patologia, in quanto avvia il processo di soluzione dei sali ed il trasporto degli stessi all'interno della massa, di conseguenza favorisce la loro cristallizzazione in superficie. Tuttavia anche il vento, incrementando l'evaporazione superficiale, accelera i fenomeni di trasporto salino sopra descritti. Il fenomeno è stato individuato sul prospetto esterno est e interno nord di Porta Torre, su quasi tutti i prospetti esterni di Torre Gattoni (eccetto quello nord) e su quello interno nord, e su tutti i prospetti esterni di San Vitale (eccetto ovest). Ha un'estensione superficiale abbastanza limitata e localizzata, tuttavia può penetrare nel materiale in profondità, creando tensionamenti meccanici e di conseguenza disaggregazioni.

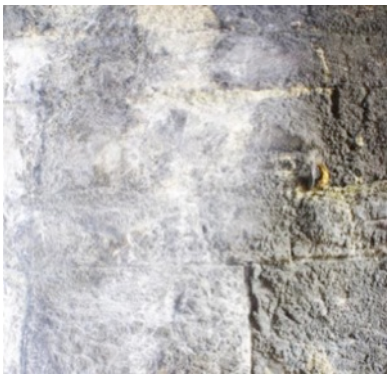


Figura 2.11 – Esempio di efflorescenza sulla facciata esterna ovest di Porta Torre – rilievo 05-10-11

Per rimuovere le efflorescenze superficiali si interviene prima con una pulitura a secco, mediante spazzoline morbide; successivamente è necessario applicare un impacco assorbente a base di acqua distillata e adatto ispessente (polpa di carta, sepiolite, attapulgite) su strato separatore in carta giapponese. L'impacco dovrà essere lasciato in loco per un periodo di tempo stabilito, generalmente 24 ore, ma facendo attenzione che la variabilità dei parametri climatici non alteri significativamente il tenore di umidità dell'impacco stesso. Prima di effettuare qualsiasi trattamento è però indispensabile verificare se la presenza delle efflorescenze non sia dovuta a fenomeni di umidità persistente per infiltrazioni d'acqua nelle murature. In questi casi è

Figura 2.12 – Esempio di estrazione dei sali dalla muratura tramite impacco assorbente – www.edilportale.com Novembre 2011

[9] Rif. Scheda II, Allegato 1
[10] UNI 18882/2006 – *Materiali lapidei naturali ed artificiali: descrizione della forma di alterazione*

necessario eseguire in precedenza tuttigli interventi necessari per evitare che ulteriori infiltrazioni rendano inutile l'operazione.

2.5.3.3. Presenza di ferri ossidati[11]

La presenza di ferri, di dimensioni variabili, ancorati alla muratura, è una causa di degrado più che una patologia vera e propria; tuttavia nel momento in cui viene individuata è utile riportarne una mappatura in modo da poter procedere con degli interventi di parziale o totale eliminazione.

Figura 2.13 – Esempio di elementi in ferro ossidati sulla facciata esterna sud-ovest di Torre Gattoni – rilievo 05-10-11

Gli elementi in ferro infatti a contatto con l'atmosfera umida si corrodono e si ossidano provocando gravi danni alla pietra: creano delle tensioni meccaniche in seguito all'aumento del volume e fanno apparire delle vistose macchie di ruggine di difficile rimozione. Il ferro non protetto infatti si corrode rapidamente con formazione di ossido di ferro idrato di colorazione bruna, il quale a sua volta si ossida ulteriormente trasformandosi in ruggine. La presenza di questi ferri è legata ad esigenze del passato di ancoraggio di certe strutture o di cavi, e sono infatti omogeneamente diffusi su quasi tutti i prospetti esterni ed interni delle quattro torri.

L'intervento consigliato per prevenire i degradi che possono derivare dalla presenza degli elementi in ferro ossidati, è la loro parziale o totale rimozione, in base alla profondità del loro ancoraggio, o comunque l'eliminazione di qualsiasi loro parte sporgente dalla muratura. In seguito sarà necessario stuccare il foro o ricoprire le parti in ferro non estraibili con della malta, in modo da prevenire almeno la creazione di macchie di ruggine sulla pietra sottostante.

[11] Rif. Scheda III, Allegato 1

2.5.3.4. Fessurazioni[12]

"Soluzione di continuità nel materiale che implica lo spostamento reciproco delle parti."[13]

Processi di alterazione comuni ai vari tipi di rocce sono il termoclastismo e il crioclastismo, ossia la rottura dei materiali lapidei ad opera delle escursioni termiche e dei cicli gelivi. Le fessurazioni e le fratture sono infatti essenzialmente dovute ad effetti meccanici, a cicli di gelo-disgelo, ad alternanza di umidità ed essiccamento, a pressioni di cristallizzazione e di idratazione. Le fessure sono diffuse su tutti i prospetti, esterni ed interni, di tutte e quattro le torri, anche se Porta Torre presenta un quadro fessurativo sicuramente meno preoccupante delle altre tre. Hanno lunghezze e spessori variabili, anche se le misure degli spessori sono state prese solo al livello terra di tutte le torri e su Torre Pantera in toto, per i motivi già spiegati all'inizio del capitolo. Le fessure si collocano spesso nella fascia alta di coronamento, lungo gli spigoli e nei pressi delle aperture. Sono particolarmente diffuse nei giunti fra gli elementi lapidei, e arrivano a creare delle porzioni di muratura addirittura pericolanti; molte però sono negli elementi lapidei stessi. Le conseguenze statiche che questa particolare patologia di degrado ha sui singoli edifici verranno studiate nel paragrafo successivo, dove si analizza il quadro fessurativo.

Figura 2.14 – Esempio di fessurazione sulla facciata esterna ovest di Torre Pantera – rilievo 11-12-10

Figura 2.15 – Esempio di stilatura dei giunti – www.umertoalesi.it Novembre 20011

Gli interventi suggeriti per questo tipo di degrado sono innanzitutto la stilatura dei giunti di malta, da operarsi su ampie porzioni delle murature. In secondo luogo, nelle porzioni di muratura particolarmente instabili e pericolanti, sarà opportuno procedere con un

[12] Rif. Scheda IV, Allegato 1
[13] UNI 18882/2006 – *Materiali lapidei naturali ed artificiali: descrizione della forma di alterazione*

consolidamento vero e proprio della muratura tramite iniezioni o tecniche alternative come, per esempio, quella del Reticulatus: inserimento nei giunti di malta di una maglia continua costituita da sottili trefoli in acciaio i cui nodi sono fissati mediante barre metalliche trasversali al paramento murario. Infine è da valutare la possibilità di consolidare i singoli elementi lapidei fratturati, attraverso impregnazione con una sostanza consolidante, organica o inorganica, applicata tramite un impacco con strati di materiale assorbente.

2.5.3.5. Fronte di risalita[14]

"Limite di migrazione dell'acqua che si manifesta con la formazione di efflorescenze e/0 perdita di materiale. E' generalmente accompagnato da variazioni della saturazione del colore nella zona sottostante."[15]

Figura 2.16 – Esempio di presenza di umidità nella facciata esterna sud di Torre Pantera – rilievo 11-12-10

E' necessario agire sulle parti di muratura che sono particolarmente umide per scongiurare la formazione di altre patologie di degrado ad essa connesse: come già detto l'umidità avvia il processo di soluzione dei sali e il trasporto degli stessi all'interno della massa, di conseguenza favorisce la loro cristallizzazione in superficie, generando delle efflorescenze; inoltre crea tensioni capaci di disgregare il materiale, genera porosità e cavernosità che indeboliscono la massa dell'elemento lapideo, aumenta la conducibilità termica del materiale, e favorisce la formazioni di microrganismi, a loro volta in grado di deteriorare la pietra.

Le cause della presenza di umidità sono essenzialmente le infiltrazioni d'acqua provenienti dalla copertura, o attraverso le fessurazioni, o, nel caso di Torre Gattoni, dal terrapieno delle mura adiacenti. Le infiltrazioni d'acqua sono favorite anche dalla presenza di vegetazione, che trattiene l'acqua piovana e la trasmette alla muratura: basti pensare che ci sono piante in grado di trattenere una quantità d'acqua pari a 8 volte il loro peso.

Il fenomeno è presente su quasi tutti i prospetti interni della Torre Gattoni, su di un prospetto esterno ed uno interno di Porta Torre (est), e su gran parte dei prospetti esterni ed interni di

[14] Rif. Scheda V, Allegato 1

[15] UNI 18882/2006 – *Materiali lapidei naturali ed artificiali: descrizione della forma di alterazione*

Torre Pantera. Lo si individua in particolare sotto le aperture e nelle murature controterra, com'è il caso del piano terra di torre Gattoni. Le infiltrazioni d'acqua si fanno strada prima attraverso i giunti fra gli elementi, poi nei laterizi, e infine negli elementi lapidei.

Le procedure d'intervento possibili sono legate alle cause della presenza di umidità, quindi alle fessure, alla vegetazione e alla tenuta della copertura. E' infatti consigliabile procedere alla stilatura dei giunti, alla chiusura delle fessure, all'estirpazione delle piante infestanti e alla creazione di un migliore strato di tenuta in copertura: tutti interventi che vengono affrontanti singolarmente in altri paragrafi. Per il caso particolare di Torre Gattoni si può pensare ad un drenaggio nel terrapieno delle mura adiacente alla torre: lo scavo dovrebbe essere esteso in profondità fino a livello del piano di fondazione e poco distante dal muro perimetrale della torre stessa. La distanza dello scavo di drenaggio dal muro perimetrale dev'essere definita in maniera tale che lo strato di terreno compreso fra detto scavo e il muro da risanare non frani, per cui tale distanza dovrà essere tanto maggiore quanto meno compatto e costipato è il terreno. Alla base dello scavo verrà posto un tubo drenante che raccoglierà l'acqua intercettata dal drenaggio e la convoglierà ad uno scarico controllato, pozzo perdente o fognatura. Se poco al di sotto del piano di fondazione vi fosse uno strato di terreno molto assorbente ,per esempio un banco di ghiaia, si potrà anche evitare la posa del tubo drenante: prolungando infatti lo scavo di drenaggio fino a raggiungere questo strato si avrà un drenaggio naturale molto efficace. Unico punto critico rimane l'acqua piovana o accidentale che può

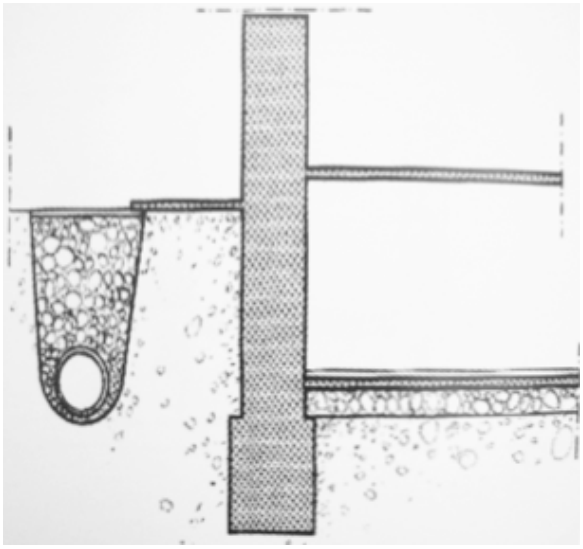


Figura 2.17 – Esempio di sistema di drenaggio (P. Gasparoli, *Le superfici esterne degli edifici*, Alinea editrice, Firenze, 2002

inibire la porzione di terreno compreso fra lo scavo ed il muro perimetrale: per impedire questa evenienza occorre creare un cordolo perimetrale lungo tutto il perimetro dell'edificio, dotato di un'adeguata pendenza, che copra lo spazio compreso fra il muro perimetrale dell'edificio e lo scavo drenante.

2.5.3.6. Graffiti vandalici[16]

"Apposizione indesiderata sulla superficie di vernici colorate."[17]

Il fenomeno dei graffiti, problema tipico dei nostri tempi, è stato riscontrato solo su Porta Torre, sui prospetti esterni nord ed est ed interno sud, e su Torre Gattoni, sui prospetti esterni sud-ovest ed est. La sua collocazione è legata alla posizione in cui si trovano le due torri, circondate, se non addirittura attraversate, come nel caso di Porta Torre, da un passaggio pedonale continuo. Si tratta di un degrado isolato e limitato nella sua estensione, che non influenza i parametri strutturali dell'elemento lapideo, ma solo quelli visivi: altera cioè l'aspetto originale dell'edificio, impendendone una corretta lettura.

Disegni, iscrizioni e vandalismi vari realizzati con vernici e pitture sintetiche non sono sempre facilmente eliminabili, soprattutto quando si tratta di pietre porose come le arenarie. Generalmente per la loro rimozione si ricorre a idrocarburi clorurati, come il cloruro di metilene, mischiati con: alcol emetilico che ne amplifica l'azione, un attivatore che facilita la penetrazione del solvente nello strato di pittura, una cera per ridurre la volatilizzazione del solvente, una sostanza disperdente per avere una buona ripartizione della cera nella soluzione, un tensioattivo per aumentare la bagnabilità dello strato di pittura, un agente addensante. Ci sono altri prodotti a base acquosa che presentano il doppio vantaggio di non contenere solventi nocivi, quindi di non richiedere protezioni da parte dell'operatore, e di essere biodegradabili. Un'altra alternativa è la pulitura con apparecchi aeroabrasivi: si tratta di una microsabbiatura di precisione che viene effettuata con strumenti appositi funzionanti ad aria o azoto compresso.

Figura 2.18 – Esempio di graffito sulla facciata esterna est di Torre Gattoni – rilievo 05-10-11

Figura 2.19 – Esempio di pulitura chimica dei graffiti - www.ecoservicepesaro.com Novembre 2011

[16] Rif. Scheda VI, Allegato 1

[17] UNI 18882/2006 – *Materiali lapidei naturali ed artificiali: descrizione della forma di alterazione*

2.5.3.7. Macchie di ruggine[18]

"Variazione cromatica localizzata della superficie, correlata sia alla presenza di determinati componenti naturali del materiale (concentrazione di pirite nei marmi) sia alla presenza di materiali estranei (acqua, prodotti di ossidazione di materiali metallici, sostanze organiche, vernici, microrganismi per esempio)"[19]

Le macchie di ruggine sono uno dei degradi provocati dalla presenza di elementi in ferro ossidati ancorati alla muratura, infatti si collocano quasi sempre al di sotto di essi e si formano per effetto del percolamento. Gli ossidi di ferro possono tuttavia essere inclusi anche nelle pietre stesse (pirite, ematite, magnetite), e in questo caso è molto difficile eliminare la causa del degrado. Questi ossidi a contatto con l'ossigeno si ossidano in solfato, il quale a sua volta, in presenza di acqua, si trasforma in carbonato di ferro. Il carbonato di ferro si trasforma poi facilmente in ossido di ferro idrato, solubile in acqua e in grado di conferire alla pietra il classico colore rugginoso. Le macchie sono presenti in maniera isolata su tutti i prospetti esterni di Porta Torre, sul prospetto esterno ovest ed interno e di Torre Gattoni, sui prospetti esterni nord e sud-est della Torre San Vitale, e sul prospetto esterno sud della torre Pantera.

Figura 2.20 – Esempio di macchia di ruggine sulla facciata esterna sud di Torre Pantera – rilievo 11-12-10

L'eliminazione delle macchie di ruggine è un'operazione particolarmente difficile che spesso non dà risultati soddisfacenti. Le puliture consigliate dalla letteratura sono:

- soluzioni acide a base di fosfato di ammonio;
- soluzione satura di bi fluoruro di ammonio;
- EDTA in soluzione ammoniacale.

[18] Rif. Scheda VII, Allegato 1

[19] UNI 18882/2006 – *Materiali lapidei naturali ed artificiali: descrizione della forma di alterazione*

2.5.3.8. Mancanza[20]

"Perdita di elementi tridimensionali (braccio di una statua, ansa di un'anfora, brano di una decorazione a rilievo, ecc…)"[21]

Questa patologia di degrado si riferisce a parti dell'elemento lapideo che dopo essersi fratturate, e quindi staccate completamente dalla parte restante, sono cadute per effetto delle raffiche di vento e hanno lasciato una "mancanza". Le mancanze sono quindi conseguenti alla presenza di fessurazioni e fratture, che come già detto hanno origine dalle dilatazioni termiche, dall'umidità, e da altri fenomeni. Il fenomeno è ampiamente diffuso sui prospetti esterni ed interni di Porta Torre, è individuabile in minor quantità su tutti i prospetti di Torre Gattoni e San Vitale, ed è quasi assente su Torre Pantera. Dalla mappatura del degrado è possibile vedere come si collochi maggiormente nelle parti alte di coronamento, dissestate dalla mancanza dei giunti e dalle fessurazioni, e appunto vicino alle fessurazioni stesse, che ne sono la causa principale.

Per le "mancanze" si suggerisce una cauta rimozione di eventuali porzioni instabili e decoese non più riparabili e non ancora cadute; successivamente una pulitura a secco con pennelli e/o spazzole a setole morbide, spugne e aspiratori a bassa pressione, al fine di rimuovere depositi polverulenti. Infine è da valutare la possibilità di consolidare i singoli elementi lapidei fratturati, attraverso impregnazione con una sostanza consolidante, organica o inorganica, applicata tramite un impacco con strati di materiale assorbente.

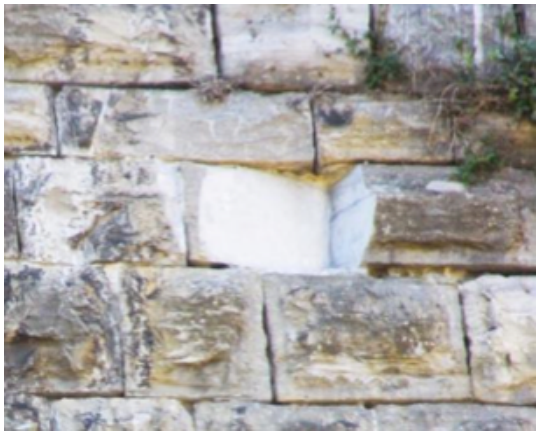


Figura 2.21 – Esempio di mancanza sul prospetto esterno ovest di Torre San Vitale – rilievo 05-10-11

[20] Rif. Scheda VIII, Allegato 1
[21] UNI 18882/2006 – *Materiali lapidei naturali ed artificiali: descrizione della forma di alterazione*

2.5.3.9. Patina biologica[22]

"Strato sottile ed omogeneo, costituito prevalentemente da microrganismi, variabile per consistenza, colore e adesione al substrato"[23]

Il termine biodeterioramento indica una serie di azioni di tipo chimico, fisico e meccanico, prodotte o mediate da organismi viventi, che portano ad alterazioni del substrato su cui si verificano e alla creazione di patine di colori e spessori differenti. Quello delle pietre è legato agli effetti di biodeteriogeni autotrofi quali batteri chemiosintetici, cianobatteri e alghe verdi, licheni e muschi, e a quello di biodeteriogeni eterotrofi come funghi, eumiceti e attinomiceti.

Il tipo di alterazione prodotto dai batteri sulle pietre è molto simile a quello dovuto agli inquinanti atmosferici, per cui spesso riesce difficile definire in quali percentuali i due effetti siano responsabili di un certo fenomeno.

I licheni producono sostanze acide che reagendo con i materiali lapidei creano degli ossalati, i quali formano a volte estese pellicole sulla superficie delle pietre. Gli ossalati sono stati attribuiti ad attività metaboliche dei licheni presenti nel passato e scomparsi nel tempo in seguito all'urbanizzazione e alla diffusione dell'inquinamento atmosferico. A questa prima ipotesi se ne oppone un'altra che ricollega la presenza di ossalati a prodotti di finitura utilizzati in passato per la lucidatura delle pietre decorative. La veridicità dell'ipotesi biologica o di quella antropica ha una grande importanza ai fini della conservazione dei monumenti, in quanto mentre nel primo caso gli ossalati andrebbero accuratamente eliminati, nel secondo caso dovrebbero essere conservati a testimonianza del passato. Comunque, finché resta il dubbio, è preferibile che le patine ad ossalati siano rispettate, sia per permettere futuri accertamenti, sia per il loro forte ancoraggio alla pietra, che ne rende il distacco difficilmente effettuabile senza alterare il substrato. Accanto ai vari effetti deleteri dei licheni vi sono inoltre alcune ipotesi che attribuisconoalle loro patine una funzione protettiva nei confronti di altre cause di degrado, come il vento e altri inquinanti atmosferici.

Figura 2.22 – Esempio di patina biologica sulla facciata interna nord di Torre Pantera – rilievo 15-01-11

[22] Rif. Scheda IX, Allegato 1

[23] UNI 18882/2006 – *Materiali lapidei naturali ed artificiali: descrizione della forma di alterazione*

Le alghe formano invece sulla pietra delle patine che costituiscono un ottimo ricettacolo di inquinanti atmosferici. Hanno soprattutto un'azione superficiale, a differenza dei licheni, e sono dannose anche perché mantengono un'umidità costante sulla superficie della pietra.
Queste patine biologiche sono dannose innanzitutto per la loro semplice presenza, in quanto sono sicuramente estranee alla composizione del substrato: modificano l'aspetto cromatico del monumento, alterano il modellato e impediscono una corretta leggibilità del manufatto. Invece i processi di alterazioni di tipo fisico e chimico hanno un'intensità variabile a seconda del tipo di biodeteriogeno presente e dal suo sviluppo.
Il fenomeno è presente in maniera sporadica su alcuni prospetti esterni di Porta Torre (nord e ovest), Torre Gattoni (ovest), e San Vitale (nord e ovest), nonché su alcune facciate interne di Torre Gattoni (sud-ovest e sud-est) e su quasi tutti i prospetti di Torre Pantera. Si individua nelle parti di muratura più umide, o comunque nei pressi di infiltrazioni d'acqua, in quanto queste zone sono le più vulnerabili agli attacchi biologici. La mancata manutenzione poi non può che favorire il proliferare degli organismi. Chiaramente, essendo un degrado di tipo microscopico, è molto facile che le aree interessate siano più vaste rispetto a quelle già individuate.

Figura 2.23 – Esempio di trattamento idrorepellente su muratura – www.ambertoalesi.it Novembre 20011

Per procedere ad un intervento di rimozione di queste patine è necessario identificare le specie e accertare le cause che hanno favorito il loro sviluppo. La maggior parte delle manifestazioni biologiche, alghe, licheni, muschi, può essere eliminata abbastanza facilmente con l'impiego di spazzole rigide, bisturi, spatole e microsabbiature. Nel caso di incrostazioni molto spesse può essere utile un loro trattamento preliminare con soluzioni basiche che, rigonfiando e ammorbidendo il tallo, ne facilitano l'asportazione. Successivamente è buona norma procedere con un intervento di tipo preventivo, volto cioè a diminuire la probabilità che si instauri nuovamente un biodeteriogeno, attraverso un trattamento con prodotti idrorepellenti che renda la superficie poco permeabile all'acqua e quindi meno appetibile per gli agenti biologici. Questo tipo di intervento può però indurre lo sviluppo di altri tipi di microrganismi, soprattutto funghi, che utilizzano questi prodotti come fonte nutritiva, per cui è necessario aggiungere a queste resine dei prodotti biocidi.

2.5.3.10. Scagliatura[24]

"Presenza di parti di forma irregolare, spessore consistente e non uniforme, dette scagliem generalmente in corrispondenza di soluzioni di continuità del materiale originario."[25]

Il fenomeno della scagliatura si manifesta attraverso il distacco di parti dell'elemento lapideo sottoforma di "scaglie", cioè di fogli di pietra più o meno spessi. Può essere causato da reazioni con inquinanti atmosferici, fenomeni di condensazioni e di gelo, o provocato dagli effetti dei sali solubili. Si tratta in ogni caso di un degrado strutturale dell'elemento lapideo, che indebolisce la sua resistenza disgregandolo. Il fenomeno è presente in maniera sporadica e localizzata, singoli elementi lapidei isolati, su quasi tutti i prospetti esterni delle quattro torri e su due prospetti interni di Porta Torre, sud ed est. Non è stato possibile collegare la sua posizione a quella di altri degradi, probabilmente perché ha origine da cause non visibili e anche perché attraverso il solo rilievo fotogrammetrico non sono stati sicuramente individuati tutti gli elementi interessati da questa patologia.

Figura 2.24 – Esempio di scagliatura sulla facciata esterna sud-ovest di Torre Gattoni – rilievo 05-10-11

Per questo tipo di degrado è necessario un intervento di preconsolidamento ed un eventuale successivo consolidamento più profondo. Con preconsolidamento si intende l'impregnazione con un prodotto che, penetrando in profondità, migliori la coesione del materiale alterato e l'adesione fra questo ed il substrato sano, e permetta di intervenire con ragionevole sicurezza nei processi di pulitura e consolidamento successivi. Può essere effettuato con prodotti inorganici o organici: nel caso si utilizzi un prodotto organico si bagna la superficie con uno spray finissimo di una miscela di due resine, una acrilica e una siliconica, diluite in clorotene nella proporzione 10:10:80. In questo modo si fissano preventivamente le scaglie, poi l'intera superficie deve essere ricoperta con fogli di carta giapponese, incollandola con una soluzione acquosa in alcol polivinilico. Successivamente è necessario asciugare con aria calda al fine di essiccare il più possibile la pietra per poter poi eseguire un consolidamento di tipo profondo. L'impregnazione si effettuerà prima a spray e poi a pennello fino a rifiuto di consolidante. Il trattamento è da ripetere più volte.

[24] Rif. Scheda X, Allegato 1
[25] UNI 18882/2006 – *Materiali lapidei naturali ed artificiali: descrizione della forma di alterazione*

2.5.3.11. Presenza di vegetazione[26]

"Presenza di individui erbacei, arbustivi o arborei."[27]

La presenza di muschi e pianti superiori di dimensioni variabili è un degrado in sé, in quanto esse sono sicuramente estranee alla composizione del substrato: alterano infatti l'aspetto formale e cromatico dell'edificio, impedendone una corretta lettura. Sono quindi innanzitutto degli inquinanti "visivi". In secondo luogo provocano delle alterazioni di tipo fisico e chimico che variano in base alla specie e allo sviluppo della pianta. Le piante superiori distruggono murature e malte con le loro radici, e con i prodotti acidi da queste secreti, e, incuneandosi nelle fessure delle pietre, tendono a disgregarle direttamente ed a favorire la penetrazione dell'acqua.

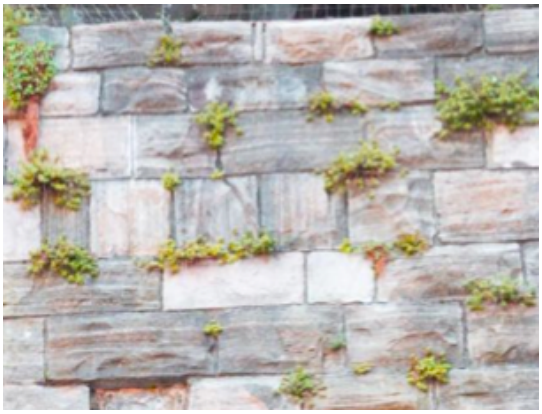


Figura 2.25 – Esempio di presenza di piante sulla facciata esterna nord di Porta Torre – rilievo 05-10-11

La presenza di vegetazione è diffusa su tutti i prospetti esterni di Porta Torre, Torre Gattoni e Torre San Vitale, ed è particolarmente estesa sui prospetti interni di Porta Torre. Non è presente sui prospetti interni di torre Gattoni ed è praticamente assente su Torre Pantera, sia all'esterno che all'interno. San Vitale in particolare presenta sulla facciata ovest una pianta rampicante che partendo dal livello delle mura è salita di qualche metro sulla muratura della torre, ricoprendo una superficie non indifferente. Le piante si individuano comunque in generale sulle murature più umide e su quelle particolarmente fessurate.

L'asportazione manuale, oltre ad essere una tecnica alquanto onerosa, può essere estremamente dannosa per le azioni meccaniche violente che è spesso necessario esercitare, e rischia di risultare inefficace in quanto spesso porzioni di radici resistono allo strappo e rimangono in loco a vegetare. E' quindi preferibile ricorrere a prodotti chimici che fatti assorbire alle piante ne generino il rinsecchimento. I diserbanti utilizzati non devono ovviamente essere nocivi per l'uomo o per gli animali, non devono produrre danni ad altre piante da conservare, devono essere stabili per un periodo di tempo calcolato, e non devono esercitare alcuna azione chimica o fisica nei confronti dei materiali lapidei. Sono costituiti da composti neutri della triazina e possono essere applicati per irrorazione fogliare o per iniezione

[26] Rif. Scheda XI, Allegato 1
[27] UNI 18882/2006 – *Materiali lapidei naturali ed artificiali: descrizione della forma di alterazione*

nell'apparato radicale, in caso di piante particolarmente sviluppate. Essendo molto importante sia i dosaggio che la distribuzione di questi prodotti, è sempre meglio fare eseguire il diserbo a personale specializzato. L'estirpazione manuale dev'essere effettuata dopo 20-30 giorni e solo dopo la totale essicazione delle strutture vegetative. Infine è consigliabile lavare a bassa pressione le superfici trattate per rimuovere completamente i residui dell'agente diserbante e le rimanenti piante essicate.

2.5.3.12. Conclusioni

Come si può notare nella tabella sottostante le patologie di degrado che ricoprono una superficie maggiore di muratura sono le fessurazioni, le patine scure e la presenza di vegetazione. Sarà quindi necessario intervenire innanzitutto su questi tre fronti, per ridare alle torri un aspetto meno alterato rispetto all'origine, ma soprattutto per scongiurare un peggioramento dal punto di vista statico, che potrebbe portare a conseguenze pericolose. I primi interventi di manutenzione straordinaria dovranno quindi prevedere la pulitura generale della superficie, il diserbo, la stilatura dei giunti e delle fessure, vedi cap. 4.

	PORTA TORRE	TORRE GATTONI	TORRE S. VITALE	TORRE PANTERA
Alterazione cromatica Degrado antropico	●	●		
Efflorescenza	●	● ●	● ●	
Ferri ossidati	●	● ●	●	●
Fessurazioni	● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
Presenza di umidità	●	● ●	● ●	
Macchie di ruggine	●	●	●	●
Mancanza	● ● ●	● ●	● ●	●
Patina biologica	● ●	●	●	● ●
Patina scura	● ● ●	● ● ● ●	● ● ● ●	● ●
Scagliatura	● ●	●	● ●	●
Vegetazione	● ● ● ●	● ● ●	● ● ●	

Fenomeno: ● presente in minima parte ●● poco diffuso ●●● diffuso ●●●● molto diffuso

2.6. Analisi del quadro fessurativo

Anche per il quadro fessurativo valgono le stesse considerazioni fatte all'inizio del paragrafo sulle patologie di degrado: la precisione del rilievo dipende molto dal livello di accessibilità di ciascuna torre. Si passa infatti dal caso estremo di Torre Pantera, che è stata studiata con attenzione e in modo ravvicinato grazie ai ponteggi presenti sia all'esterno che all'interno dell'edificio, a quello di Torre San Vitale, che, per questioni di sicurezza, è stato impossibile studiare all'interno. Nel mezzo ci sono Porta Torre, completamente vuota, con le conseguenti difficoltà di studio delle parti di muratura più alte, e Torre Gattoni, con un solaio a livello delle mura, quindi analizzata con più precisione.

2.6.1. Porta Torre

Porta Torre presenta un quadro fessurativo piuttosto limitato con fessure diffuse poco correlabili tra loro, soprattutto sui prospetti esterni. Sono presenti alcuni singoli elementi lapidei fessurati, e alcuni giunti mancanti, ma nessuna fessura di lunghezza considerevole.

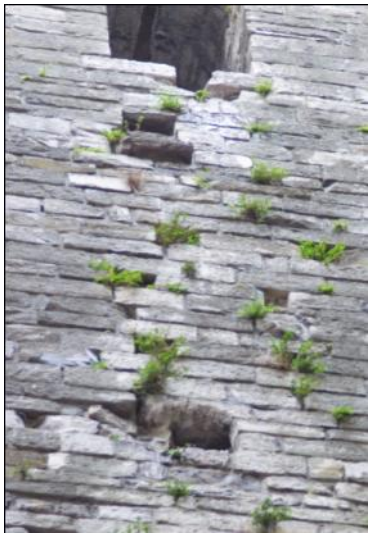


Figura 2.26 – Fessura presente sul prospetto interno ovest di Porta Torre – rilievo 05-10-11

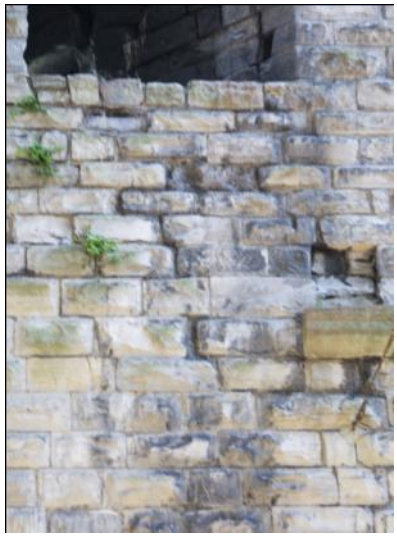


Figura 2.27 – Fessura presente sul prospetto interno est di Porta Torre – rilievo 18-10-11

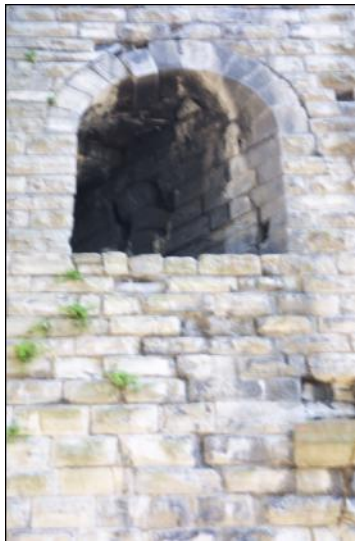


Figura 2.28 – Fessura presente sul prospetto interno est di Porta Torre – 18-10-11

E' da sottolineare solo la presenza di una parte di muratura ricostruita recentemente, sullo spigolo nord-ovest, che si presenta su di un piano leggermente rientrante, e che va monitorata, in quanto potrebbe generare nuove fessure.

Nei prospetti interni est ed ovest si può invece notare qualche fessura di lunghezza variabile in prossimità delle aperture, della base e della sommità. Non è stato possibile misurare lo spessore di dette fessure ma il fatto che non si ritrovino sui rispettivi prospetti esterni significa

che non sono passanti e che quindi sono poco preoccupanti, confermato anche dall'assenza di fuori piombo su tutte le pareti.

Si può quindi ragionevolmente dire che Porta Torre è in buone condizioni statiche e che non sono strettamente necessari degli interventi di consolidamento.

2.6.2. Torre Gattoni

Torre Gattoni presenta invece un quadro fessurativo piuttosto preoccupante, che risulta in accordo con i fuori piombo misurati durante il rilievo topografico.

I prospetti esterni maggiormente fessurati sono quello ovest e quello est, cioè i due adiacenti alla cinta muraria. Mentre gli altri tre prospetti presentano, come Porta Torre, delle fessure isolate e non collegabili fra loro, il prospetto est ed ovest presentano delle fessure di lunghezze variabile sull'intera superficie e un paramento murario particolarmente sconnesso in sommità. Tutta la fascia di coronamento, per un'altezza di circa 5,5 m, è profondamente fessurata e presenta una diffusa mancanza dei giunti di connessione fra gli elementi lapidei. Due porzioni di muratura risultano addirittura pericolanti: lo spigolo nord-ovest e una parte al centro del prospetto ovest.

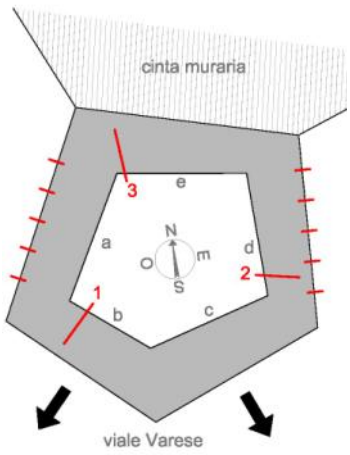


Figura 2.29 – Schema fessure in pianta di Torre Gattoni

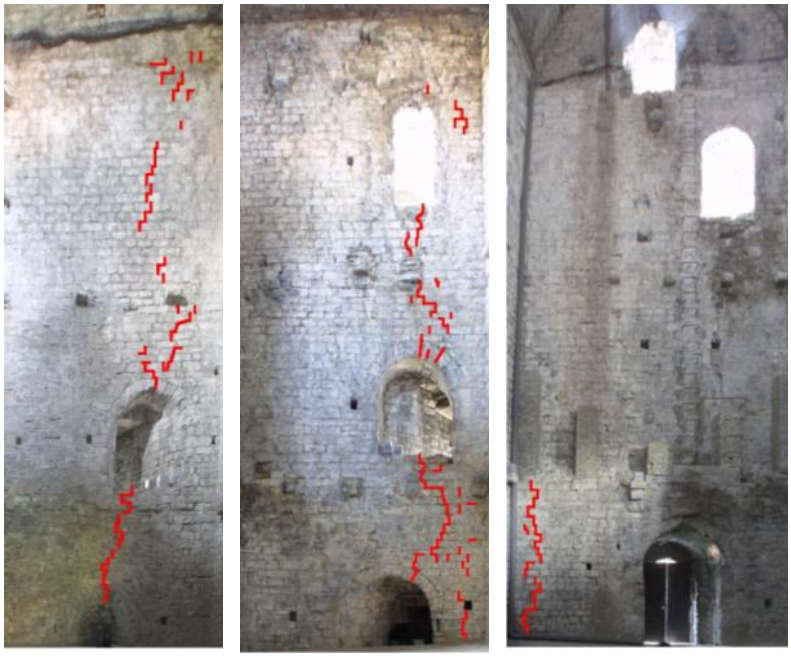


Figure 2.30, 2.31, 2.32 – Fessure presenti sui prospetti interni sud-ovest, est e nord di Torre Gattoni – rilievo 29-09-11

I prospetti interni sono anch'essi diffusamente fessurati, in particolare quelli sud-ovest, nord, ed est (nei disegni b, d, e). Il prospetto sud-ovest dà sui giardini pubblici di viale Varese e

presenta una lunga fessura più o meno al centro, passante per le aperture; il prospetto nord è quello che dà sulla cinta muraria e presenta un lunga fessura verticale vicino allo spigolo ovest; il prospetto est è invece uno dei due adiacenti alla cinta muraria e presenta anch'esso una lunga fessura passante per le aperture, spostata un po' verso sud.

L'analisi delle fessure nel loro complesso, come si può notare in pianta, nei prospetti e negli schemi volumetrici, porta a pensare che la torre si stia aprendo verso l'esterno, nella direzione opposta rispetto alle mura. I due prospetti attaccati alla cinta muraria si stanno infatti "disgregando", mentre le fessure interne mostrano una suddivisione della torre in 3 blocchi: uno attaccato alla cinta muraria e gli altri due proiettati verso viale Varese.

Questa ipotesi è confermata dai fuori piombo misurati con il rilievo topografico e confrontati con dati storici del 1996: la torre è inclinata verso sud, cioè verso viale Varese e Cattaneo, dove ci sono i giardini pubblici, con un fuori piombo che varia da 94 a 123 cm.

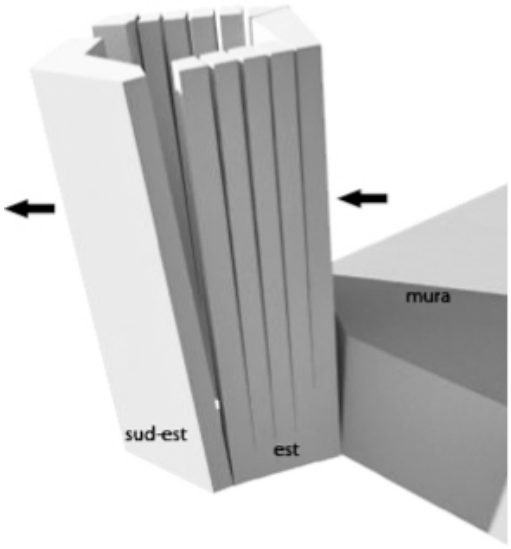


Figura 2.33 – Schema volumetrico di Torre Gattoni – vista da est

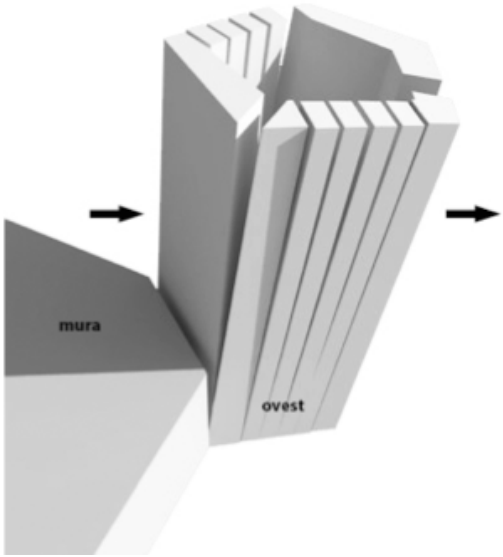


Figura 2.34 – Schema volumetrico di Torre Gattoni – vista da ovest

SI ipotizza che si tratti di un cedimento fondazionale, che potrebbe essere legato alla storia delle mura comasche: nel 1783 il fossato che circondava le mura venne colmato e trasformato in un viale alberato.

E' quindi necessario procedere con degli interventi di consolidamento che mettano in sicurezza l'edificio; interventi che si affronteranno nel capitolo 5.

2.6.3. Torre San Vitale

Il quadro fessurativo di Torre San Vitale è purtroppo incompleto, in quanto non è stato possibile accedere all'interno della torre ed esaminarne i prospetti; è quindi difficile stabilire se le fessure sono passanti e fare delle ipotesi sui cinematismi in atto.

I prospetti esterni mostrano un quadro fessurativo simile a quello di Torre Gattoni, con i due prospetti adiacenti alle mura maggiormente fessurati; si potrebbe quindi pensare che sia in atto un cinematismo simile. Tuttavia i fuori piombo in questo caso sono quasi inesistenti: la torre è caratterizzata, per quanto riguarda i prospetti adiacenti alle mura, da inclinazione costante di circa 1,5%; i restanti fronti, quelli collocati in posizione opposta rispetto alle mura di cinta, sono invece quasi perfettamente verticali. Il motivo di tale verticalità è, con ogni probabilità, da ricercare in piccoli cedimenti del terreno che hanno fatto ruotare verso l'esterno i paramenti murari, andando così ad annullare l'effetto della rastremazione.

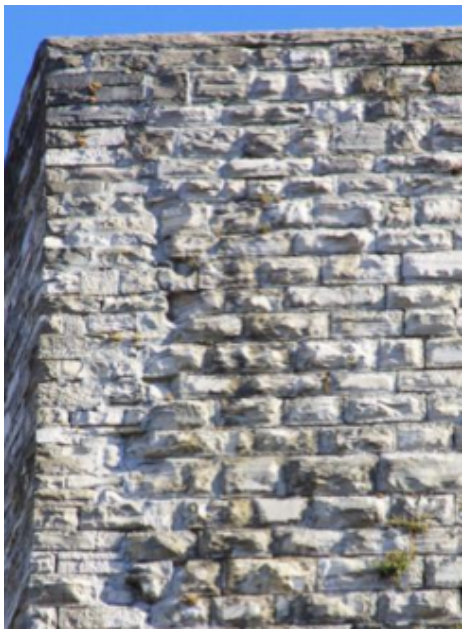


Figura 2.35 – Porzione di muratura ricostruita sullo spigolo sud-ovest di Torre San Vitale

Figura 2.36 – Porzione di coronamento fessurata e sconnessa del prospetto esterno nord di Torre San Vitale

I movimenti della torre sono per ora minimi, e non si possono certo paragonare a quelli di Torre Gattoni. Nonostante ciò, sui due prospetti adiacenti alle mura, e su quello ovest, sono presenti delle fessure continue di lunghezza variabile che andrebbero monitorate. Inoltre tutta la fascia alta di coronamento, alta circa 4,5 m, è particolarmente fessurata e sconnessa, come quella di Torre Gattoni, e necessita di tempestivi interventi di stilatura dei giunti, in gran parte mancanti,e di consolidamento.

E' da sottolineare infine la presenza di una parte di muratura ricostruita recentemente, come in Porta Torre, sullo spigolo sud-ovest, che si presenta su di un piano leggermente rientrante, e che va monitorata, in quanto potrebbe generare nuove fessure.

2.6.4. Torre Pantera

In seguito all'elaborazione del quadro fessurativo per ogni prospetto della Torre Pantera, e dopo una successiva rielaborazione assonometrica della stessa, è possibile effettuare un'interpretazione preliminare dei cinematismi presenti nell'edificio in questione.

Tale interpretazione è basata anche sul dato di rilievo delle dimensioni dei fuoripiombo evidenziate in sito per ogni struttura portante verticale.

Ipotesi di partenza per effettuare l'interpretazione è l'individuazione della tipologia e della tecnologia muraria della struttura portante verticale. Ad una prima analisi, è possibile affermare che essa sia realizzata in pietra arenaria squadrata in parte degradata: mancanze, presenza d'acqua, con possibili presenze di maschi murari pieni e altri a doppio paramento con interposizione di materiale incoerente. Per una più precisa modellazione si potrebbe procedere con una campagna diagnostica e investigativa per determinare a campione la matrice muraria dell'edificio in questione per poter effettuare una lettura accurata e scientificamente confermata.

Figura 2.37 – Torre Pantera - Assonometria in trasparenza dei muri sud ed ovest (in giallo le fessure di entità minore, in rosso quelle di entità maggiore)

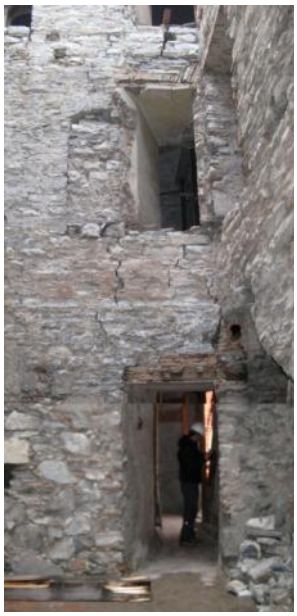


Figura 2.38 – Torre Pantera Fessure presenti sul prospetto interno est – rilievo 06-11-10

Figura 2.39 – Torre Pantera - Fessure presenti sul prospetto interno sud – rilievo 06-11-10

Figura 2.40 – Torre Pantera - Fessure presenti sul prospetto interno ovest – rilievo 06-11-10

1. Si evidenzia una fessurazione continua e profonda al di sotto di tutte le aperture della parete est della torre
2. La parete sud è interessata da una presenza di fessure non continue al di sotto di alcune aperture
3. Si evidenzia una fessurazione continua su tutti gli architravi che delimitano le aperture della parete ovest - affaccio su via Rodari

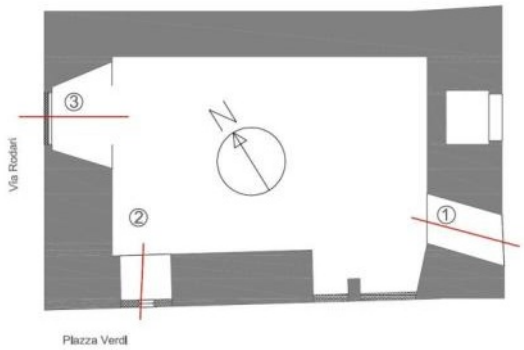


Figura 2.41 – Schema fessure in pianta di Torre Pantera

In prima analisi, interpretando l'andamento delle fessure sul prospetto interno est, è possibile individuare un cinematismo rotatorio che interessa la parete sud della Torre Pantera. Le fessure presenti, infatti, percorrono la struttura verticale in tutta altezza dal livello della copertura al livello dell'estradosso della volta a botte che realizza il livello di calpestio al piano primo, per poi riprendere anche nella parete della volta a botte al piano terra. Tali fessure sono continue, in quanto passanti nelle aperture presenti.

La muratura presenta quindi una rotazione verticale oraria, e nel caso specifico, verso la piazza Verdi confermato da un fuoripiombo di 5 cm. Tale cinematismo potrebbe essere causato dalla mancata presenza delle strutture orizzontali che idealmente realizzano un diaframma rigido

nel piano. La ricostruzione degli elementi orizzontali potrebbe interrompere tale cinematismo. Si segnala tuttavia la necessità di monitorare tale cinematismo.

Altra tipologia di fessura presente nella parete sud è rappresentata dalla crepa nei giunti in chiave degli archi a tutto sesto e ribassati che realizzano le aperture.

Il cinematismo prima evidenziato è riscontrabile anche nell'interpretazione del quadro fessurativo della parete ovest. Anche in questa struttura portante verticale è presente una fessura che la attraversa in tutta altezza dal livello della copertura al livello dell'estradosso della volta a botte che realizza il livello di calpestio al piano primo, per poi riprendere anche nella parete della volta a botte al piano terra. Tali fessure sono continue, in quanto passanti nelle aperture presenti. La muratura presenta quindi una rotazione verticale oraria, e nel caso specifico, verso la piazza Verdi, come già precedentemente affermato.

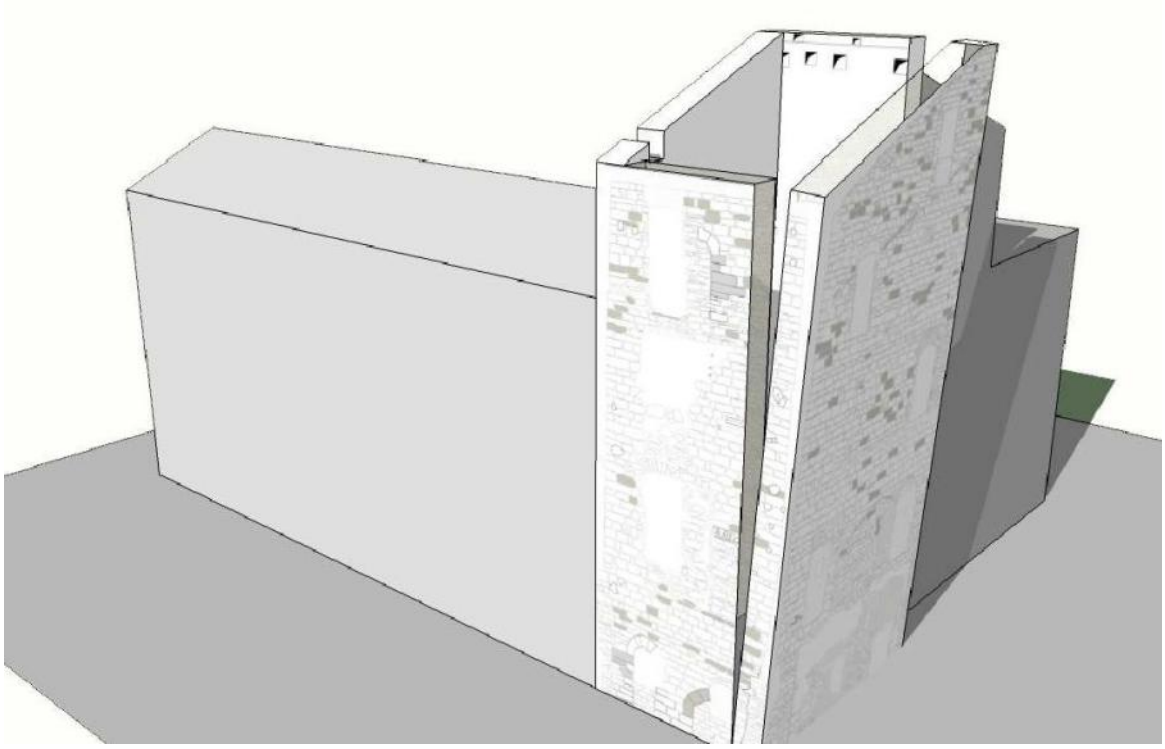


Figura 2.42 – Possibile interpretazione di cinematismo correlato al quadro fessurativo riscontrato sui prospetti interni ed esterni della Torre Pantera. Viene evidenziato un cinematismo rotatorio orario nel verso della piazza Verdi.

Anche la parete sud presenta un andamento delle fessure verticali in tutta altezza, interpretabili come un cinematismo rotatorio orario della parete ovest e nel caso specifico, verso la via Rodari. Tale cinematismo non è confermato da alcun fuoripiombo, anzi la muratura rastrema di 30 cm.

La parete nord, a differenza delle precedenti, presenta una tipologia di fessure diffuse poco correlabili tra loro. Esse sono pressochè legate agli scassi murari presenti nella parete.

3.

Progetto di diagnostica e monitoraggio

3. Progetto di diagnostica e monitoraggio

3.1. Introduzione

Seguendo il filo logico iniziato al capitolo precedente, l'obiettivo primario della diagnostica e del monitoraggio è quello di reperire più informazioni possibili sullo stato di salute delle murature che costituiscono le torri. Questo percorso conoscitivo permetterà di giungere a determinare il livello di sicurezza di ogni singolo edificio con la possibilità di mettere a fuoco, per ogni situazione, il miglior progetto di consolidamento strutturale da, eventualmente, intraprendere. Di seguito vengono riportate tutte le prove, divise per tipologie, che si reputa possano dare informazioni al fine di determinare: la resistenza residua delle murature, la tipologia di murature, lo stato complessivo dell'edificio e il comportamento delle strutture sotto l'effetto di azioni dinamiche. Volutamente sono presentate, in termini generali, anche prove che determinano risultati simili con il solo scopo di realizzare un elenco all'interno del quale siano riportati tutti i vantaggi e gli svantaggi che ogni metodologia di prova comporta.

Di seguito saranno presentate le seguenti prove:

Tipo Prova	Obiettivo
Martinetti Piatti	Definizione resistenza residua della muratura
Prove sclerometriche	Definizione resistenza residua del paramento esterno
Carotaggio	Analisi della tessitura interna della muratura
Endoscopia	Analisi della tessitura interna della muratura
Georadar	Definizione della tipologia di muratura
Prove soniche - Tomografia	Definizione della tipologia di muratura
Inclinometro	Definizione dell'inclinazione delle strutture verticali
Fessurimetro	Definizione quantitativa del quadro fessurativo
Prova dinamica con accelerometri	Definizione del comportamento delle strutture sotto l'effetto di azioni dinamiche
Penetrometriche	Definizione della tipologia di terreno
Carotaggio terreno	Informazione delle quote fondazionali

La messa a sistema di un regime di rilievi e analisi sulla struttura costanti nel tempo da origine al monitoraggio.

3.2. Resistenza residua delle murature

Tali prove sono in grado di fornire un dato numerico che definisce la capacità di resistenza di una struttura portante. Si ritiene possano essere utilizzate solamente tecniche di tipo non distruttivo o moderatamente distruttivo, poiché dovranno essere applicate a edifici storici con quasi 1000 anni di vita.

3.2.1. Martinetti piatti

La prova di carico con i martinetti piatti ha la finalità di determinare lo stato tensionale delle murature e il loro modulo elastico. Essa è del tipo parzialmente non distruttivo poiché il taglio viene eseguito, per quanto possibile, nei corsi di malta ed il martinetto può essere in genere facilmente rimosso senza lasciare tracce evidenti. Con l'inserimento all'interno della muratura di un martinetto, è possibile avere una stima diretta del modulo elastico mentre, mediante l'inserimento all'interno della parete di un secondo martinetto, posto vicino e parallelo al primo si può determinare la resistenza a compressione della muratura. Per un progetto di consolidamento o recupero funzionale della struttura, in cui si prevede di variare lo stato tensionale delle murature, risulta indicativo il dato proveniente da una lettura costante nel tempo dei valori rilevati da un singolo martinetto.

3.2.1.1. Misura dello stato di sollecitazione

La determinazione dello stato tensionale si basa sul principio che un taglio, eseguito in un solido sottoposto a un regime di sollecitazioni, annulla le tensioni sulle facce generate dal taglio stesso. Nelle murature il taglio è praticato nei giunti di malta con una sega a lama diamantata. La tecnica consiste nell'inserimento del martinetto piatto all'interno del taglio e nel porlo in pressione sino ad annullare la deformazione verificatasi dopo il taglio. In queste condizioni, la pressione all'interno del martinetto è uguale alla sollecitazione esistente all'interno della muratura in direzione normale al piatto. Si dovranno apportare correzioni empiriche, per tener conto del rapporto tra la superficie del martinetto e quella del taglio e per tener conto della rigidezza del martinetto.

3.2.1.2. Come si realizza la prova

Nelle immagini da 3.1 a 3.5 viene riportata la procedura da seguire per realizzare la prova:

Figura 3.1

Prima del taglio, l'operatore misura la distanza tra punti noti, utilizzando un estensimetro.

Figura 3.2

Messa in opera della lama per effettuare il taglio ed esecuzione del taglio.

Figura 3.3

Introduzione all'interno del taglio della tasca da mettere in seguito in pressione.

Figura 3.4

Vista frontale del taglio con alloggiato all'interno la tasca. Si vedono i punti che saranno utilizzati per la misura tramite estensimetro.

Figura 3.5

Messa in pressione del martinetto e misurazione della distanza tra i punti. Nel momento in cui il valore misurato è pari a quello iniziale, fig.3.1, si rileva il valore di pressione presente all'interno della tasca. Questo è il valore di compressione all'interno della muratura.

Esecuzione della prova con martinetto piatto Tratte da: A. Anzani, *Indagini tramite martinetti piatti: valutazione dello stato di sforzo e delle caratteristiche tenso-deformative della muratura*, Politecnico di Milano, Ottobre 2011.

3.2.1.3. Utilizzazione dei dati

La figura soprastante mostra lo schema con cui sono stati collocati gli estensimetri per effettuare le misure.

Al termine della fase di taglio i valori di spostamento determinati sulle basi di misura di riferimento non sono costanti, ma tendono ad essere maggiori al centro del taglio a causa della ridistribuzione dello stato di sforzo.

Raramente il ripristino della distanza originaria avviene contemporaneamente sulle 4 basi, cioè per lo stesso valore di sollecitazione applicato dal martinetto.

Queste piccole differenze vengono rappresentate nel grafico 3.1 che riporta i risultati eseguiti su una muratura in pietra.

Una volta ottenuti i valori di pressione esercitata dal martinetto è necessario effettuare un calcolo correttivo che tenga conto delle caratteristiche del martinetto e del rapporto tra l'area del martinetto e quella di taglio:

$$\sigma_f = K_j \cdot K_a \cdot P_f$$

σ_f= valore di sforzo calcolato [N/mm^2]

K_j=cost. adimensionale di taratura del martinetto (<1)

K_a=cost. adimensionale data dal rapporto dell'area del martinetto e l'area del taglio(<1)

P_f=pressione del martinetto connessa all'aumento dello spostamento provocato dal taglio [Pa]

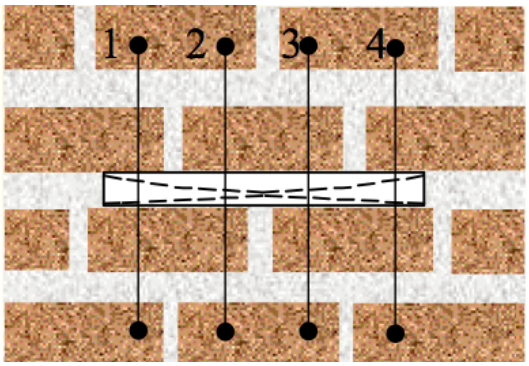


Figura 3.6 - Schema di posa degli estensimetri removibili. Tratta da: A. Anzani, *Indagini tramite martinetti piatti: valutazione dello stato di sforzo e delle caratteristiche tenso-deformative della muratura*, Politecnico di Milano, Ottobre 2011.

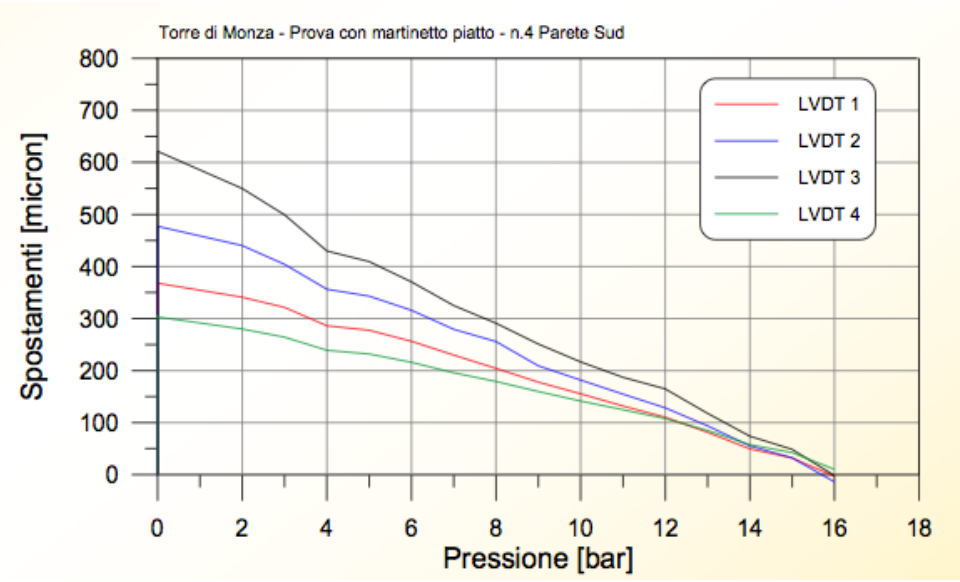


Figura 3.7 - Risultati prova con un solo martinetto eseguita presso la Torre di Monza utilizzando 4 estensimetri. Tratta da: A. Anzani, *Indagini tramite martinetti piatti: valutazione dello stato di sforzo e delle caratteristiche tenso-deformative della muratura*, Politecnico di Milano, Ottobre 2011.

3.2.1.4. Determinazione delle caratteristiche di deformabilità

Per determinare le caratteristiche di deformabilità delle murature, si fa ricorso alla prova con doppio martinetto piatto, che consiste nell'introduzione all'interno della muratura di un secondo martinetto posto parallelamente al primo, a una distanza di 50 cm circa. La muratura tra i due martinetti viene a costituire il campione sottoposto a uno stato di tensione mono-assiale. Detto campione, le cui dimensioni sono sufficienti per simulare il comportamento globale della muratura, ha il vantaggio di essere indisturbato. Si rilevano le deformazioni assiali e trasversali del campione di muratura mediante una serie di estensimetri rimovibili. Si eseguono alcuni cicli di carico, incrementando gradualmente la sollecitazione, per determinare i moduli di deformabilità delle murature ai vari livelli di sollecitazione.

3.2.1.5. Come si realizza la prova

In modo del tutto simile al procedimento descritto al paragrafo 3.2.1.2. si procede ad inserire un secondo martinetto. In questo modo i due strumenti delimitano un campione di muratura di dimensioni apprezzabili al quale è possibile applicare uno stato di sforzo mono-assiale. Alcune basi di misura, ovvero gli estensimetri, poste sulla superficie del campione forniscono informazioni sugli spostamenti in direzione verticale e orizzontale durante la prova. In questo modo è possibile compiere una prova di compressione su di un campione indisturbato di considerevoli dimensioni. Si possono applicare più cicli di carico e scarico a livelli di sollecitazione sempre crescenti per determinare il modulo di deformabilità durante le diverse fasi.

Figura 3.8 - Posizionamento degli estensimetri collegati ad un acquisitore dati di tipo digitale. Tratta da: A. Anzani, Indagini tramite martinetti piatti: valutazione dello stato di sforzo e delle caratteristiche tenso-deformative della muratura, Politecnico di Milano, Ottobre 2011.

Nel caso del martinetto doppio l'acquisizione dei dati è compiuta interfacciando le basi di lettura ed il pressostato collegato al sistema idraulico con un computer. In questo modo è possibile visualizzare l'andamento della prova direttamente su schermo, attraverso un grafico sforzi-deformazioni, figura 3.9.

Figura 3.9 - Esecuzione della prova con doppio martinetto. Si vede il grafico acquisito a pc e il pressostato dotato di manometro. A. Anzani, Indagini tramite martinetti piatti: valutazione dello stato di sforzo e delle caratteristiche tenso-deformative della muratura, Politecnico di Milano.

3.2.1.6. Utilizzazione dei dati

Il grafico sforzi deformazioni riportato in figura 3.10 permette di stabilire, tramite cicli di carico e scarico, il limite dello sforzo per il quale si ha un comportamento di deformazione del tipo elastico lineare e quando invece, verificandosi le prime fessurazioni, si entra nel campo delle deformazioni plastiche.

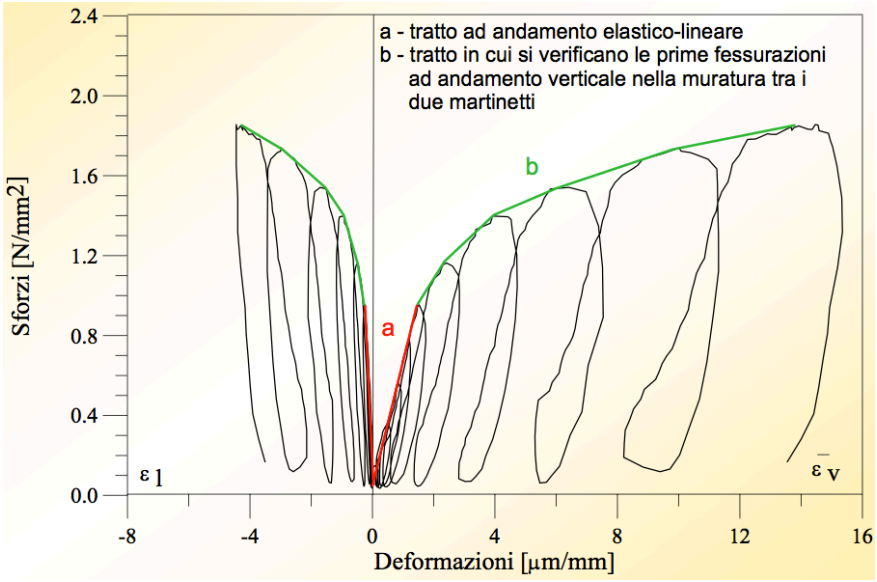


Figura 3.10 - Grafico eseguito con doppio martinetto piatto. Si evidenzia la parte elastico-lineare e quella in cui compiono le prime fessurazioni. La prova non è eseguita sulle torri comasche. Tratto da: A. Anzani, *Indagini tramite martinetti piatti: valutazione dello stato di sforzo e delle caratteristiche tenso-deformative della muratura*, Politecnico di Milano, Ottobre 2011.

Raramente le deformazioni delle singole basi presentano un comportamento uniforme come quello presentato alla figura 3.10. più comunemente si evidenzia un comportamento non omogeneo che, per essere compreso è necessario conoscere le caratteristiche della muratura testata, partendo da un corretto rilievo della tessitura e del quadro fessurativo.

Più comunemente le prove con doppio martinetto piatto si conduconi tramite la messa in opera di rilevatori di deformazione sia orizzontale che verticale in modo da poter definire il modulo elastico (E) del materiale unitamente al coefficiente di contrazione trasversale (c.t.).

$$E = \frac{\Delta\sigma_v}{\Delta e_v}$$

$$c.t. = \frac{\Delta e_h}{\Delta e_v}$$

con:

E= modulo elastico [N/mm^2]

$\Delta\sigma_v$= variazione dello sforzo normale al martinetti [N/mm^2]

Δe_v= deformazione in direzione normale al martinetti

c.t.= coefficiente di contrazione trasversale

Δe_v= deformazione in direzione normale al martinetti

Δe_v= deformazione in direzione normale al martinetti

Al solo scopo illustrativo di riporta il grafico eseguito su una muratura in pietra con il relativo schema di posizionamento dei rilevatori – Figure 3.9 e 3.10

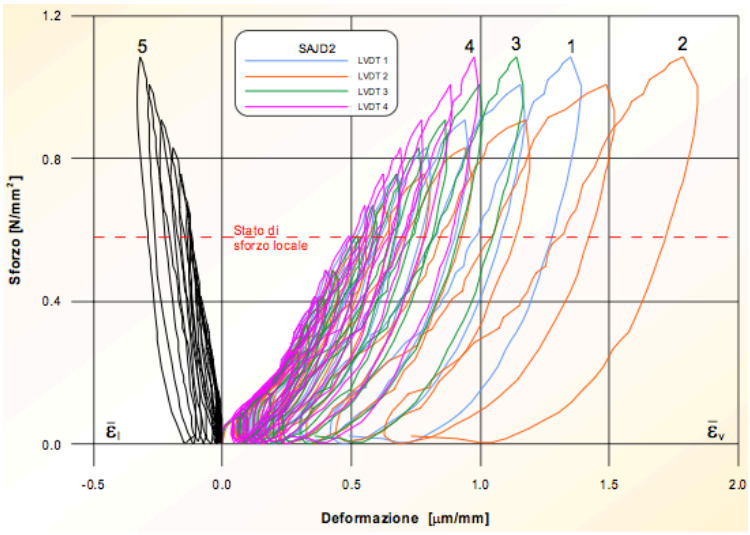


Figura 3.11 - Prova di carico eseguita con doppio martinetto piatto a Morgnaga su muratura in pietra.
Tratto da: A. Anzani, Indagini tramite martinetti piatti: valutazione dello stato di sforzo

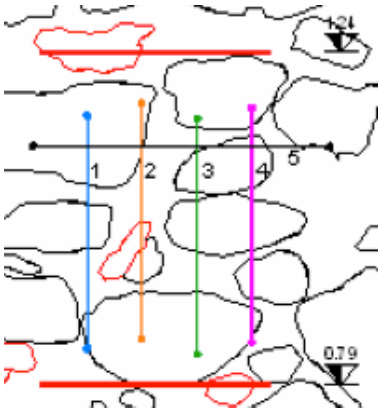


Figura 3.12 - Schema di posa delle basi della prova eseguita a lato.

3.2.2. Prove sclerometriche

Lo sclerometro è uno strumento per compiere prove empiriche in sito di tipo non distruttivo finalizzate ad accertare la resistenza di elementi strutturali in muratura, roccia, legno e calcestruzzo.

Tale prova è rappresentativa dei primi 70 cm di profondità del materiale, non riuscendo a "leggere" le proprietà del campione per profondità maggiori. Tale stima si basa sulla misura della durezza superficiale del materiale da testare, la quale è rapportata all'indice di rimbalzo dello strumento. Gli sclerometri sono costituiti in generale da una massa battente in acciaio, spinta da una molla, che contrasta un'asta di percussione, a diretto contatto con la superficie del materiale che si vuole testare.

Figura 3.13 - Sclerometro analogico per prove su pietra.
Fonte: www.novatest.it - Ottobre 2011

Lo sclerometro, che serve per misurare la durezza del materiale, si basa sul principio che il rimbalzo della massa metallica, in seguito alla percussione sulla superficie, dipende dalla durezza della superficie medesima.

A causa dell'incertezza della correlazione tra il rimbalzo e la resistenza del materiale, la prova sclerometrica non è riconosciuta ufficialmente dalle NTC. Tuttavia in questa sede viene ritenuta una prova utile a definire lo stato di alterazione dei materiali costituenti le murature attraverso rapporti tra gli indici di rimbalzo ottenuti sui giunti e su una superfice "nuda" della roccia.

3.2.2.1. Come si realizza la prova

Per iniziare la prova si preme l'asta di percussione dello strumento sulla superficie da testare, fino all'arresto: la massa contenuta nell'apparecchio viene così caricata, per mezzo di una molla, che le trasferisce una quantità nota di energia. Liberata la massa, questa urta contro il percussore, che è ancora a contatto con la superficie, quindi rimbalza. Il valore di rimbalzo, o indice di rimbalzo I_r, è misurato da un indicatore che scorre lungo una scala graduata presente sullo strumento. Il valore di rimbalzo, opportunamente corretto in funzione dell'angolo di battuta, fornisce un'indicazione qualitativa della resistenza del materiale. A tal fine sullo strumento sono riportati più grafici che correlano l'indice di rimbalzo I_r e la resistenza meccanica R_m, determinato sperimentalmente, che varia in funzione dell'angolo di contatto. Ciò consente di risalire dalla durezza dell'elemento alla resistenza media a compressione del materiale.

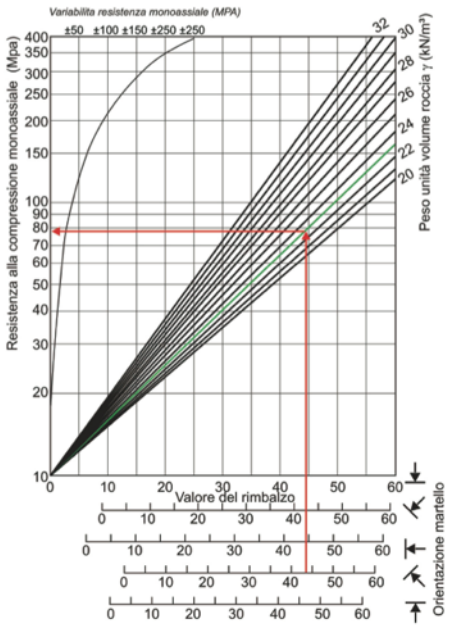


Figura 3.14 - Sull'asse orizzontale vengono riportati i valori di rimbalzo in funzione dell'orientamento del martello. Dal diagramma, tramite il peso specifico del materiale, si definisce, sull'asse verticale, la resistenza a compressione del materiale. Tratto da: R. de Riso, *La valutazione della stabilità di versanti in roccia: aspetti metodologici ed applicazioni su aree campione del territorio campano*, Università Federico II, Napoli, 2005.

3.2.2.2. Utilizzazione dei dati

Esistono essenzialmente due modi per mettere in relazione il valore di rimbalzo e quello di resistenza monoassiale della muratura.

Il primo è legato alla relazione empirica di Irfan e Dearman (1978):

$$S_u = 0,775R + 21,3$$

S_u= Reistenza alla compressione [MPa]

R= Valore del rimbalzo

Il secondo è un metodo grafico che correla il valore di rimbalzo alla resistenza monoassiale. In riferimento alla figura 3.14 si entra dall'asse orizzontale con il valore di rimbalzo fornito dallo strumento, in funzione dell'orientamento del martello. Ci si sposta verticalmente fino ad

intersecare la retta corrispondente al peso dell'unità di roccia, infine si determina sull'asse verticale la resistenza a compressione monoassiale.

3.3. Determinazione della tipologia muraria

Nei paragrafi seguenti sono riportate alcune prove che si basano sull'osservazione più o meno diretta dei paramenti murari. L'obiettivo di tali prove è definire il tipo di tecnologia utilizzata per edificare l'oggetto di studio. È possibile, dato lo spessore dei muri degli edifici, unitamente alle considerazioni di tipo storico-costruttive, che le strutture portanti siano costituite da murature a sacco. Le prove diagnostiche presentate di seguito sono in grado di confermare o smentire tale ipotesi.

3.3.1.Carotaggio

La prova si basa sul principio dell'estrazione di una piccola parte di muratura che, grazie ad accorgimenti durante la fase di prelievo, possa essere rappresentativa dello stato di ampie porzioni di paramento murario. La carota estratta viene mandata a laboratori specializzati che, tramite la distruzione del campione determinano la composizione chimica e le proprietà meccaniche dello stesso. La prova può essere considerata non invasiva date le ridotte dimensioni del foro, su pietra si consiglia un diametro esterno di 76 mm.

3.3.1.1. Come si realizza la prova

La prova va effettuata con opportuna carotatrice in grado di fornire campioni significativi.

Il diametro della carota dovrà essere il più piccolo possibile, compatibilmente con la disomogeneità del materiale. Per le torri oggetto del presente documento si prescrive un diametro di 76 mm. L'operazione deve essere compiuta a un basso numero di giri per evitare il surriscaldamento del campione. Le carote devono essere prelevate lavorando a secco e si potrà ricorrere ad un intervento ad umido solo quando l'operazione non potrà essere condotta altrimenti. La carotatrice dovrà essere utilizzata per rotazione, dovrà essere dotata di opportuna slitta in grado di garantire la

Figura 3.15 - Carotatrice esegue un foro in una muratura in pietra. Tratto da: www.ristrutturare-case.it - Novembre 2011

perpendicolarità dei taglio, dovrà essere dotata di regolatore di velocità. Si dovranno impiegare punte a ghiera diamantata o a placchette in metallo duro, eventualmente sterilizzate per indagini microbiologiche. È necessario chiudere il foro lasciato dalla carota sul manufatto. Il riempimento deve essere fatto esclusivamente con materiale le cui caratteristiche chimiche e fisiche siano tali da impedire effetti indesiderati. Perché la prova possa essere considerata non distruttiva è bene procedere con il foro dalla parte interna e limitare il foro affinchè si arresti a pochi cm dal paramento esterno. Qualora possibile il foro lasciato dopo l'intervento potrà essere ripristinato tramite la messa in opera di materiale di risulta derivante dal foro, così da non alterare lo stato materico superficiale.

3.3.1.2. Utilizzazione dei dati

Il provino è mandato a centri di analisi specializzati che determinano le caratteristiche mineralogiche e petrografiche del materiale e ne stabiliscono le caratteristiche meccaniche. Da tenere in considerazione vi è che la qualità delle informazioni provenienti dal campione sono tanto i più affidabili quanto più il campione è integro.

Figura 3.16 - Carota di una muratura in pietra e cemento pronta per essere analizzata. Tratto da: www.edilcasa.biz - Novembre 2011

3.3.2. Endoscopia

Le prove consistono nell'esame visivo diretto all'interno del corpo murario al fine di individuare: tipologie costruttive, variazioni morfologiche, discontinuità tra i paramenti murari, presenza di cavità interne, distacchi e lesioni, efficienza dei giunti di malta e stato di conservazione degli stessi. L'esame endoscopico consente di valutare la conformazione interna di aree non raggiungibili altrimenti, effettuando così un approfondito esame visivo. Generalmente si utilizzano endoscopi rigidi con visione frontale, costituiti da un'asta metallica rigida dotata ad una estremità di un obiettivo e dall'altro di un oculare collegato ad una fotocamera. L'indagine endoscopica è totalmente affidabile basandosi essenzialmente sulla visione diretta della struttura.

3.3.2.1. Come si realizza la prova

Per eseguire la prova si possono sfruttare cavità già presenti all'interno delle murature, oppure, come nel caso in esame, è utile sfruttare le cavità realizzate con i carotaggi. Nel caso

delle torri della città di Como, che sono costituite da grosse pietre collegate tra loro da malta non perfettamente continua e con forti discontinuità materiche anche di grandi dimensioni lo sfruttamento di fori perfettamente rettilinei permette di indagare con precisione tutta la profondità del paramento murario. In alternativa, ove non si disponga di carotaggi si eseguono con un trapano fori, solitamente passanti, di diametro 3-4 cm all'interno dei quali viene inserito l'endoscopio. Il lento avanzamento della sonda all'interno dei fori permette di conoscere le caratteristiche costruttive e lo stato di salute delle strutture indagate.

3.3.2.2. Utilizzazione dei dati

Di seguito sono riportate le immagini frutto di un'endoscopia in una muratura:

Figura 3.17 - Indagine endoscopica in foro non passante all'interno di muratura in pietra.
Fonte: lnx.materiasrl.net – Ottobre 2011.

Figura 3.18 - Foro passante per indagine endoscopica.
Fonte: lnx.materiasrl.net – Ottobre 2011.

3.3.3. Georadar – GPR Ground Penetrating Radar

I sistemi georadar sono strumenti d'indagine non invasiva per analisi su edifici storici. Attraverso l'utilizzo di onde elettromagnetiche, questi sistemi sono in grado di esaminare i materiali indagati senza interferire nelle loro caratteristiche fisiche, meccaniche e chimiche. Il funzionamento è legato, come per le prove soniche descritte al paragrafo seguente, al ritardo con cui sono percepite dallo strumento le onde magnetiche emesse dallo strumento e riflesse dalla muratura. La capacità del radar di leggere tutti gli echi che si producono durante la trasmissione delle onde all'interno dei materiali indagati, permette di rilevare le disomogeneità presenti. Contestualizzando l'indagine alle torri medievali oggetto di studio, si è in grado di definire gli spessori dei paramenti che costituiscono la muratura e la dimensione del sacco che, con ogni probabilità costituisce le pareti, e la presenza di eventuali disomogeneità.

3.3.3.1. Come si realizza la prova

La realizzazione della prova avviene tramite la messa in contatto dell'antenna, ovvero la parte dello strumento che emetto e riceve le onde, alla superficie che si vuole rilevare. In questo modo, facendo scorrere la stessa lungo tutta l'area da investigare, si ottiene un insieme di dati che, elaborati sul posto e in laboratorio permettono di conoscere le principali caratteristiche delle strutture portanti e portate.

3.3.3.2. Utilizzazione dei dati

Il risultato ottenuto è una sezione GPR, che esprime l'intensità degli impulsi riflessi dal substrato in funzione del tempo di arrivo e della posizione sulla superficie. La sezione è di fatto il risultato della sovrapposizione di molteplici cicli di trasmissione e ricezione degli impulsi radar; le diverse tonalità di colore, o di grigio, sono funzione dell'intensità della radiazione riflessa.

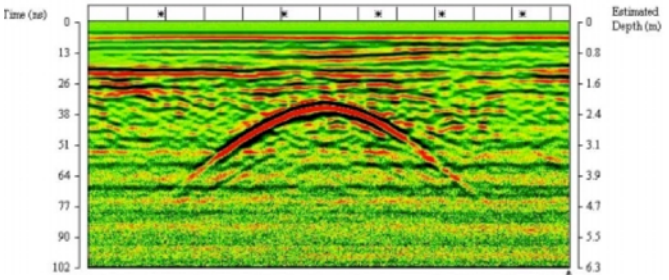


Figura 3.19 - Risultato grafico della prova in cui si vede il riflesso generato da un corpo riflettente ovvero un tubo in plastica. Tratta da: Radar GeoServizi, *GPR – Metodologia e applicazioni*, Torino, 2011.

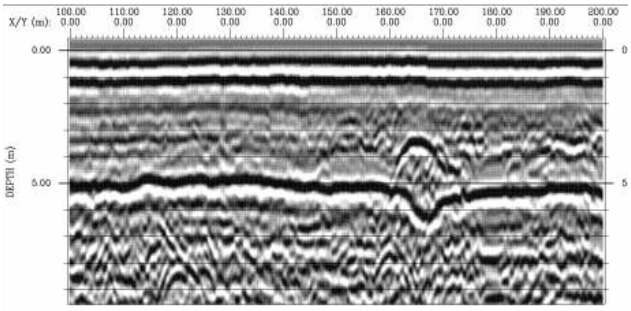


Figura 3.20 - Risultato grafico di una prova condotta su di una muratura in calcestruzzo. Tratta da: Radar GeoServizi, GPR – Metodologia e applicazioni, Torino, 2011.

L'interpretazione delle forme risultanti dalle diverse colorazioni delle sezioni GPR è una operazione piuttosto complessa, che deve tenere conto sia delle diverse velocità di propagazione dei materiali attraversati, sia della geometria dello strumento di emissione delle onde elettromagnetiche. Le antenne utilizzate da molti GPR sono direzionali, ovvero emettono secondo una direzione preferenziale. Di conseguenza, le radiazioni possono intercettare bersagli che non sono posti esattamente lungo la verticale ; i loro riflessi giungeranno con maggiore ritardo, a fronte di un tragitto più lungo, e appariranno più profondi. Un esempio tipico di tale effetto è la forma ad iperbole mostrata in corrispondenza di piccoli riflettori, ad esempio tubi tagliati trasversalmente, armature metalliche, ciottoli e

altro - si veda figura 3.13 - i cui rami ascendente e discendente sono i riflessi registrati prima e dopo il passaggio dell'antenna sulla verticale del bersaglio. I corpi estesi risentono in maniera minore dell'effetto del cono di trasmissione e mostrano nei profili una forma più prossima a quella reale. E' dunque possibile, con una certa esperienza, fornire un'interpretazione sufficientemente precisa delle anomalie radar individuate dalla sola osservazione delle sezioni.

3.3.4. Prove soniche

La metodologia d'indagine sonica si fonda sulla misurazione della velocità di propagazione d'onde, emesse da una sorgente a impulsi, all'interno delle strutture che si vogliono indagare, nel caso in esame all'interno dei paramenti murari. Tale velocità, essendo funzione delle proprietà intrinseche del materiale, quali ad esempio la massa volumica, il modulo elastico, la presenza di discontinuità, eventuali fessurazioni, fornisce informazioni sulla struttura interna dei manufatti indagati. La prova sonica è utile in particolare in materiali non omogenei, come ad esempio le murature che caratterizzano tutte le torri oggetto del presente documento, e può essere utilizzata in alternativa al georadar qualora il paramento murario da indagare risulti di spessore troppo elevato oppure quando, per murature sconnesse, sia impossibile far scorrere la sonda del georadar lungo la superficie da indagare.

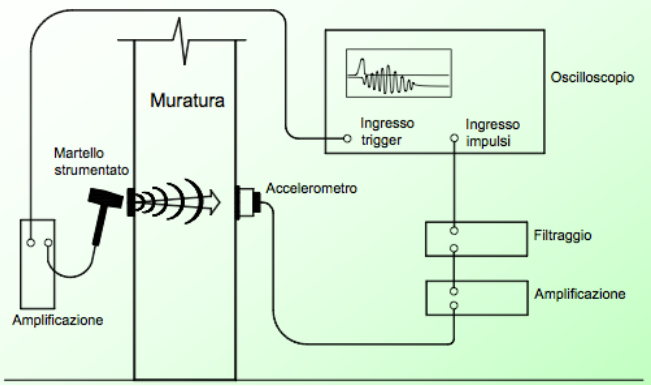


Figura 3.21 - Schema di funzionamento della prova sonica.
Tratto da: A. Anzani, *Indagini soniche: metodo ed esempi pratici*, Politecnico di Milano, 2011.

3.3.4.1. Come si realizza la prova

Le prove soniche si eseguono mettendo a contatto della muratura, o della struttura che si vuole indagare, due strumenti: il primo è la fonte da cui vengono emesse le onde soniche, solitamente un martello strumentato; il secondo è l'unità ricevente, ovvero un accelerometro, che ha il compito di recepire il segnale. Le indagini soniche possono essere fatte secondo tre modalità a seconda del posizionamento del trasmettitore e del ricevitore: per trasparenza, se su lati opposti; in superficie, se sullo stesso lato; per trasmissione radiale, se su lati adiacenti della superficie muraria.

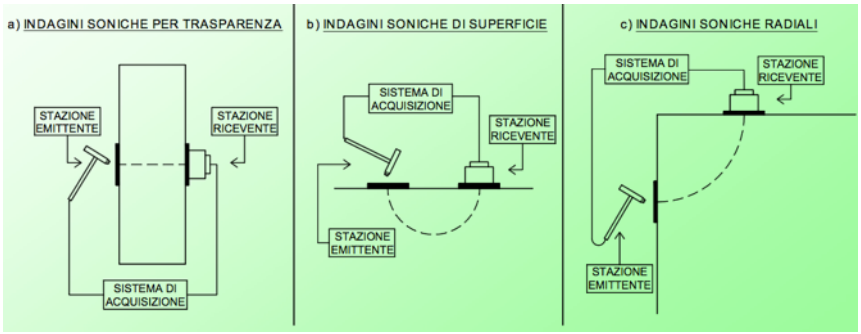


Figura 3.22 - Schematizzazione dei tre metodi di applicazione della prova. Tratto da: A. Anzani, Indagini soniche: metodo ed esempi pratici, Politecnico di Milano, 2011.

3.3.4.2. Utilizzazione dei dati

Il metodo di trasmissione per trasparenza consiste nella scelta di punti di emissione e di ricezione dei segnali, posizionati su due lati opposti della parete, alla stessa altezza dal piano di calpestio e in modo che la loro congiungente sia perpendicolare alle superfici.

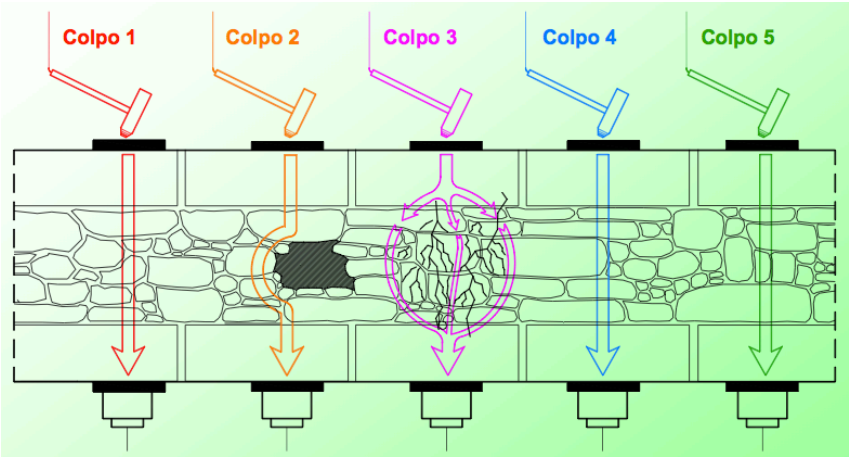


Figura 3.23 - L'onda sonica è caratterizzata da tempi di attraversamento del mezzo solido e da echi differenti a seconda della tipologia di materiale che attraversa.
Tratto da: A. Anzani, *Indagini soniche: metodo ed esempi pratici*, Politecnico di Milano, 2011.

Il metodo di trasmissione in superficie si esegue quando vi è l'impossibilità di accedere ad entrambe le facce dell'elemento che si vuole studiare. Il dato rilevato nella prova, in entrambe le modalità è la velocità di propagazione dell'onda. Quando si manifesta una diminuzione della velocità di propagazione,significa che nel materiale sono presenti zone aventi diverso grado di aggregazione, vuoti o cavità, oppure che la densità del materiale è compromessa da fenomeni di degrado.

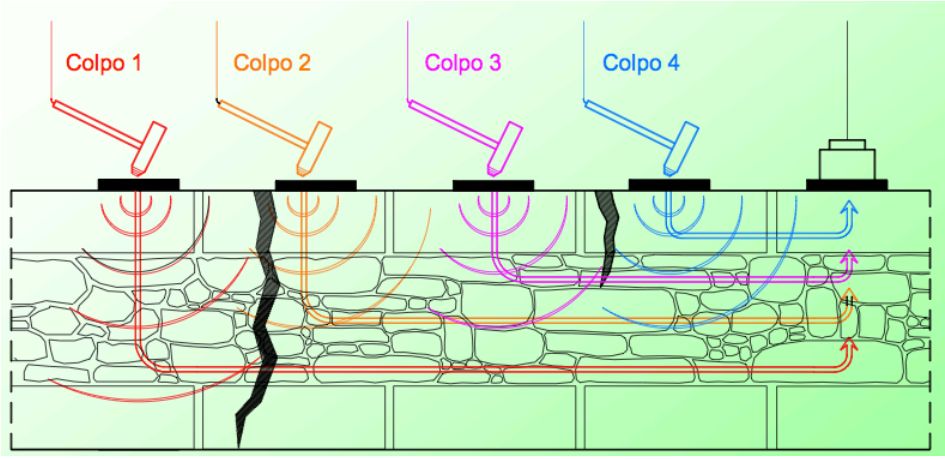


Figura 3.24 - Modalità di prova su superficie.
Tratto da: A. Anzani, *Indagini soniche: metodo ed esempi pratici*, Politecnico di Milano, 2011.

Il metodo d'indagine radiale si applica per zone d'angolo e si esegue in modo del tutto simile alla prova di trasmissione in superficie. Un efficace modo di rappresentare le differenti velocità di propagazione, quindi le differenti caratteristiche della muratura, è quello di elaborare schemi grafici come quello riportato in figura 3.25.

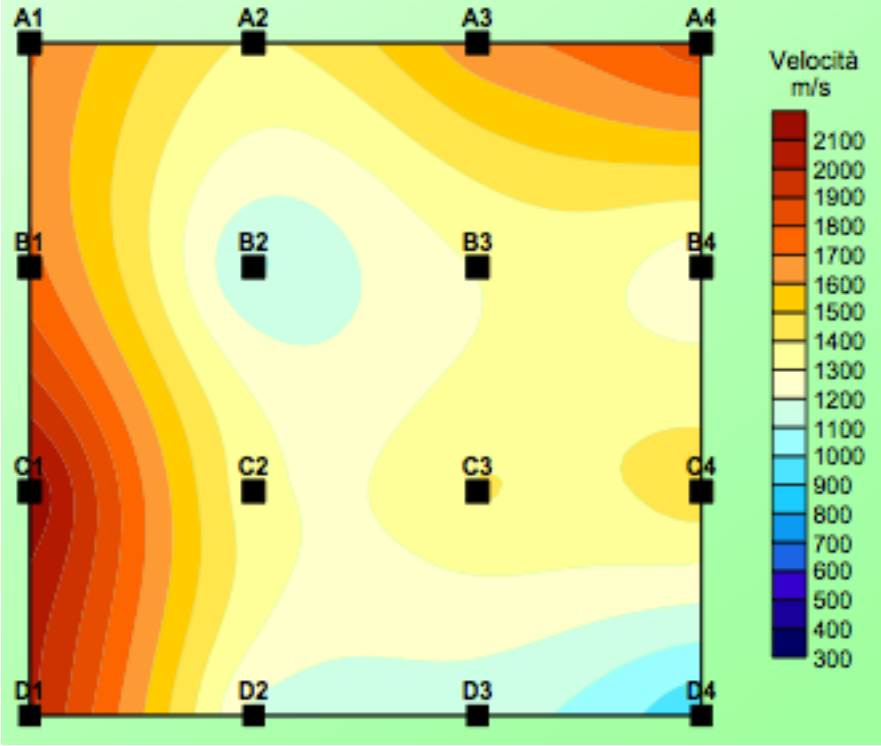


Figura 3.25 - Risultato dell'indagine su una superficie muraria. Ad ogni colore corrisponde una diversa velocità di propagazione dell'onda sonica. Ogni quadratino nero rappresenta il punto in cui la prova è stata eseguita.
Tratto da: A. Anzani, *Indagini soniche: metodo ed esempi pratici*, Politecnico di Milano, 2011.

3.3.4.3. Tomografia sonica

Per paramenti murari molto estesi per i quali si vuole indagare una muratura accessibile su entrambi i lati è possibile utilizzare la tomografia sonica. Questo tipo di analisi è una tecnica acustica che si effettua con la normale strumentazione sonica. Acquisito un elevato numero di dati in punti di stazione posti lungo il perimetro della sezione d'interesse, grazie ad un processo iterativo di calcolo la tomografia opera ricostruzione della sezione, producendo immagini bidimensionali della porzione dell'elemento.

In tomografia sonica si considerano, per ogni stazione sorgente del segnale, un elevato numero di stazioni riceventi a formare un ventaglio di percorsi ideali del segnale trasmesso, diversamente orientati rispetto alla direzione del fronte d'onda iniziale del segnale; per ogni posizione della sonda ricevente, il parametro misurato riflette le caratteristiche fisico-meccaniche del materiale attraversato durante il percorso di propagazione dell'onda. I segnali acustici hanno la tendenza a viaggiare meglio e più velocemente in materiali maggiormente densi dunque la velocità del segnale tenderà ad essere maggiore in regioni di materiale integro e, in presenza di vuoti, il fronte d'onda aggira la cavità allungando il proprio percorso e dando luogo a velocità misurate apparentemente inferiori.

3.4. Lo stato complessivo dell'edificio

Per stato complessivo di un edificio s'intende la valutazione di tutti i parametri che concorrono a definire lo stato di salute dell'edificio considerandolo come un elemento monolitico. Un esempio, proposto in maniera più completa in seguito, è l'esame della verticalità di un fabbricato con l'obiettivo di definirne i fuori-piombo o ancora, lo studio del quadro fessurativo, eseguito in termini quantitativi, con lo scopo di interpretare il cinematismo che caratterizza la struttura.

3.4.1. Inclinometro

I controlli di verticalità consentono di individuare gli spostamenti rispetto alla verticale di alcuni punti della struttura da esaminare. L'utilizzo d'inclinometri digitali permette di realizzare una serie di misure intervallate nel tempo e determinare la legge evolutiva dei movimenti di un edificio.

3.4.1.1. Come si realizza la prova

L'inclinometro è un dispositivo che, tramite una bolla, è in grado di compiere misurazioni sullo stato d'inclinazione della superficie su cui è applicato. Attualmente si predilige l'installazione di inclinometri digitali e biassiale, in grado di letture con una precisione nell'ordine del millesimo di grado e capace di leggere le variazioni di inclinazione in due direzioni principali.

Figura 3.26 - Un inclinometro digitale biassiale. Fonte: www.optoi.com - Ottobre 2011

3.4.1.2. Utilizzazione dei dati

Per determinare il cinematismo di un edificio è necessario applicare alle facciate diversi inclinometri, posti ad altezze differenti, in modo tale che si possa avere un insieme di misure rappresentative sull'intera altezza. Tali letture devono essere condotte in un arco temporale più ampio possibile. In particolare sarebbe buona norma effettuare misurazioni per un periodo di almeno 2 anni così che si possano confrontare letture dello stesso periodo, ad esempio 1 dicembre 2011 con il 1 dicembre 2012, in modo da poter escludere movimenti differenziali legati alle dilatazioni termiche cicliche annuali. Tale tipologia di attività rientra nel campo del monitoraggio strutturale.

3.4.2. Fessurimetro

Il fessurimetro è uno strumento composto di due piastre di cui una dotata di griglia millimetrata e l'altra trasparente con una mira di riferimento. Le due parti vanno fissate su entrambi i lati della fessura di cui si vuole misurare il cinematismo. I movimenti differenziali delle due parti rispecchiano esattamente il cinematismo che genera la frattura così che sia possibile definire l'entità e il verso dello spostamento.

Figura 3.27 - Fessurimetro analagico per superficie piana. Fonte: ww.prismaonweb.com Ottobre 2001

3.4.2.1. Come si realizza la prova

Esistono due tipologie di fessurimetri: il primo per le misure su superfici piane, orizzontali e verticali, in genere capace di misure nell'ordine del decimo di millimetro; il secondo utilizzabile, per le fessure che interessano gli angoli, viene solitamente posto in opera in coppia. Anche gli strumenti angolari misurano movimenti verticali e orizzontali con precisione nell'ordine del decimo di millimetro.

Esistono inoltre strumenti digitali in grado di fornire precisioni fino al centesimo di millimetro.

Figura 3.28 - Fessurimetro analagico angolare.
Fonte: ww.prismaonweb.com Ottobre 2011

3.4.2.2. Utilizzazione dei dati

Lo svolgimento della prova consiste nella semplice applicazione degli strumenti a cavallo delle fessure e la lettura periodica del cinematismo.Tali letture devono essere condotte in un arco temporale più ampio possibile. In particolare sarebbe buona norma effettuare misurazioni per un periodo di almeno 2 anni così che si possano confrontare letture dello stesso periodo, ad esempio 1 dicembre 2011 con il 1 dicembre 2012, in modo da poter escludere movimenti differenziali legati alle dilatazioni termiche cicliche annuali. Tale tipologia di attività rientra nel campo del monitoraggio strutturale.

3.5.1. Prova dinamica con accelerometri

Le indagini non distruttive condotte mediante prove dinamiche costituiscono un valido strumento di giudizio e controllo per la conservazione del manufatto. Queste mirano a verificare in modo indiretto la stabilità dell'edificio e a fornire una valutazione d'insieme delle sue caratteristiche dinamiche secondo differenti modalità: rilievo e analisi dei disturbi vibrazionali già presenti, a carattere continuativo, quali traffico ferroviario e stradale, o saltuarie come vento o azioni sismiche.

Figura 3.29 - Modalità di messa in opera degli accelerometri. Nell'immagine si vede anche lo strumento di acquisizione e una plottata dei risultati ottenuti.
Fonte: www.indaginistrutturali.it - Ottobre 2011

3.5.1.1. Come si realizza la prova

Le modalità di svolgimento della prova sono estremamente intuitive e prevedono la semplice installazione di uno o generalmente più centraline di acquisizione delle informazioni vibrazionali, poste in aree e quote differenti dell'edificio da rilevare. Le sonde, collegate a un registratore dati, sono in grado di fornire in continuo, per esempio per 24 ore, un numero significativo di dati che, elaborati con l'utilizzo di software adeguati, sono in grado di fornire modelli matematici sul comportamento dell'edificio soggetto a determinate azioni dinamiche.

3.5.1.2. Utilizzazione dei dati

I dati, che possono essere prelevati dal registratore sia in sito sia in remoto, possono essere utilizzati per monitorare l'evolversi di un fenomeno nel tempo. Un esempio di utilizzo è legato alla necessità di verificare se il traffico cittadino arrechi danno ad edifici posti in adiacenza a strade di grande traffico. In questo caso si elaborano grafici come quello riportato in figura 3.31 che rappresentano i movimenti dell'edificio nel tempo. In particolare gli spostamenti dell'edificio sono espressi sotto forma di accelerazioni, riportate sull'asse verticale, espresse nel tempo, riportato sull'asse orizzontale.

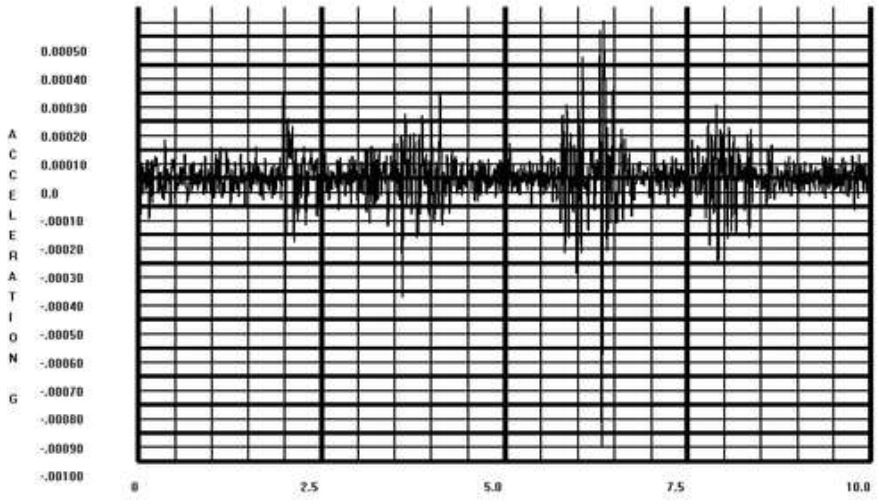


Figura 3.30 - Diagramma in cui si evidenziano gli spostamenti espressi sotto forma di accelerazioni, riportate sull'asse verticale, espresse nel tempo, riportato sull'asse orizzontale.

In alternativa un'ulteriore metodologia di impiego dei dati provenienti da sismografi è quella di elaborare un modello computerizzato agli elementi finiti in cui si definisce il comportamento

dell'edificio sia sotto le azioni a cui è effettivamente chiamato a rispondere sia per ipotetiche azioni future quali quelle legate al sisma.

Per costruzioni esistenti la presenza di molteplici incognite quali i materiali, i carichi accidentali, i reali schemi statici, rende tali valutazioni molto più complesse e spesso il comportamento degli edifici è ipotizzato interfacciando i dati raccolti sull'edificio con parametri di sicurezza forniti dalle normative.

3.6. Indagini geotecniche in sito

Le indagini geotecniche in sito possono essere effettuate con l'ausilio di strumenti di diversa natura, che sono disponibili sul mercato, che differiscono tra loro sia per la tecnica di impiego, che per la raffinatezza dei risultati ottenibili. Le indagini hanno come obiettivo la raccolta di informazioni necessarie per consentire la scelta del tipo di intervento, per evidenziare i problemi che eventualmente possono sorgere in fase esecutiva e per mettere in luce rischi di natura geologica. Il grado di approfondimento dell'indagine dipende dall'importanza del progetto e dalle sue fasi di sviluppo, nonché dalla disponibilità economica della committenza. Per opere ricorrenti di modesto impegno, il progettista può infatti talora riferirsi all'esperienza acquisita sull'area e adottare cautelativi margini di sicurezza, senza effettuare specifiche indagini. Nel caso in oggetto l'obiettivo dell'indagine è definire le caratteristiche fisiche e meccaniche del suolo sottostante i muri perimetrali della Torre Gattoni che presentano un fuori piombo notevole. Infatti la proposta progettuale affrontata nel capitolo 5, è il consolidamento delle fondazione attraverso la realizzazione di micropali che ridistribuiscono il carico e arrestano il cinematismo in atto. Per procedere in tal senso, i risultati che si vogliono ottenere sono:

- La stratificazione geologica del terreno
- L'altezza della falda
- I principali parametri geotecnici: angolo di attrito ϕ', coesione c_u.

L'estensione delle indagine, per il caso in oggetto, deve riguardare un volume significativo di terreno. Andando nella direzione di un consolidamento con micropali, la profondità da indagare può essere stimata facendo riferimento al concetto di fondazione equivalente. Ipotizzando che la fondazione su pali sia equivalente a una fondazione diretta posta a una profondità pari a 2/3 della lunghezza dei pali, e che a tale fondazione si applichi il criterio secondo cui ad una profondità pari a 1,5 volte la larghezza della fondazione, l'incremento della

tensione verticale è pari a circa il 20% del carico unitario applicato in superficie, si deve raggiungere tale profondità per avere un risultato significativo[28].

Per una completa contestualizzazione delle indagini si rimanda alle schede di diagnostica.

Le indagini proposte sono:

- Sondaggi;
- Prove penetrometriche statiche;

3.6.1. Sondaggi

I sondaggi consentono un'ispezione diretta del terreno e sono utilizzati per la ricostruzione stratigrafica delle formazioni attraversate, nonché per il prelevo di campioni rappresentativi, da sottoporre a prove di laboratorio. Alcune di queste tecniche possono anche essere utilizzate al solo scopo di eseguire fori per l'installazione di strumentazione, come ad esempio piezometri, o per consentire l'esecuzione di prove in sito come nel caso in oggetto.

Il termine sondaggio indica una perforazione effettuata nel terreno mediante un'attrezzatura denominata *sonda.* Se lo scopo è quello di prelevare campioni per le indagini di laboratorio, il sondaggio deve essere eseguito con attrezzature che consentano il prelievo di carote continue, e la perforazione a rotazione viene definita in questo caso *carotaggio continuo.*

3.6.1.1. Come si realizza la prova

Il sondaggio viene eseguito con un utensile di perforazione costituito da un tubo carotiere che presenta un'estremità munita di una corona dentata tagliente. I diametri normalmente usati variano da 75 mm a 150 mm, e l'avanzamento viene realizzato applicando all'utensile, tramite una batteria di aste che lo collegano alla superficie, contemporaneamente spinta e rotazione. Laddove il terreno lo consente, la perforazione può avvenire a secco.

L'immissione di un fluido di perforazione (acqua, fango, aria compressa), attraverso le aste interne o meno sovente attraverso le pareti del foro, aumenta sensibilmente la velocità di avanzamento, ma rende più complicato il carotaggio in materiali teneri o poco coesivi. In questo caso si può sospendere l'immissione del fluido di perforazione, ricorrendo ad una serie di manovre a secco.

[28] R. Lancellotta,*Geotecnica,* Zanichelli, Bologna, 2004

Figura 3.31 - Mezzo compatto con sonda carotatrice in avanzamento www.geosarda.it Ottobre 2011

Gli inconvenienti dovuti alla presenza del fluido possono essere minimizzati in altri tipi di terreno ricorrendo all'impiego del carotiere doppio, costituito da due pareti, delle quali, solo quella esterna ruota, mentre quella interna accoglie il materiale proteggendolo dall'azione dilavante del fluido. Un aspetto da tenere in considerazione riguarda la stabilizzazione delle pareti e del fondo del foro. In generale, se la perforazione è poco profonda ed è eseguita in terreni coesivi al disopra della falda, il foro risulta stabile. Altrimenti occorre intervenire o con il rivestimento del foro tramite l'infissione di una batteria di tubi di rivestimento, utile poi per eseguire prove di permeabilità o misure piezometriche, o con la stabilizzazione tramite un fango bentonitico mantenuto ad un livello superiore di quello della falda freatica.

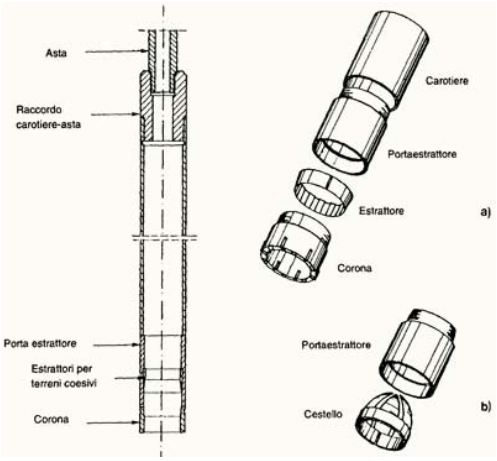


Figura 3.32 - Campionatore, sezione ed assonometria della parti principali della punta perforante. A. Galli, *Le prove in sito,* Politecnico di Milano, 2009

Figura 3.33 - Campioni di terreno estratti e depositati in sequenza in apposite cassette per catalogarli. A. Galli, *Le prove in sito,* Politecnico di Milano, 2009

3.6.1.2. Utilizzazione dei dati

I risultati delle indagini, e in particolare dei sondaggi, devono essere interpretati e sintetizzati in modo da fornire una rappresentazione delle formazioni indagate per quanto possibile chiara e dettagliata. A tale scopo è opportuno fare uso dei simboli e dei termini descrittivi consigliati nelle *Raccomandazioni AGI (Associazione Italiana Geotecnica), 1977* non riportate nel presente testo.

La prova oltre che restituire una sezione stratigrafica consente anche di avere un rilievo diretto del piano di falda. In fig. 3.36 è riportata una rielaborazione di una sezione stratigrafica tipo.

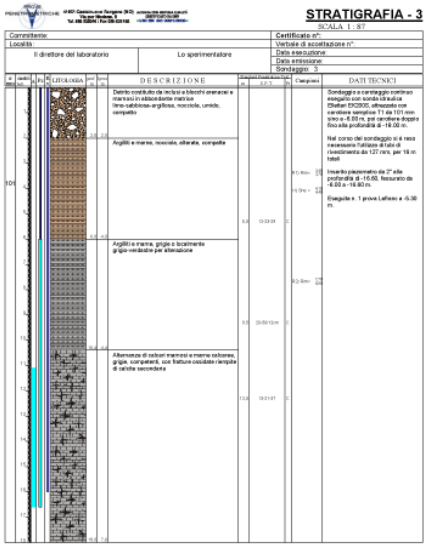


Figura 3.34 - Rielaborazione di una sezione stratigrafica. A. Galli, *Le prove in sito,* Politecnico di Milano, 2009

3.6.2. Prove penetrometriche statiche

Le prove penetrometriche statiche, anche note come CPT *(Cone Penetration Test),* sono prove nel corso delle quali si fa penetrare nel terreno una punta conica di caratteristiche normalizzate alla velocità costante di 20 mm/s. Il diametro della punta è di 35,7 mm, e l'angolo di apertura del cono è di 60°. Il manicotto, che segue la punta, ha una superficie laterale di 150 cm^2.

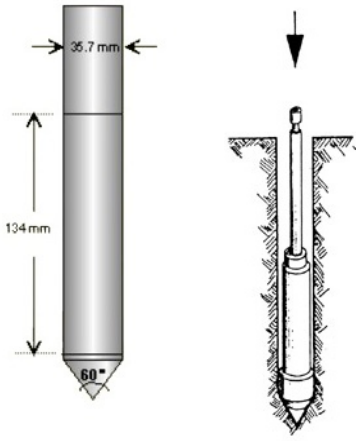


Fig.3.35 - Prova penetro metrica: punta conica dim. Standard a sinistra. Avanzamento punta e manicotto a destra.

Fig.3.36 - Prova penetro metrica: Mezzo compatto con punta conica in avanzamento tramite aste. Immagini tratte da A. Galli,*Le prove in sito,* Politecnico di Milano, 2009

3.6.3.1. Come si realizza la prova

Nei penetrometri meccanici, che utilizzano la spinta di un martinetto contrastata da un peso, solitamente un mezzo da cantiere, la punta conica è collegata a una batteria di aste, coassiali a una tubazione di rivestimento. In tal modo è possibile far avanzare per un tratto di 40 mm dapprima soltanto la punta, applicando la spinta alle aste interne. Successivamente viene agganciato il manicotto, e viene così misurata globalmente la resistenza all'avanzamento della punta e del manicotto. Infine la spinta viene applicata alle aste esterne facendo avanzare l'intero sistema, e il procedimento viene ripetuto ad intervalli di 200 mm. I risultati ottenuto in questa prova sono due: la resistenza all'avanzamento della punta q_c e la misura dell'attrito laterale f_s ottenuta sottraendo il valore della spinta applicata nel tratto precedente. La peculiarità del penetrometro statico è che la resistenza alla punta e la resistenza per attrito laterale non si riferiscano esattamente alla stessa profondità. Le prove penetrometriche statiche possono essere eseguite in tutti i tipi di terreno granulometricamente compresi tra le argille e le sabbie grosse, mentre la presenza di ghiaie e ciottoli, oltre a costituire un ostacolo, può danneggiare seriamente la punta. La profondità raggiungibile può superare i 40 m in argille tenere, ma oltre i 20 m possono già verificarsi deviazioni dalla verticale, per cui è facile introdurre errori nello stabilire esattamente la quota alla quale si effettua la misura di resistenza. È comunque possibile eseguire indagini profonde ricorrendo ai penetrometri elettrici che alloggiano nelle aste interne un inclinometro.

3.6.3.2. Utilizzazione dei dati

L'avanzamento della punta è fatto, come visto, in modo che si possano misurare separatamente q_c e f_s entrambe espresse con unità di misura della pressione del S.I. L'interpretazione dei dati può fornire anche la tipologia dei terreni attraversati e quindi la successione stratigrafica, ottenuta mediante abachi in cui q_c e f_s sono messi in relazione tra loro e i tipi di terreno.

Il valore del parametro f_s fornisce essenzialmente indicazioni circa la

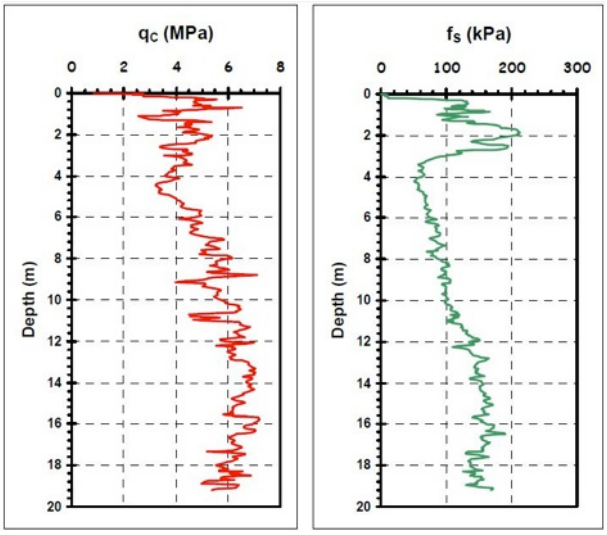


Fig.3.37 - Prova penetrometrica: Grafici della prova. A sinistra resistenza all'avanzamento della punta q_c; a destra misura dell'attrito laterale f_s. A. Galli, Le prove in sito, Politecnico di Milano, 2009

natura dei terreni, passando da valori bassi per terreni molto compressibili, argille organiche e torbe, a valori superiori per i terreni granulari, sabbie e ghiaie.

Anche l'andamento della resistenza alla punta q_c con la profondità, fornisce utili informazioni sulla natura dei terreni attraversati. I terreni granulari sono contraddistinti generalmente da valori elevati e fortemente variabili di q_c , mentre quelli coesivi da valori con andamento più continuo e comunque minori. Dal valore della resistenza alla punta q_c si possono ricavare alcuni parametri meccanici del terreno. In particolare, per terreni poco permeabili a grana fine, in cui il meccanismo di rottura dovuto alla penetrazione è certamente di tipo non drenato, si ricava il valore della resistenza non drenata $\boldsymbol{c_u = \frac{q_c - \sigma_v}{N_c}}$ dove σ_v è la tensione citostatica verticale totale alla profondità della punta, ed N_c è un coefficiente che in genere assume valori tra 15 e 25[29]. Nei terreni più permeabili non coesivi, dal valore della resistenza alla punta si può risalire con correlazioni empiriche al valore dell'angolo di attrito ϕ' una volta nota la tensione efficace σ_v utilizzando abachi dalla letteratura geotecnica[30].

3.7. Monitoraggio

Il monitoraggio è l'insieme dei controlli effettuati sulla struttura e dei dati raccolti nel tempo. Il monitoraggio strutturale consente il controllo dell'evoluzione del processo deformativo in modo continuo nel tempo, attraverso il rilievo dei movimenti globali della struttura e dei fenomeni di alterazione locale. La rete di strumentazione installata fornisce informazioni in tempo reale ed è collegata a una centralina di acquisizione dei dati ed, eventualmente, a sistemi di allarme in grado di segnalare tempestivamente situazioni di pericolo. In aggiunta è possibile installare dei dispositivi in grado di trasmettere in remoto un dato che sia così disponibile per elaborazioni senza la necessita di recarsi in sito.

In termini generali la tecnica di monitoraggio viene applicata per rilevare i seguenti parametri: lo stato termo-igrometrico sia dell'ambiente che della muratura, l'evoluzione del quadro fessurativo, i cedimenti differenziali, i cedimenti fondali, il livello idrico delle falde, la radiazione solare, la direzione e l'intensità del vento, lo stato di sollecitazione delle catene, gli effetti sismici, le vibrazione per traffico veicolare e qualsiasi altra analisi che possa essere inviata, sotto forma di dato numerico o grafico.

[29] A. Flora, *Introduzione alle indagini geotecniche,*Helvelius Edizioni, Benevento, 1996
[30] C. Viggiani C., *Fondazioni*, Cuen Editore, Napoli, 1993

3.7. Progetto della diagnostica per le Torri di Como

Le torri medievali di Como presentano problematiche diverse in funzione di quella che è la loro collocazione urbana e quelle che sono state le vicende storiche che le hanno caratterizzate.
Si propone un facile strumento di lettura che mette a sistema quelle che sono le prove proposte per ogni singola torre:

TIPO DI PROVA	T	G	V	P
Martinetti piatti – singoli e doppi	X	X	X	X
Sclerometrica	X	X	X	X
Carotaggio	X	X	X	X
Endoscopia	X	X	X	X
Georadar	X	X	X	X
Soniche - Tomografia	X	X	X	X
Inclinometro		X		X
Fessurimetro		X	X	X
Prova dinamica con accelerometri			X	X
Penetrometriche		X		
Carotaggio del terreno		X		

T = Porta Torre; G = Torre Gattoni; V = Torre San Vitale; P = Torre Pantera

In calce al testo, Allegato 3, sono proposte le schede redatte per ogni singola analisi che evidenziano la tipologia della prova, la descrizione dell'intervento, la localizzazione nell'edificio dei punti di prova, i tempi, i costi unitari e i principali risultati attesi.

3.8. Valutazione economica degli interventi

La tabella ripotata al paragrafo precedente descrive in modo sintetico quelli che sono gli interventi necessari da attuare, per quello che riguarda la diagnostica e il monitoraggio, sulle quattro torri oggetto di studio. Al fine di stabilire una priorità di intervento si sono suddivisi gli interventi in tre classi di importanza:

Classificazione delle priorità	
1	Prova da eseguire con primaria importanza
2	Prova da eseguire al fine di rendere completo il quadro conoscitivo dell'edificio
3	Prova da eseguire per un'approfondita conoscenza dell'edificio

Si propone di seguito la descrizione da capitolato delle prove da eseguire.

LAVORAZIONE	DESCRIZIONE	C.U.

Martinetti Piatti	Esecuzione di prove con martinetto piatto, finalizzate alla valutazione dei carichi effettivamente gravanti sul paramento murario preso in esame ed alla stima del modulo elastico del materiale, effettuando le misure nelle reali condizioni di normale esercizio del manufatto. La prova dovrà essere condotta procedendo all'asportazione di un giunto di malta con opportuna sega, effettuando un taglio perfettamente orizzontale, installando uno o più estensimetri di precisione in corrispondenza del taglio, per rilevare l'entità dei cedimenti verificatisi nella prima fase di assestamento, rispetto alla situazione rilevata con due punti fissi (basi di misura) rilevati prima dell'asportazione del giunto di malta, ed inserendo poi un martinetto sottile (piatto) nel taglio operato, onde ripristinare oleodinamicamente la situazione iniziale, annullando le deformazioni ed i cedimenti misurati. Si realizza un secondo taglio parallelo al precedente e si inserisce un secondo martinetto piatto, la prova diviene del tipo "martinetto doppio", dalla quale è possibile effettuare la stima del modulo elastico del paramento murario. E' compreso quanto altro occorre per dare i risultati delle prove completi. Il prezzo è riferito alla prova di martinetto piatto doppio eseguita.	€ 2.433,00
Sclerometria	Misura della durezza superficiale delle strutture in c.a. mediante sclerometro manuale o elettronico. Valutazione della resistenza caratteristica a compressione della roccia costituente le strutture a mezzo di prove di misura della durezza superficiale del getto mediante sclerometro manuale o elettronico, al fine di fornire la resistenza caratteristica come media di almeno 10 letture (o battute). E' compreso quanto altro occorre per dare i risultati della misurazione completi. Il prezzo è riferito a ciascuna battuta.	€ 1,50
Carotaggio	Valutazione della resistenza caratteristica a compressione della roccia mediante prove a schiacciamento di carote normalizzate del diametro mm 76 , prelevate direttamente in sito a mezzo opportuna carotatrice. Sono compresi: Il prelievo della carota; le prove di schiacciamento; l'elaborazione dei risultati di prova per la determinazione della resistenza del materiale. E' compreso quanto altro occorre per dare i risultati delle prove completi. Il prezzo si riferisce a ciascuna prova completa.	€ 213,18
Endoscopia	Esecuzione di indagini endoscopiche su murature di qualsivoglia natura e su strutture in muratura attraverso fori di diametro ridotto appositamente eseguiti o in lesioni e/o in cavità esistenti. Qualora non esistono lesioni o cavità la prova deve essere espletata praticando dei piccoli fori da eseguire con trapani a rotazione a basso numero di giri (per non indurre vibrazioni eccessive al paramento in esame). Nelle suddette lesioni, e/o cavità o fori si introduce un endoscopio, costituito nelle sue parti essenziali di un'asta con fibra ottica e di un aguida luce per l'illuminazione della parte presa in esame. Alla parte terminale può essere applicata sia una macchina fotografica reflex, sia una telecamera, per la documentazione dell'indagine. Devono essere rilevate le seguenti informazioni: - individuazione di cavità e vuoti eventualmente presenti; - morfologia e tipologia del paramento murario all'interno; - stato visibile di conservazione dei materiali; - presenza di eventuali anomalie localizzate nella tessitura muraria o nel getto di calcestruzzo. La prova deve essere documentata con idonea documentazione anche fotografica (ovvero con la stampa di alcuni fotogrammi se la ripresa è stata effettuata con una telecamera). E' compreso quanto altro occorre per dare i risultati dell'indagine completi. Il prezzo è riferito ad una singola indagine endoscopica in unico foro, con rilascio di n. 2 foto, compresa l'esecuzione eventuale del foro di ispezione se necessario.	€ 365,00
Georadar	Analisi con georadar su murature, attraverso il materiale costituente la struttura, al fine di determinare: presenza di difetti (microfessure, bolle d'aria, discontinuità, etc.), danni provocati dal gelo o incendio, inclusione di corpi estranei, resistenza a compressione, modulo elastico statico e dinamico, omogeneità del materiale. E' compreso l'elaborazione dei dati. Il prezzo è riferito a 1 m^2.	€ 45,00
Soniche - Tomografia	Misura della velocità delle onde ultrasoniche su murature, attraverso il materiale costituente la struttura, al fine di determinare: presenza di difetti (microfessure, bolle d'aria, discontinuità, etc.), danni provocati dal gelo o incendio, inclusione di corpi estranei, resistenza a compressione, modulo elastico statico e dinamico, omogeneità del materiale. E' compreso quanto altro occorre alla rielaborazione dei dati. Il prezzo è riferito a 1 m^2.	€ 15,00
Inclinometro	Posizionamento di estensimetri elettrici potenziometrici lineari con corsa pari a 25 mm (+/- 12,5 mm) a risoluzione centesimale resi solidali alla muratura attraverso due barrette filettate di diametro 5mm.	€ 123,33
Fessurimetro	Posizionamento di inclinometro biassiale elettrico posizionato su staffa metallica ben collegata alla muratura tramite barre filettate di diametro 5 mm.	€ 98,33
Prova dinamica	Analisi dinamiche di elementi strutturali, verificati con eccitazione impulsiva naturale, con rilievo dell'oscillazione mediante accellerometri o sismometri di sensibilità adeguata alla frequenza propria dell'elemento in prova. E' compresa l'elaborazione dei dati rilevati in termini di spostamento, velocità, accellerazione e spettro di risposta. E' compreso quanto altro occorre per dare i risultati delle analisi completi.	€ 730,32
Penetrometriche	Prove penetrometriche statiche con penetrometro Olandese della capacità di 10 t, con lettura dello sforzo di penetrazione alla punta e dell'attrito laterale ogni 20 cm	€ 45,00
Carotaggio terreno	Perforazione a rotazione a distruzione di nucleo, diametro da 85 a 145 mm, in terreni sciolti a granulometria fine e media, anche in presenza di ciottoli ed in rocce di media durezza, con esclusione di impiego di corone diamantate.	€ 80,00

3.8.1. Porta Torre

Si popone il computo metrico, con differenziazione delle lavorazioni in funzione della priorità, relativo alle prove da eseguire presso Porta Torre:

LAVORAZIONE	DESCRIZIONE	C.U.	U.M.	Q.tà	C.T.	Priorità
Martinetti Piatti (1)	Esecuzione di martinetti piatti come da capitolato.	€ 2.433,00	Cad.	3	€ 7.299,00	1
Sclerometria (1)	Esecuzione della prova sclerometrica su roccia come da capitolato.	€ 1,50	Cad.	468	€ 702,00	3
Carotaggio (1)	Esecuzione del carotaggio nel paramento murario come da capitolato.	€ 213,18	Cad.	6	€ 1.279,08	1
Endoscopia (1)	Esecuzione dell'endoscopia nel paramento murario come da capitolato.	€ 365,00	Cad.	6	€ 2.190,00	1
Georadar (2)	Esecuzione del georadar come da capitolato.	€ 45,00	m^2	47	€ 2.115,00	3
Soniche - Tomografia (2)	Esecuzione della prova tomografica come da capitolato.	€ 15,00	Cad.	468	€ 7.020,00	2
		Totale			€ 20.605,08	

Di seguito si scompone il costo totale in funzione della priorità:

Priorità	1	Prova da eseguire con primaria importanza	€ 10.768,08
	2	Prova da eseguire al fine di rendere completo il quadro conoscitivo dell'edificio	€ 7.020,00
	3	Prova da eseguire per un'approfondita conoscenza dell'edificio	€ 2.817,00

Fonti	
(1)	Listino dei prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni del comune di Milano 1 Gennaio 2009
(2)	4EMME Service Spa. via L. Zuegg 20 - Bolzano

3.8.2. Torre Gattoni

Si popone il computo metrico, con differenziazione delle lavorazioni in funzione della priorità, relativo alle prove da eseguire presso Torre Gattoni:

COD. LAVORAZIONE	DESCRIZIONE	C.U.	U.M.	Q.tà	C.T.	Priorità
Martinetti Piatti (1)	Esecuzione di martinetti piatti come da capitolato.	€ 2.433,00	Cad.	3	€ 7.299,00	1
Sclerometria (1)	Esecuzione della prova sclerometrica su roccia come da capitolato.	€ 1,50	Cad.	482	€ 723,00	3
Carotaggio (1)	Esecuzione del carotaggio nel paramento murario come da capitolato.	€ 213,18	Cad.	6	€ 1.279,08	1
Endoscopia (1)	Esecuzione dell'endoscopia nel paramento murario come da capitolato.	€ 365,00	Cad.	6	€ 2.190,00	1
Georadar (2)	Esecuzione del georadar come da capitolato.	€ 45,00	m^2	50	€ 2.250,00	3
Soniche - Tomografia (2)	Esecuzione della prova tomografica come da capitolato.	€ 15,00	Cad.	482	€ 7.230,00	2
Inclinometro (3)	Installazione di inclinometri come da capitolato.	€ 123,33	Cad.	9	€ 1.110,00	1
Fessurimetro (3)	Installazione di fessurimetri come da capitolato.	€ 98,33	Cad.	30	€ 2.950,00	1

Prova dinamica (1)	Esecuzione di prova dinamica come da capitolato.	€ 730,32	Cad.	2	€ 1.460,64	2
Penetrometriche (1)	Esecuzione della prova penetrometrica nel terreno come da capitolato.	€ 45,00	m	20	€ 900,00	1
Carotaggio terreno (1)	Esecuzione di carotaggio nel terreno come da capitolato.	€ 80,00	m	20	€ 1.600,00	3
		Totale			€ 28.991,72	

Di seguito si scompone il costo totale in funzione della priorità:

Priorità	1	Prova da eseguire con primaria importanza	€ 15.728,08
	2	Prova da eseguire al fine di rendere completo il quadro conoscitivo dell'edificio	€ 8.690,64
	3	Prova da eseguire per un'approfondita conoscenza dell'edificio	€ 4.573,00

Fonti	
(1)	Listino dei prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni del comune di Milano 1 Gennaio 2009
(2)	4EMME Service Spa. via L. Zuegg 20 - Bolzano
(3)	Anselmo Pulcini - Ismes Spa Viale G. Cesare 29 - Bergamo

3.8.3. Torre San Vitale

Si popone il computo metrico, con differenziazione delle lavorazioni in funzione della priorità, relativo alle prove da eseguire presso Torre San Vitale:

COD. LAVORAZIONE	DESCRIZIONE	C.U.	U.M.	Q.tà	C.T.	Priorità
Martinetti Piatti (1)	Esecuzione di martinetti piatti come da capitolato.	€ 2.433,00	Cad.	3	€ 7.299,00	1
Sclerometria (1)	Esecuzione della prova sclerometrica su roccia come da capitolato.	€ 1,50	Cad.	381	€ 571,50	3
Carotaggio (1)	Esecuzione del carotaggio nel paramento murario come da capitolato.	€ 213,18	Cad.	6	€ 1.279,08	1
Endoscopia (1)	Esecuzione dell'endoscopia nel paramento murario come da capitolato.	€ 365,00	Cad.	6	€ 2.190,00	1
Georadar (2)	Esecuzione del georadar come da capitolato.	€ 45,00	m^2	64	€ 2.880,00	3
Soniche - Tomografia (2)	Esecuzione della prova tomografica come da capitolato.	€ 15,00	Cad.	381	€ 5.715,00	2
Fesurimetro (3)	Installazione di fessurimetri come da capitolato.	€ 98,33	Cad.	30	€ 2.950,00	1
Prova dinamica (1)	Esecuzione di prova dinamica come da capitolato.	€ 730,32	Cad.	2	€ 1.460,64	2
		Totale			€ 24.345,22	

Di seguito si scompone il costo totale in funzione della priorità:

Priorità	1	Prova da eseguire con primaria importanza	€ 13.718,08

	2	Prova da eseguire al fine di rendere completo il quadro conoscitivo dell'edificio	€ 7.175,64
	3	Prova da eseguire per un'approfondita conoscenza dell'edificio	€ 3.451,50

Fonti	
(1)	Listino dei prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni del comune di Milano 1 Gennaio 2009
(2)	4EMME Service Spa. via L. Zuegg 20 - Bolzano

3.8.4. Torre Pantera

Si popone il computo metrico, con differenziazione delle lavorazioni in funzione della priorità, relativo alle prove da eseguire presso Torre Pantera:

COD. LAVORAZIONE	DESCRIZIONE	C.U.	U.M.	Q.tà	C.T.	Priorità
Martinetti Piatti (1)	Esecuzione di martinetti piatti come da capitolato.	€ 2.433,00	Cad.	4	€ 9.732,00	1
Sclerometria (1)	Esecuzione della prova sclerometrica su roccia come da capitolato.	€ 1,50	Cad.	366	€ 549,00	3
Carotaggio (1)	Esecuzione del carotaggio nel paramento murario come da capitolato.	€ 213,18	Cad.	7	€ 1.492,26	1
Endoscopia (1)	Esecuzione dell'endoscopia nel paramento murario come da capitolato.	€ 365,00	Cad.	7	€ 2.555,00	1
Georadar (2)	Esecuzione del georadar come da capitolato.	€ 45,00	m^2	36	€ 1.620,00	3
Soniche - Tomografia (2)	Esecuzione della prova tomografica come da capitolato.	€ 15,00	Cad.	366	€ 5.490,00	2
Inclinometro (3)	Installazione di inclinometri come da capitolato.	€ 123,33	Cad.	3	€ 370,00	1
Fesurimetro (3)	Installazione di fessurimetri come da capitolato.	€ 98,33	Cad.	40	€ 3.933,33	1
Prova dinamica (1)	Esecuzione di prova dinamica come da capitolato.	€ 730,32	Cad.	2	€ 1.460,64	2
		Totale			€ 27.202,23	

Di seguito si scompone il costo totale in funzione della priorità:

Priorità	1	Prova da eseguire con primaria importanza	€ 18.082,59
	2	Prova da eseguire al fine di rendere completo il quadro conoscitivo dell'edificio	€ 6.950,64
	3	Prova da eseguire per un'approfondita conoscenza dell'edificio	€ 2.169,00

Fonti	
(1)	Listino dei prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni del comune di Milano 1 Gennaio 2009
(2)	4EMME Service Spa. via L. Zuegg 20 - Bolzano
(3)	Anselmo Pulcini - Ismes Spa Viale G. Cesare 29 - Bergamo

3.8.5. Importo complessivo degli interventi

Le operazioni proposte, suddivise per priorità, richiedono un intervento economico da parte dell'Ente Pubblico quantificato nella tabella che segue:

Priorità	1	Prova da eseguire con primaria importanza	€ 58.297
	2	Prova da eseguire al fine di rendere completo il quadro conoscitivo dell'edificio	€ 29.837
	3	Prova da eseguire per un'approfondita conoscenza dell'edificio	€ 13.011

Per una spesa complessiva di 101.144,25 €

4.

Progetto di manutenzione straordinaria e programmata

4. Progetto di manutenzione straordinaria e programmata

4.1. Stato attuale: valutazione della conservazione del bene

Nel rilievo complessivo degli edifici oggetto dell'elaborato è necessario procedere con una valutazione delle prestazioni residue, in modo tale da completare il quadro delle conoscenze. Questa verifica può essere effettuata creando una scheda che consenta di sintetizzare le informazioni relative allo stato attuale, e un documento che sia invece utile al controllo periodico. La scheda proposta è strutturata in modo tale da consentire un'analisi veloce e un confronto rapido tra le diverse Torri della Città di Como e contiene sostanzialmente le informazioni alla sicurezza dello stabile, che, in funzione di determinati agenti che originano rischi, definiscono lo stato di conservazione della Torre e quelle riferite alla sicurezza e fruibilità, che, in funzione di determinati agenti, definiscono le conseguenze per l'utenza.

1.1 *SCHEDA DI VALUTAZIONE CONSERVAZIONE DEL BENE*

CONSERVAZIONEDELLO STABILE		PORTA TORRE		GATTONI		SAN VITALE		TORRE PANTERA	
CAUSA	EFFETTI, DEGRADI, RISCHI	PROBLEMATICA POTENZAIALE	PROBLEMATICA AVVENUTA	PROBLEMATICA POTENZAIALE	PROBLEMATICA AVVENUTA	PROBLEMATICA POTENZAIALE	PROBLEMATICA AVVENUTA	PROBLEMATICA POTENZAIALE	PROBLEMATICA AVVENUTA
Pioggia	Infiltrazioni	X	X	X	X	X	X	X	X
	Percolamenti	X	X	X	X	X	X	X	X
Vento	Distacco di Pietre	X	X	X	X	X	X	X	X
	Caduta di elementi dall'alto	X		X		X		X	X
Incustodia	Presenza di vegetazione	X	X	X	X	X	X	X	X
	Intrusione persone	-	-			X		X	X
	Degrado antropico	X	X	X		X	X	X	X
Inquinamento	Patine	X	X	X	X	X	X	X	X
Vibrazioni Traffico urbano	Fessure	X	X	X	X	X	X	X	X
Vibrazioni Traffico pesanti	Fessure					X	X	X	X
Fauna	Macchie	X	X	X		X	X	X	X
Inaccessibilità degli operatori	Assenza di manutenzione	X	X		X	X		X	

Nota: (x) dato rilevante; (-) dato non significativo

Nella scheda sopra riportata è stata espressa una sintesi delle cause principali che possono generare effetti indesiderati nei confronti dello stabile e dell'utenza. Per *problematica potenziale* si intende che la torre in oggetto è esposta alla manifestazione degli effetti, degradi e rischi in funzione della causa esplicitata; per *problematica avvenuta* si intende che la torre ne ha già subito le conseguenze. È improprio parlare di prestazioni residue, perché il dato fornito è qualitativo e soprattutto le classi di esigenze, a cui fare riferimento per un bene monumentale di questo tipo, sono state limitate e adattate.

Sono da considerare *utenti* le persone che transitano in prossimità del monumento poiché allo stato attuale nelle torri non sono svolte alcune funzioni.

Di seguito si entra nel merito della spiegazione delle schede precedenti e vengono illustratii rischi connessi alla non manutenzione.

4.1.1. Porta Torre

Porta Torre risulta esposta al rischio di disgregazione del paramento murario del coronamento, per infiltrazioni d'acqua, a causa del degrado dello strato di tenuta costituito semplicemente da pietre disposte orizzontalmente sulla sommità dei muri, figura 4.1, che nel tempo hanno subito deterioramenti per l'esposizione a cicli di gelo e disgelo. Si dovrebbe procedere con un'analisi dettagliata di questi elementi lapidei e successivamente intervenire con l'integrazione di uno strato di tenuta più performante.

Figura 4.1 – Porta Torre: Degrado del coronamento visto nell'angolo tra il prospetto interno nord ed est. Settembre 2011

L'assenza di elementi rompi goccia in sommità e la presenza delle riseghe sui prospetti, concorrono a creare sui prospetti della Torre dei percolamenti di acqua che nel tempo tendono a sporcare la facciata, figura 4.2, e l'intradosso dei fornici, con fenomeni di efflorescenze e concrezioni. L'esposizione a tale rischio potrebbe essere risolta con l'inserimento di elementi di raccolta, quali canali e pluviali, che tuttavia risulterebbero troppo impattanti sul bene monumentale. Di conseguenza l'esposizione

a tale rischio è difficilmente risolvibile e la strategia è quella della manutenzione programmata, e in particolare una pulizia periodica delle facciate.

Gli elementi lapidei che costituiscono la parte superiore della torre presentano un quadro fessurativo diffuso nei giunti di malta che legano le pietre. Tale degrado, legato alla presenza del vento, d'intensità maggiore alla quota di sommità, 34.00 m, ha generato un distacco e una conseguente caduta di elementi lapidei o parte di essi, com'è evidenziato nel rilievo delle patologie di degrado riportate nel secondo capitolo, che potrà ripetersi anche in seguito. L'esposizione a tale rischio è legato all'assenza di una manutenzione periodica di ristilatura dei giunti.

L'umidità che ristagna sulle pareti interne della Torre concorre a creare un terreno fertile per la vegetazione, figura 4.1. L'esposizione a tale rischio è legato all'assenza di una manutenzione periodica di estirpazione della vegetazione che dovrebbe essere svolta regolarmente con cadenza annuale.

Figura 4.2 – Porta Torre: Prospetto est; diffusione di patine e percolamenti. Settembre 2011

Porta Torre non presenta invece rischi legati all'intrusione poiché a livello terra è aperta su due lati e il passaggio attraverso i fornici, che si aprono sui fronti nord e sud, è un percorso pubblico. L'incustodia tuttavia genera un certo degrado antropico, che però non risulta legato soltanto a tale ragione. La Torre si trova in un contesto della città piuttosto trafficato: il prospetto sud si affaccia su Piazza Vittoria, crocevia di autobus e macchine; i prospetti est e ovest si affacciano sui Viali Cattaneo e Battisti, che tre volte a settimana accolgono il mercato cittadino e i camion che lo allestiscono; il prospetto nord, seppur rivolto verso una zona pedonale, si affaccia su una zona adoperata come posteggio dei motorini delle scuole adiacenti. La patina scura che ricopre parte delle facciate, figura 4.2, dovuta anche all'inquinamento, risulta evidente anche a occhio nudo e non presenta margini di miglioramento, dato lo scenario d'uso del contesto circostante. Una manutenzione periodica di pulizia delle facciate potrebbe rappresentare la soluzione al problema.

Analogo è il discorso delle vibrazioni indotte sulla struttura dal traffico urbano che, su un edificio a matrice fragile come le torri in pietra, possono generare l'apertura di fessure. L'esposizione a tale rischio non presenta margini di miglioramento, ma è possibile valutare un monitoraggio delle vibrazioni e delle fessure prodotte sulla struttura dal traffico urbano per un controllo costante.

La Torre risulta esposta al degrado generato dalla presenza di piccioni e colombe che sporcano i prospetti interni. È presente nella Torre un tentativo di soluzione al problema, risalente agli anni '60 e sostituito negli anni '80, costituito dall'installazione di reti in nylon che tamponano i fornici, impedendo così l'ingresso dei volatili all'interno. Tuttavia tali reti risultano ad oggi parzialmente stracciate e bucate, per cui la loro funzione è vanificata, figura 4.3. In questo caso la soluzione è legata ad un intervento di manutenzione straordinaria di sostituzione delle reti, che necessiterebbero poi di una verifica di integrità periodica.

Figura 4.3 – Porta Torre: Reti in nylon degradate tra i fornici del prospetto nord. Settembre 2011

La mancanza di accessi, scale e passerelle nella torre, ha come conseguenza la mancata manutenzione della stessa, a causa dell'irraggiungibilità degli operatori delle zone di sviluppo dei degradi. L'unica possibilità è quella di accedere con l'utilizzo di mezzi meccanici, quali piattaforme aeree, operazione che risulta molto costosa. Una strategia da percorrere potrebbe essere quella di un intervento di rifunzionalizzazione che preveda un'accessibilità per gli operatori, come ad esempio delle passerelle fisse o delle strutture di ancoraggio per passerelle mobili.

Per quanto riguarda la sicurezza degli utenti, la caduta dall'alto di elementi lapidei sconnessi, causata da raffiche di vento, rappresenta un rischio reale la cui responsabilità ricade direttamente sul proprietario dello stabile, Comune di Como, o chi ne ha delega di gestione, Ufficio Tecnico. La strategia d'intervento è quella precedentemente illustrata.

4.1.2. Torre Gattoni

Torre Gattoni presenta una copertura costituita da una volta a botte in mattoni, figura 4.10, con uno strato di tenuta costituito da un impermeabilizzazione in asfalto colato, che nel tempo ha subito degradi per l'esposizione a cicli di gelo e disgelo nonché per la crescita di vegetazione. Le informazioni pervenute riguardano il sopralluogo effettuato da un tecnico incaricato dalla ditta Mantero nell'estate del 2011 riferiscono di alcune aperture nello strato di tenuta per effetto della crescita di un pianta di fico sulla sommità dellaTtorre, figura 4.4, pianta che è poi stata estirpata in quell'occasione.

Figura 4.4 – Torre Gattoni: Copertura. Presenza biologica di ficus carica, estirpata nell'estate del 2011, Sopralluogo Mantero 2011

Figura 4.5 – Torre Gattoni: Punto di raccolta delle acque in copertura, Sopralluogo Mantero 2011

Il danno non è stato riparato ma è stata posta soltanto una pietra a protezione del foro, pertanto l'esposizione al rischio di infiltrazioni è evidente. La copertura presenta una conformazione pendente verso uno spigolo del perimetro interno e convergente ad un punto di raccolta, figura 4.5, che entra poi nella Torre, figura 4.10, e scarica esternamente figura 4.6. L'esposizione al rischio infiltrazioni in copertura è evidente; unica possibilità è quella di eseguire un intervento di manutenzione straordinaria che consiste nell'eliminazione della vegetazione con prodotti biocidi appositi e la creazione di una nuova impermeabilizzazione. Bisogna

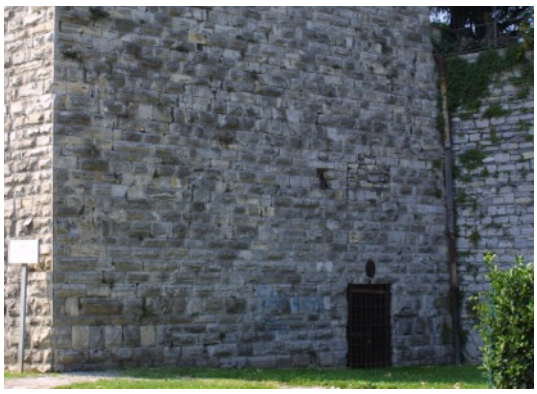


Figura 4.6 – Torre Gattoni: Pluviale di scarico delle acque raccolte in copertura addossato allo spigolo tra torre e mura. Settembre 2011

inoltre prevedere l'inserimento di un bocchettone per la protezione del punto di raccolta dall'intasamento di foglie.

La pendenza della chiusura superiore e la raccolta delle acque ha solo il vantaggio di non produrre percolamenti sulla facciata che tuttavia si concretizzano ugualmente per la presenza di riseghe su alcuni prospetti, figura 4.7. L'esposizione a tale rischio è difficilmente risolvibile e la strategia è quella della manutenzione programmata, e in particolare una pulizia periodica delle facciate. La presenza della vegetazione è diffusa sulle parti superiori di tutti i prospetti.

Figura 4.7 – Torre Gattoni: Foto raddrizzamento del prospetto ovest, presenza di vegetazione e percolamenti sotto riseghe. Settembre 2011

In sommità, esternamente, la Gattoni presenta un quadro fessurativo diffuso nei giunti di malta che legano le pietre, le quali risultano quindi particolarmente sconnesse, con anche la presenza di alcuni rigonfiamenti. Tale degrado, legato alla presenza di vento, d'intensità maggiore alla quota di sommità 28.00 m, ha generato un distacco e una conseguente caduta di elementi lapidei o parte di essi, com'è evidenziato nel rilievo delle patologie di degrado riportate nei paragrafi precedenti, che potrà ripetersi anche in seguito.

Figura 4.8 – Torre Gattoni: Fessurazioni e rigonfiamenti legati alla presenza di vegetazione, lo foto si riferisce al punto dove è stato estirpato il *ficus carica* di fig. 4.4. Settembre 2011

L'esposizione a tale rischio è legato all'assenza di una manutenzione periodica di ristilatura dei giunti.

La presenza di un fico in copertura e di piccola vegetazione diffusa che trova terreno fertile tra i giunti delle pietre sulla sommità dei prospetti è legata all'assenza di una manutenzione periodica di estirpazione della vegetazione, che dovrebbe essere svolta regolarmente con cadenza annuale. Il rigonfiamento visibile in figura 4.8 è legato al radicamento del fico di figura 4.4 estirpato nell'estate 2011.

Torre Gattoni presenta invece rischi legati all'intrusione a livello terra dove, sulla porta di accesso al locale, un tempo centralina elettrica, ora in disuso, si trova un cancello metallico, figura 4.6, che vieta l'accesso alle persone ma che tuttavia non impedisce l'accesso a piccoli animali. In prossimità di quell'accesso il degrado antropico è legato alla presenza del giardino pubblico e all'incuria dei proprietari di cani.

La Gattoni si trova in un contesto della città piuttosto trafficato corrispondente all'angolo tra Viale Varese e Viale Cattaneo. La patina scura che ricopre parte delle facciate, dovuta anche all'inquinamento, risulta evidente anche a occhio nudo e non presenta margini di miglioramento, dato lo scenario d'uso del contesto circostante. Una manutenzione periodica di pulizia delle facciate potrebbe rappresentare la soluzione al problema. Il problema del traffico si ripercuote anche come vibrazioni indotte sullo stabile che possono generare fessurazioni.

La Torre risulta esposta al degrado generato dalla presenza di piccioni e colombe che sporcano i prospetti esterni e inoltre possono penetrare nel vano superiore per la presenza di alcune feritoie e fornici figura 4.10. È presente nella Torre un tentativo di soluzione al problema, realizzato dalla ditta Mantero, che consiste nell'inserimento di

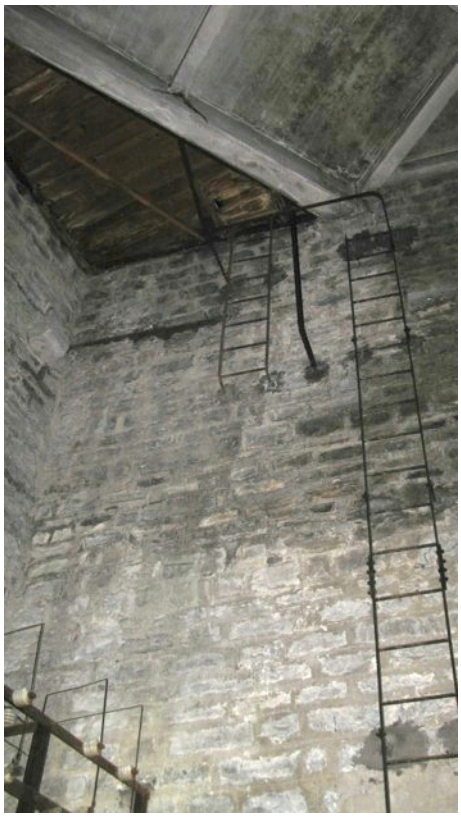


Figura 4.9 – Torre Gattoni: Scala murata di connessione tra il livello terra e il locale alla quota del giardino pensile. La botola è tuttavia coperta da un massetto. Settembre 2011

cuscini di gomma piuma a chiusura delle feritoie, e reti a chiusura dei fornici. Tale intervento è tuttavia realizzato con materiale poco pregevole e degradato che peggiora l'estetica dell'edificio, pertanto necessiterebbe una sostituzione con un materiale apposito.

Per quanto riguarda la possibilità di eseguire manutenzione, la Torre presenta due accessi, uno a livello terra e uno a livello delle mura. I due livelli sono collegati da una connessione verticale, posta a parete, attualmente non utilizzabile, figura 4.9, poiché la botola è stata coperta da un massetto pendente. Dal livello superiore è possibile accedere alla copertura da una scala murata.

Figura 4.10 - Torre Gattoni - Prospetto interno nord: portone di accesso dal giardino della ditta Mantero; scala murata; fornici aperti, pluviale di raccolta acque della copertura, volta a botte con rete di protezione anticaduta elementi. Settembre 2011

Al piano terra, come già illustrato, è presente un cancello, le cui chiavi sono conservate dai guardiani del Museo Civico; al piano superiore è presente un portone di accesso dal giardino privato della ditta Mantero, figura 4.10, che detiene l'uso di quegli spazi per adiacenza di proprietà. In questo vano è presente anche una scala a pioli, figura 4.10, che consente di raggiungere la copertura della Torre. Pertanto la Torre è facilmente accessibile dagli operatori per gli interventi di manutenzione interna e sulla copertura senza l'impiego di mezzi meccanici e costosi, anche se risulta necessario l'impiego di un trabattello per raggiungere tutti i punti delle facciate interne.

Per quanto riguarda la sicurezza degli utenti, la caduta dall'alto di elementi lapidei sconnessi, causata da raffiche di vento, rappresenta un rischio reale la cui responsabilità ricade direttamente sul proprietario dello stabile, Comune di Como, o chi ne ha delega di gestione, Ufficio Tecnico. La strategia d'intervento è quella precedentemente illustrata.

4.1.3. Torre San Vitale

Torre San Vitale risulta esposta al rischio di disgregazione del paramento murario del coronamento, per infiltrazioni d'acqua a causa del degrado dello strato di tenuta costituito da pietre inclinate disposte sulla sommità dei muri, figure 4.11, 4.12, 4.13, che nel tempo hanno subito deterioramenti per l'esposizione a cicli di gelo e disgelo.

Si dovrebbe procedere con un'analisi dettagliata di questi elementi lapidei e successivamente intervenire con l'integrazione di uno strato di tenuta più performante.

Una strategia di intervento più consistente è costituita dall'inserimento di una copertura ora assente che risolverebbe sia le infiltrazioni nelle murature che logicamente quelle dentro la torre stessa.

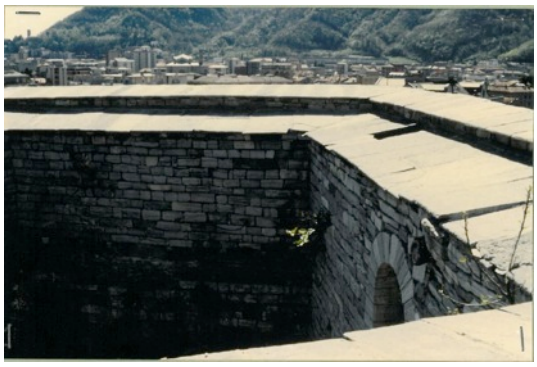


Figura 4.11 - Torre San Vitale: Coronamento realizzato con pietre inclinate verso l'interno della torre. Rilievo Ufficio Tecnico 1990

Figura 4.12 - Torre San Vitale: Rigonfiamento delle pietre in sommità, fessurazioni e distacchi. Settembre 2011

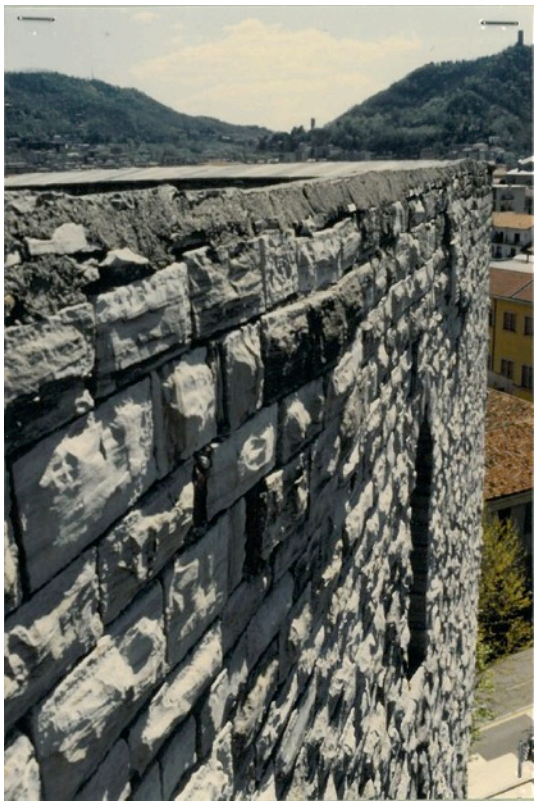


Figura 4.13 - Torre San Vitale: Rigonfiamento delle pietre in sommità, e degrado del coronamento. Rilievo Ufficio Tecnico 1990

L'assenza di elementi rompi goccia in sommità e la presenza delle riseghe sui prospetti, concorrono a creare sui prospetti della Torre dei percolamenti di acqua che nel tempo tendono a sporcare la facciata e l'intradosso dei fornici, con fenomeni di efflorescenze e

concrezioni. L'esposizione a tale rischio potrebbe essere risolta con l'inserimento di elementi di raccolta, quali canali e pluviali, che per questa Torre potrebbero trovare alloggio internamente senza risultare eccessivamente impattanti. L'esposizione a tale rischio è risolvibile anch'essa con l'inserimento di una copertura in collaborazione con un intervento di manutenzione programmata di pulizia periodica delle facciate.

Gli elementi lapidei che costituiscono la parte superiore della torre presentano un quadro fessurativo diffuso nei giunti di malta che legano le pietre, figura 4.12. Tale degrado, legato alla presenza del vento, d'intensità maggiore alla quota di sommità, 34.00 m, ha generato un distacco e una conseguente caduta di elementi lapidei o parte di essi, com'è evidenziato nel rilievo delle patologie di degrado riportate nei paragrafi precedenti, che potrà ripetersi anche in seguito. L'esposizione a tale rischio è legato all'assenza di una manutenzione periodica di ristilatura dei giunti.

Torre San Vitale presenta una notevole diffusione di vegetazione sul prospetto nord che affaccia su Via Balestra figura 4.14, in particolare sopra le mura che si innestano nella torre crescono piante rampicanti e arbusti che si inerpicano fino all'altezza del primo fornice entrando poi nella torre.

Questa presenza, insieme alla piccola vegetazione diffusa che trova terreno fertile tra i giunti delle pietre sulla sommità dei prospetti è legata all'assenza di una manutenzione periodica di estirpazione della vegetazione, che dovrebbe essere svolta regolarmente con cadenza annuale.

Figura 4.14 - Torre San Vitale: Prospetto su Via Balestra con presenza di vegetazione e punto di raccolta rifiuti urbani; Prospetto su Via Nazario Sauro con patine. Settembre 2011

Torre San Vitale non presenta rischi legati all'intrusione poiché è inaccessibile, e tale aspetto si traduce in un impossibilità di avvicinamento da parte di operatori per eseguire opere di manutenzione. L'unica possibilità è quella di accedere

con l'utilizzo di mezzi meccanici, quali piattaforme aeree, attraverso le aperture su Via Balestra figura 4.14, operazione che risulta molto costosa. La presenza del camminamento sulle mura rappresenta una possibile via d'accesso, ma che tuttavia dovrebbe essere integrata con passerelle e scale di accesso. Il degrado antropico è legato alla presenza di un contenitore per la raccolta dei vetri nell'angolo dove si innestano le mura in Via Balestra, che produce molta umidità e cattivo odore. La strategia dovrebbe essere quella di allontanare la raccolta dei rifiuti dal bene monumentale. La Torre si trova nell'angolo tra Via Battisti e Via Nazario Sauro, in un contesto della città piuttosto trafficato dove transitano mezzi pesanti come pullman di linea, a pochi m dalla torre, e i treni della Ferrovie Nord Milano a soli 7 m di distanza, figura 4.15. Le vibrazioni indotte sulla struttura dal traffico urbano sono molto rilevanti possono generare l'apertura di fessure. L'esposizione a tale rischio non presenta margini di miglioramento, ma è possibile valutare un monitoraggio delle vibrazioni e delle fessure prodotte sulla struttura dal traffico urbano per un controllo costante.

Figura 4.15 - Torre San Vitale: Vicinanza con strada trafficata da autobus e linea ferroviaria FNM sulla sinistra. Settembre 2011

Un tentativo in questo senso è già stato effettuato in passato con l'inserimento di piccoli fessurimetri a vetrino o a catenella posti in corrispondenza di fessure presenti nella Torre in prossimità del lato ferrovia. I fessurimetri di vetro non forniscono alcun dato significativo perché allo stato attuale sono rotti e non è possibile datarne la rottura e il cinematismo. Per quello che riguarda i fessurimetri a catena, non è più disponibile lo strumento di misura. La patina scura che ricopre parte delle facciate, dovuta all'effetto combinato del percolamento d'acqua piovana e dell'inquinamento atmosferico circostante, risulta evidente anche a occhio nudo, figura 4.15, e non presenta margini di miglioramento. Una manutenzione periodica di pulizia delle facciate potrebbe rappresentare la soluzione al problema. La San Vitale risulta esposta al degrado generato dalla presenza di piccioni e colombe che sporcano i prospetti interni entrando dalle aperture presenti su Via Balestra, figura 4.14. In questo caso la soluzione

è legata ad un intervento di manutenzione straordinaria di inserimento di reti in nylon, che necessiterebbero poi di una verifica di integrità periodica.

La mancanza di accessi, scale e passerelle nella torre, ha come conseguenza la mancata manutenzione della stessa, a causa dell'irraggiungibilità degli operatori delle zone di sviluppo dei degradi se non quelli in prossimità del camminamento delle mura. L'unica possibilità è quella di accedere con l'utilizzo di mezzi meccanici, quali piattaforme aeree, operazione che risulta molto costosa. Una strategia da percorrere potrebbe essere quella di un intervento di rifunzionalizzazione che preveda anche un'accessibilità per gli operatori, ad esempio creando un collegamento dalle mura su Via Balestra figura 4.14.

Per quanto riguarda la sicurezza degli utenti, come ad esempio gli addetti al mercato che viene allestito 3 volte a settimana ai piedi della Torre o le persone che transitano da e per il centro attraverso Via Balestra, la caduta dall'alto di elementi lapidei sconnessi, figura 4.12, causata da raffiche di vento, rappresenta un rischio reale la cui responsabilità ricade direttamente sul proprietario dello stabile, Comune di Como, o chi ne ha delega di gestione, Ufficio Tecnico. La strategia d'intervento è quella precedentemente illustrata.

4.1.4. Torre Pantera

Torre Pantera presenta crescita di vegetazione limitatamente all'angolo inferiore tra Via Rodari e Piazza Verdi visibile in fig 4.18. Risulta degradato e infestato di vegetazione il contesto circostante del giardino di pertinenza.

La Torre non presenta potenziali rischi di intrusione poiché il giardino di pertinenza adiacente (fig. 4.18) è chiuso con catena e le chiavi sono in possesso dell'Ufficio Tecnico di competenza. Anche dalle finestre verso Via Rodari tale rischio è impedito dalla presenza di inferiate.

L'attuale presenza del ponteggio risulta un potenziale collegamento per introdursi illecitamente nella struttura, figura 4.18.

La Torre Pantera presenta una vano scale interno, figura 4.20, che giace in una condizione di degrado notevole, fessure passanti diffuse e deformazioni importanti delle rampe, tanto da essere puntellato

Figura 4.16 - Torre Pantera: Crollo della copertura su Via Rodari per una forte bufera avvenuto alle ore 8.30 del 25 Ottobre 2010

con una struttura in legno presente da almeno 30 anni.

È potenzialmente accessibile nella sua totalità internamente solo a seguito del consolidamento

strutturale della scala. Pertanto nella condizione attuale è inaccessibile ad una potenziale utenza, mentre risulta accessibile ad operatori, per la presenza del ponteggio.

Per quanto riguarda la sicurezza degli utenti, la caduta dall'alto di elementi lapidei sconnessi, causata da raffiche di vento, rappresenta un rischio reale la cui responsabilità ricade direttamente sul proprietario dello stabile, Comune di Como, o chi ne ha delega di gestione, Ufficio Tecnico. Allo stato attuale tuttavia e presente un ponteggio con mantovane, figura 4.18, che potrebbe risultare un elemento di protezione contro la caduta di grossi elementi lapidei dall'alto. La strategia d'intervento in ogni caso è quella precedentemente illustrata, di ripristino della copertura.

La presenza attuale del ponteggio tuttavia costituisce una presenza problematica per il transito dei pedoni in corrispondenza del marciapiede ma si presuppone che sia un presenza temporanea, figura 4.18.

Figura 4.17 - Torre Pantera: Stato di degrado del coronamento con presenza di pietre distaccate.Ottobre 2010

Figura 4.18 - Torre Pantera: Realizzazione del ponteggio in seguito al crollo. Su Via Rodari: finestre con inferiate. Sulla destra: cancello d'ingresso agli spazi di pertinenza della torre e alla centrale termica del Duomo. Ottobre 2010

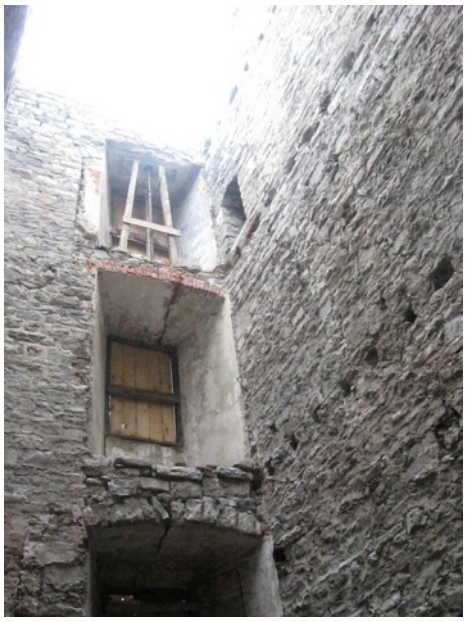


Figura 4.19 - Torre Pantera: Ambiente interno a cielo aperto; presenza di buche pontaie; fessure diffuse a tutta altezza nel prospetto su Via Rodari; finestre tamponate con assi. Ottobre 2010

Figura 4.20 – Torre Pantera: vano scale puntellato con picchetti di legno. Ottobre 2010

4.2. Interventi di manutenzione finalizzati alla conservazione

A introdurre il paragrafo vengono riportate le definizioni di *Conservazione,* illustrata nel Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, e di alcune definizioni di *Manutenzione*, illustrate in alcune norme UNI.

"Conservazione

1. La conservazione del patrimonio culturale è assicurata mediante una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro.

2. Per prevenzione si intende il complesso delle attività idonee a limitare le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto.

3. Per manutenzione si intende il complesso delle attività e degli interventi destinati al controllo

delle condizioni del bene culturale e al mantenimento dell'integrità, dell'efficienza funzionale e dell'identità del bene e delle sue parti.

4. Per restauro si intende l'intervento diretto sul bene attraverso un complesso di operazioni finalizzate all'integrità materiale ed al recupero del bene medesimo, alla protezione ed alla trasmissione dei suoi valori culturali."[31]

[31] Art. 29 D. Lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio*

Manutenzione straordinaria[32]: Tipologia d'interventi non ricorrenti e d'elevato costo, in confronto al valore di rimpiazzo del bene e ai costi annuali di manutenzione ordinaria dello stesso. Gli interventi inoltre:

- possono prolungare la vita utile e/o, in via subordinata migliorarne l'efficienza, l'affidabilità, la produttività, la manutenibilità e l'ispezionabilità;

- non ne modificano le caratteristiche originarie e la struttura essenziale;

- non comportano variazioni di destinazioni d'uso del bene.

Manutenzione ordinaria[2]: Tipologia d'interventi manutentivi durante il ciclo di vita, atti a:

- mantenere l'integrità originaria del bene;

- mantenere o ripristinare l'efficienza dei beni;

- contenere il normale degrado d'uso;

- garantire la vita utile del bene;

- far fronte ad eventi accidentali.

Generalmente gli interventi sono richiesti a seguito di:

- rilevazione di guasti o avarie (manutenzione a guasto o correttiva),

- attuazione di politiche manutentive (manutenzione preventiva, ciclica, predittiva secondo condizione).

Manutenzione preventiva[33]: Manutenzione eseguita a intervalli predeterminati o secondo criteri prescritti e prevista per ridurre la probabilità di guasto o il degrado del funzionamento di un'entità.

Manutenzione secondo condizione[3]: Manutenzione preventiva che include una combinazione di monitoraggio delle condizioni e/o ispezione e/o prove, analisi e le azioni di manutenzione che ne conseguono.

Manutenzione correttiva, manutenzione a guasto[3]: Manutenzione eseguita a seguito della rilevazione di un'avaria e volta a riportare l'entità in uno stato in cui essa possa eseguire una funzione richiesta.

Per le Torri della città di Como, data l'entità dei rischi a cui sono esposte e i guasti avvenuti, è necessario procedere con interventi di manutenzione straordinaria. In seguito a questo primo consistente intervento su ogni torre si procederà quindi con una pianificazione della manutenzione ordinaria preventiva programmata, una manutenzione secondo condizione, e con piccoli interventi di manutenzione correttiva o a guasto.

[32]UNI 11063: 2003 - Manutenzione - Definizioni di manutenzione ordinaria e straordinaria
[33]UNI EN 13306:2010 - Manutenzione - Terminologia di manutenzione

Si procede ora illustrando gli interventi di manutenzione straordinaria da effettuarsi per ogni singola Torre.

4.2.1. Porta Torre

In Porta Torre è necessario procedere con un'analisi dettagliata degli elementi lapidei che costituiscono il coronamento dei muri perimetrali, valutarne l'integrità e successivamente intervenire con l'integrazione di uno strato di tenuta più performante. Una possibile soluzione è quella di un trattamento idrorepellente della pietra con materiali impregnanti adeguati quali resine acriliche. Tuttavia è necessario valutare la compatibilità di tale intervento poiché ha una durabilità non quantificabile nella condizione di esposizione in cui giace la pietra, cicli stagionali, piogge e, in aggiunta, potrebbe risultare dannoso per le pietre esistenti.

Qual'ora si verificasse che non è possibile riparare gli elementi lapidei, o sostituirli con altri più performanti, è possibile integrare lo strato di tenuta attuale con una scossalina metallica in materiale inossidabile. La scossalina dovrà essere ancorata alla muratura per resistere ai carichi del vento, avere una pendenza verso l'esterno, essere abbinata a dei rompi goccia ed essere posta in maniera da non risultare visibile dall'osservatore a terra.

Alternativamente si può procedere con l'inserimento di uno strato di tenuta al di sotto dell'ultimo corso di pietre che realizzano il coronamento. L'intervento consisterebbe nella rimozione delle pietre in sommità, nella posa di uno strato di tenuta, ad esempio una membrana incollata a caldo o una resina acrilica, e il riposizionamento delle pietre su una malta di allettamento.

L'intervento di manutenzione straordinaria proposto per il coronamento della Porta Torre consiste nella realizzazione di un intervento congiunto di consolidamento della parte superiore della muratura nonché di una cerchiatura di tutto il livello della sommità. Tale intervento comprende anche la regolarizzazione dello strato superiore della muratura, completando le lacune lapidee presenti e facendo delle iniezioni di boiacca nelle fessure presenti. Oltre questo ultimo livello di pietre si prevede l'inserimento di uno strato di tenuta realizzato con una malta addittivata impermeabilizzante che consente di creare uno strato di protezione contro le infiltrazioni nella muratura. Il sistema di consolidamento sarà realizzato tramite l'inserimento di barre d'acciaio che cuciono da parte a parte la muratura come veri e propri diatoni. Questo sistema, accompagnato dalle iniezioni, genererà un vero e proprio cordolo di sommità, finalizzato a rendere la struttura più scatolare. Tutti gli elementi dovranno essere realizzati in acciaio inossidabile, per essere durevoli e non generare effetti di sporcatura nel tempo per

effetto dell'ossidazione. La cerchiatura della sommità della Torre sarà un integrazione del sistema appena descritto. In corrispondenza delle piastre di contrasto delle barre d'acciaio sul prospetto esterno verrà saldato un tubo quadro. Questi tubi consentiranno l'inserimento di una barra d'acciaio utile a realizzare la cerchiatura dell'elemento di sommità. La barra d'acciaio sarà ammorsata localmente a tutti i tubi quadri e verrà tesata in mezzeria tramite un manicotto a doppia filettatura in modo tale da gestire la tesatura della cerchiatura. La piastra d'angolo, posta ai 4 vertici della Torre, dovrà essere un unico elemento che avvolge i conci nelle due direzioni delle barre tesate, realizzando così una cerchiatura completa. Gli interventi di consolidamento proposti sono descritti, dimensionati e valutati al capitolo 5.

Per quanto riguarda le facciate è necessario procedere con una pulizia delle macchie e delle patine che ricoprono la torre per mezzo di appositi lavaggi con detergenti chimici neutri e spazzolature.

Per quanto riguarda la diffusione di fessure nei giunti di malta, bisognerà procedere con ristilatura dei giunti con l'ausilio di malte di calce e sabbia.

Per quanto riguarda la diffusione della vegetazione si deve intervenire con una pulitura da biodeteriogeni mediante estirpazione del verde.

Per quanto riguarda l'esposizione al degrado generato dalla presenza di fauna si procederà con la sostituzione delle reti in nylon che chiudono i fornici con reti di acciaio.

4.2.2. Torre Gattoni

In Torre Gattoni si deve intervenire con la riparazione della copertura, eliminando le presenze biologiche con prodotti biocidi, e creando un nuovo strato di tenuta. Il nuovo strato di tenuta dovrà essere costituito da un impermeabilizzante bituminoso applicato a caldo, tipo asfalto colato. Dovrà essere verificato il funzionamento della tenuta e della pendenza della copertura, in modo tale che le acque defluiscano correttamente nel pluviale. Dovranno essere curati i risvolti degli elementi emergenti, colonna parafulmine e botola, e quelli in prossimità degli spigoli, in modo tale che non risultino visibili all'osservatore a terra. Dovrà inoltre essere inserito un bocchettone di protezione del punto di raccolta onde evitare il suo intasamento e il cattivo funzionamento del sistema di smaltimento.

Per quanto riguarda le facciate è necessario procedere con una pulizia delle macchie e delle patine che ricoprono la torre per mezzo di appositi lavaggi con detergenti chimici neutri e spazzolature.

L'intervento di consolidamento strutturale proposto è quello di una cerchiatura interna realizzata con barre d'acciaio ancorate alla muratura. Le barre saranno elementi discontinui, in modo tale da facilitare le operazioni di realizzazione, connessi tramite dei manicotti a doppia filettatura che consentano di stringere la cerchiatura, avvicinando le barre. In corrispondenza degli spigoli interni, la barre sono ancorate nella muratura con delle malte da inghisaggio adeguate. Tutti i profili dovranno essere in acciaio INOX per prevenire fenomeni di corrosione e garantire durabilità all'intervento. Un'ulteriore intervento di consolidamento proposto è quello di realizzare una palificata di micropali in corrispondenza dei due prospetti che presentano un forte cinematismo rotatorio, confermato dal quadro fessurativo. Gli interventi di consolidamento proposti sono descritti, dimensionati e valutati al capitolo 5.

Per quanto riguarda la diffusione di fessure nei giunti di malta, bisognerà procedere con ristilatura dei giunti con l'ausilio di malte di calce e sabbia.

Per quanto riguarda la diffusione della vegetazione si deve intervenire con una pulitura da biodeteriogeni mediante estirpazione del verde.

Per quanto riguarda il cancello di accesso del locale, un tempo centralina elettrica, ora in disuso, bisognerà procedere con la sostituzione della rete metallica a maglia sottile per impedire l'accesso alla piccola fauna urbana. Inoltre si dovrà procedere con la manutenzione del cancello d'apertura in ferro, attualmente ossidato.

Per quanto riguarda le feritoie e le finestre alte della torre si deve intervenire con l'inserimento di reti in acciaio a maglia sottile.

4.2.3. Torre San Vitale

In Torre San Vitale è necessario procedere con un'analisi dettagliata degli elementi lapidei che costituiscono il coronamento dei muri perimetrali per valutarne l'integrità e successivamente intervenire con l'integrazione di uno strato di tenuta più performante.

Qual'ora si verificasse l'impossibilità di riparare gli elementi lapidei, o sostituirli con altri più performanti, è possibile integrare lo strato di tenuta attuale con una scossalina metallica in materiale inossidabile. La scossalina dovrà essere ancorata alla muratura per resistere ai carichi del vento, avere una pendenza verso l'interno della torre, essere abbinata a dei rompi goccia ed essere posta in maniera da non risultare visibile dall'osservatore a terra. La scossalina dovrà far confluire le acque in un canale di gronda continuo lungo il perimetro interno. Questo sarà collegato a due pluviali posti in corrispondenza di due spigoli interni della torre, i quali convoglieranno le acque meteoriche al di fuori dello stabile. A terra dovrà essere

previsto lo scolo in prossimità di uno scarico fognario urbano, in modo tale da allontanare le acqua meteoriche dal piede del fabbricato.

Tale intervento manutentivo potrebbe essere di consistenza più importante qual'ora ci si indirizzasse verso un ripristino funzionale della Torre, prevedendo l'inserimento di una copertura, attualmente non presente, sulla sommità. Si analizza in questa sede l'intervento di manutenzione straordinaria atta a mettere in sicurezza l'edificio e valorizzarne l'attuale stato.

L'intervento di manutenzione straordinaria proposto per il coronamento della Torre San Vitale consiste nella realizzazione di un intervento congiunto di consolidamento della parte superiore della muratura nonché di una cerchiatura di tutto il livello della sommità. L'intervento ha come obiettivo quello di mettere in sicurezza gli elementi lapidei posti in sommità del coronamento unendosi alla necessità di consolidare l'intera fascia superiore. Tale intervento comprende anche la regolarizzazione dello strato superiore della muratura, completando le lacune lapidee presenti e facendo delle iniezioni di boiacca nelle fessure presenti. Oltre questo ultimo livello di pietre si prevede l'inserimento di uno strato di tenuta realizzato con una malta addittivata impermeabilizzante che consente di creare uno strato di protezione contro le infiltrazioni nella muratura. Il sistema di consolidamento sarà realizzato con la graffettatura continua del coronamento tramite l'inserimento di tiranti d'acciaio che cuciono da parte a parte la sommità, avvolgendola. Sul lato esterno i cavi saranno agganciati alla muratura tramite golfari annegati due metri sotto il livello della sommità, svolteranno in prossimità dello spigolo superiore ammorsando una piastra angolare che a sua volta sarà ancorata alla muratura tramite un tondo d'acciaio annegato in un foro e reso solidale con una malta da inghisaggio apposita. Sul lato interno i cavi saranno agganciati nella stessa modalità e alla stessa quota, svolteranno in prossimità dello spigolo superiore ammorsando una piastra angolare, non ancorata alla muratura. I cavi si incontreranno sul piano orizzontale del coronamento e saranno ancorati tra loro tramite un tenditore. Tutti gli elementi dovranno essere realizzati in acciaio inossidabile, per essere durevoli e non generare effetti di sporcatura nel tempo per effetto dell'ossidazione. Ogni graffetta avrà un passo di 100 cm circa, ma si rimanda agli elaborati grafici per una più completa spiegazione dell'intervento. L'intervento è visibile dall'osservatore a terra limitamento nelle piastre angolari in prossimità degli spigoli. Il consolidamento della sommità della Torre sarà un integrazione del sistema appena descritto. In corrispondenza delle piastre angolari esterne superiori ancorate alla muratura verrà saldato un tubo quadro disposto ortogonalmente al senso del cavo, senza che interferisca con esso. Questi tubi consentiranno l'inserimento di una barra d'acciaio utile a realizzare la cerchiatura

dell'elemento di sommità. La barra d'acciaio sarà ammorsata localmente a tutti i tubi quadri e verrà tesata in mezzeria tramite un manicotto a doppia filettatura in modo tale da gestire la tesatura della cerchiatura. La piastra d'angolo, posta ai 5 vertici della sommità, dovrà essere un unico elemento che nelle due direzioni delle barre tesate, avvolge i conci nei due lati realizzando così una cerchiatura completa.

La piastra esterna dovrà essere completata con dei profili tubolari cavi in acciaio INOX tagliati a becco di flauto in modo tale da gestire la pendenza del coronamento. In corrispondenza delle piastre è possibile saldare un profilo in acciaio inossidabile sagomato a L che potrà risultare utile per l'ancoraggio di una copertura in un momento successivo.

In corrispondenza di alcuni golfari di ancoraggio del sistema a graffetta verranno inserite delle barre d'acciaio passanti che insieme a delle piastre di contrasto esterne realizzeranno dei veri e propri diatoni utili a tenere compatti i paramenti della muratura a sacco. Gli interventi di consolidamento proposti sono descritti, dimensionati e valutati al capitolo 5.

Per quanto riguarda le facciate è necessario procedere con una pulizia delle macchie e delle patine che ricoprono la torre per mezzo di appositi lavaggi con detergenti chimici neutri e spazzolature.

Per quanto riguarda la diffusione di fessure nei giunti di malta, bisognerà procedere con ristilatura dei giunti con l'ausilio di malte di calce e sabbia soprattutto nella parte superiore delle murature.

Per quanto riguarda la diffusione della vegetazione si deve intervenire con una pulitura da biodeteriogeni mediante estirpazione delle strutture vegetative.

Per quanto riguarda la presenza del contenitore per la raccolta dei vetri nell'angolo dove si innestano le mura in Via Balestra, si deve provvedere al suo allontanamento dalla Torre e al suo posizionamento in una collocazione più opportuna.

Per quanto riguarda le finestre della torre su Via Balestra, e le piccole feritoie sugli altri prospetti, si deve intervenire con l'inserimento di reti in nylon a maglia sottile per prevenire l'accessibilità alla fauna.

4.2.4. Torre Pantera

In Torre Pantera è necessario procedere con un intervento di manutenzione straordinaria integrato con un intervento di consolidamento strutturale. L'intervento più urgente è quello di inserimento di una nuova copertura, crollata a seguito di un evento straordinario nell'ottobre 2010. Tuttavia si ritiene urgente agire con un sistema di interventi di consolidamento globale per la Torre poiché giace in uno stato di abbandono pericoloso per persone e cose.
Gli interventi di consolidamento proposti sono:

- realizzazione di un vespaio armato per la ridistribuzione degli sforzi agenti nelle pareti su una superficie di appoggio più ampia;
- consolidamento della volta tramite arco armato estradossale;
- consolidamento del vano torre con l'inserimento di nuovi solai in legno lamellare con appoggi realizzati con profili angolari a L ancorati agli scassi murari della muratura esistenti con mensole in cemento armato; tali profili a L sono disposti in modo tale da realizzare anche il sistema di cerchiatura del vano;
- consolidamento del vano Torre mediante cerchiatura interna con barre d'acciaio INOX e consolidamento delle rampe con barre pendenti dalla copertura in acciaio:
- consolidamento delle fessure con sistema Reticolatus che prevede un'armatura della muratura con fili in acciaio inox in corrispondenza dei giunti.

Gli interventi sopra elencati sono descritti, dimensionati e valutati al capitolo 5.
Per quanto riguarda il locale voltato al piano terra della torre bisognerà procedere con lo svuotamento dei rifiuti accumulati e l'integrazione di una rete metallica a maglia sottile nelle inferiate delle finestre su Via Rodari.
La strategia di intervento di ripristino funzionale non potrà prescindere invece dal recupero complessivo del fabbricato che necessita l'inserimento di infissi, porte d'accesso,la realizzazione di finiture interne ed esterne, impianti meccanici ed elettrici, e la sistemazione del giardino antistante. Gli interventi di manutenzione per la Torre Pantera non vengono quindi determinati in questa sede, poiché si rimanda al capitolo successivo per una valutazione complessiva dell'intervento di consolidamento strutturale.

4.2.5. Interventi di manutenzione straordinaria in sintesi

Si elencano di seguito le lavorazioni da eseguirsi per ogni torre coerentemente con quanto precedentemente descritto.

Cod	LAVORAZIONE	T	G	V
M.S.1	Pulizia da biodeteriogeni mediante estirpazione delle strutture vegetative.	X	X	X
M.S.2	Pulizia delle macchie e delle patine con detergenti chimici e idropulitrice.	X	X	X
M.S.3	Ristilatura dei giunti con l'ausilio di malte di calce e sabbia.	X	X	X
M.S.4	Riparazione, protezione e consolidamento del coronamento	X		X
M.S.5	Inserimento di nuove reti metalliche.	X	X	X
M.S.6	Riparazione impermeabilizzazione della copertura		X	

P = Porta Torre; G = Torre Gattoni; V = Torre San Vitale

Come anticipato, gli interventi di manutenzione in Torre Pantera non vengono valutati perché rientrano nelle lavorazioni proposte nell'intervento di consolidamento strutturale.

Nelle pagine successive verrà affrontata una valutazione tecnica ed economica degli interventi di manutenzione da effettuarsi sulle torri della città di Como. Si valuteranno prima gli aspetti operativi degli interventi : manodopera, materiali, strumenti e mezzi d'opera, precedenze, procedure operative, tempi di realizzazione e procedure di controllo. Successivamente si proporranno delle analisi delle voci di lavoro per quantificare economicamente le lavorazioni. Per le procedure più consuete si riporta una descrizione da prezzario, mentre per quelle più specifiche che riguardano le superfici lapidee si è proceduto con l'analisi della voce di lavoro in coerenza con la descrizione operativa degli interventi.

4.3. Descrizione interventi – Capitolato speciale d'appalto

Seguono schede illustrative delle lavorazioni specialistiche più significative :

- *Pulizia da biodeteriogeni mediante estirpazione delle strutture vegetative;*
- *Pulizia delle macchie e delle patine con detergenti chimici e idropulitrice;*
- *Ristilatura dei giunti con l'ausilio di malte di calce e sabbia.*

Delle restanti lavorazioni si riporta una descrizione dettagliata in sede di analisi delle voci di lavoro o in sede di computo metrico estimativo.

4.3.1.Pulizia da biodeteriogeni mediante estirpazione della vegetazione

MANUTENZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI[34]	PULITURA DA BIODETERIOGENI	M.S.1
Descrizione della lavorazione		
Rimozione degli infestanti vegetali e piante superiori mediante estirpazione delle strutture vegetative. L'estirpazione meccanica dovrà essere preceduta da un trattamento diserbante con impiego di prodotti chimici applicati per irrorazione fogliare fino a sgocciolamento e in strutture vegetative superiori, con iniezione di agente biocida nell'apparato radicale. L'estirpazione manuale verrà eseguita con ogni cura solo dopo 20-30 giorni e solo dopo totale essicazione delle strutture vegetative. L'agente biocida impiegato non dovrà essere dannoso per l'ambiente e per l'operatore, verrà comunque applicato con tutte le cautele del caso e dovrà essere evitata ogni possibile reazione indesiderata o dannosa nei confronti delle superfici sulle quali sarà applicata. L'efficacia del biocida, il sistema di applicazione ed il livello di concentrazione della sostanza attiva saranno verificati a mezzo di campionature. Al termine delle operazioni verrà eseguito un lavaggio delle superfici, al fine di rimuovere i residui dell'agente diserbante e le rimanenti strutture vegetative disseccate. *(vedere lavorazione successiva)*		
Strumenti e mezzi d'opera		
Pennelli Pompa a spruzzo manuale a bassa pressione Siringhe	Indumenti protettivi: maschere, occhiali e guanti di gomma	
Materiale	Consumo medio per unità di superficie	
Biocidi ad azione immediata: acqua ossigenata 120 volumi, formaldeide in soluzione acquosa 0,1-1%, ossido di etilene al 10% in miscela gassosa di aria e C02	0,15 – 0,45 kg/m^2	
Biocidi ad azione lenta: Sintobrite in soluzione acquosa, o prodotti simili con diversa denominazione commerciale	0,15 – 0,45 kg/m^2	
Criterio e norma di misura		
La lavorazione verrà computata per superficie effettiva di pulizia. Per i muri di grosso spessore (s > 100 cm) la lavorazione si valuta detraendo i vuoti e computando le relative riquadrature.		
Precedenze		
Allestimento del cantiere, dei piani di lavoro per le zone basse, delle piattaforme aeree per le zone alte		
Descrizione sintetica della procedura esecutiva		
1 – Esecuzione di prove preliminari per valutare l'efficacia del biocida per un tempo variabile 1 – 4 settimane 2 – Verifica che la struttura non sia soggetta a fenomeni di umidità o altri agenti che ne provochino il riprodursi 2 – Applicazione del diserbante nella concentrazione stabilita, in assenza di vento e pioggia nei giorni successivi 3 – Estirpazione manuale dopo 20-30 giorni dall'applicazione e successiva raccolta e smaltimento (4 – Lavaggio dopo 3 giorni – *vedere lavorazione successiva*)		
Tempi della lavorazione 45 min/m^2	Uomini squadra operativa: 1 Specializzato, 1 Manovale	
Elenco dei controlli		
Controllo dell'efficacia del prodotto biocida e della sua concentrazione specifica dopo 1 – 4 settimane Controllo delle protezioni al fine di evitare contaminazioni Controllo finale dell'intervento e dell'integrità della muratura dopo estirpazione manuale della vegetazione		
Elenco delle non conformità	Trattamento	
Inefficacia parziale o totale del trattamento diserbante	Nuova campionatura e ripetizione del trattamento	
Difficoltà nell'estirpazione meccanica dopo diserbo	Ripetizione del trattamento	
Degrado di parti di muratura per estirpazione manuale	Integrazione con malte e elementi perduti	
Criterio di accettabilità		
La lavorazione deve essere compiuta nella sua completezza e a regola d'arte		

[34] P. Gasparoli, *La manutenzione delle superfici edilizie,* Alinea Editrice, Firenze, 1997, pag. 313

4.3.2. Pulizia delle macchie e delle patine con idropulitrice e detergenti chimici

MANUTENZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI[35]	PULITURA CON LAVAGGIO CHIMICO	M.S.2
Descrizione della lavorazione		
Lavaggio delle superfici con specifica attrezzatura erogante acqua con temperatura e pressione da determinare in relazione alla consistenza del supporto ed alla natura dello sporco da eliminare. Compreso usi di adatti detergenti chimici neutri o prossimi alla neutralità. Il dosaggio più efficace dovrà essere determinato attraverso prove preliminari. Durante le operazioni di pulitura si dovranno adeguatamente proteggere elementi danneggiabili o soggetti a infiltrazione delle acque reflue. Si provvederà, inoltre a controllare il deflusso delle acque in modo tale che non arrechino danno al passaggio pedonale e/o veicolare sottostante. Risciacquo di tutte le superfici trattate con getti d'acqua a pressione regolabile. La eventuale integrazione della pulitura con sistema a bassa pressione delle parti molto sporche e con depositi particolarmente resistenti sarà eseguita e valutata a parte.		
Strumenti e mezzi d'opera		
Idropulitrice, Canne di portata acqua e Lancia erogatrice Cavo elettrico e quadro elettrico di cantiere	Indumenti di lavoro: stivali, guanti, tute impermeabili, maschere protettive, Cassetta attrezzi	
Materiale	Consumo medio per unità di superficie	
Detergente a base di bifluoruri alcalini ph 5,5	0,15 kg/m^2	
Detergente a base di tensioattivi e attapulgite ph 8	0,15 kg/m^2	
Detergente a ph acido	0,15 kg/m^2	
Detergente a ph alcalino	0,15 kg/m^2	
Gasolio	0,30 l/m^2	
Criterio e norma di misura		
La lavorazione verrà computata per superficie effettiva di pulizia. Per i muri di grosso spessore (s > 100 cm) la lavorazione si valuta detraendo i vuoti e computando le relative riquadrature.		
Precedenze		
Deve essere stata ultimata la pulizia da biodeteriogeni		
Descrizione sintetica della procedura esecutiva		
1 – Collegamento alle utenze (acqua,energia elettrica) e verifica di funzionamento, rispettando le norme di sicurezza 2 – Avvicinamento dell'operatore alla zona di lavoro 3 - Protezione e regimazione delle acque reflue, con canali e materiali impermeabili appositi 4 – Esecuzione prove preliminari e attivazione impianto 5 – Esecuzione lavaggio con sequenza dall'alto verso il basso 6 – Spostamento dell'operatore nella zona di lavoro successiva, adiacente alla precedente 7 – A termine delle operazioni si procede con lo smontaggio dell'impianto e la pulizia dell'area di cantiere		
Tempi della lavorazione 30 min/m^2	Uomini squadra operativa: 1 Specializzato, 1 Manovale	
Elenco dei controlli		
Controllo del corretto funzionamento dell'impianto e allacciamenti Controllo delle protezioni e dello scarico delle acque reflue senza danneggiamenti di parti Controllo visivo dell'avvenuta pulitura, del corretto risciacquo e dell'omogeneità della superficie pulita		
Elenco delle non conformità	Trattamento	
Difettoso funzionamento dell'impianto	Verifica di tutte le parti dell'impianto	
Insufficiente pulitura	Utilizzo di diverso agente pulitore o sistema di pulitura	
Presenza di segni dovuti a risciacquo disomogeneo	Ulteriore risciacquo	
Presenza di efflorescenza dopo la pulitura	Risciacquo o applicazione di neutralizzante e risciacquo	
Infiltrazioni d'acqua	Controllo efficienza opere di protezione e scolo reflui	
Degrado ed erosione del supporto	Mantenimento dell'ugello erogante a distanza adeguata	
Criterio di accettabilità		
La lavorazione deve essere compiuta nella sua completezza e a regola d'arte		

[35] P. Gasparoli, *La manutenzione delle superfici edilizie,* Alinea Editrice, Firenze, 1997,pag. 307

4.3.3. Ristilatura dei giunti con l'ausilio di malte di calce e sabbia

MANUTENZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI[36]	RISTILATURA GIUNTI DI MURATURE	M.S.3
Descrizione della lavorazione		
Rimozione di malte di allettamento delle murature eventualmente erose o gravemente decoesionate; successiva risarcitura e stilatura delle parti mancanti delle malte di allettamento con impasto appositamente formulato e costituito da grassello di calce, sabbie a altri aggregati minerali di granulometria e colorazione simile a quelli contenuti nelle malte esistenti. La applicazione della malta di stuccatura verrà eseguita con spatolini metallici e la stilatura sarà puntuale e molto accurata. La malta verrà applicata in più strati successivi se necessario. L'intervento di stilatura non imbratterà le superfici lapidee dei conci: esse saranno, pertanto, immediatamente tamponate con spugne e acqua deionizzata allo scopo di eliminare ogni residuo della malta di stuccatura, oppure protette, prima delle operazioni di stilatura, con carte adesive o altri materiali di copertura ritenuti idonei allo scopo.		
Strumenti e mezzi d'opera		
Miscelatori elettromeccanici, Cazzuole, cazzuolini, attrezzi per stilature, spatolini. Spugne e pennelli	Contenitori a volume noto per dosaggi Indumenti di lavoro: occhiali, guanti	
Materiale	Consumo medio per unità di superficie	
Leganti: grassello di calce, calce idrata in polvere, calce idraulica naturale	0,2 – 0,4 kg/m^2	
Aggregati: sabbia litta, sabbie selezionate a granulometria nota, coccio pesto	0,4-0,8 kg/m^2	
Eventuali *additivi e pigmenti* per tonalità e colorazioni	0,05 kg/m^2	
Criterio e norma di misura		
La lavorazione verrà computata per superficie effettiva di muratura da riparare. Per i muri di grosso spessore (s > 100 cm) la lavorazione si valuta detraendo i vuoti e computando le relative riquadrature.		
Precedenze		
Deve essere stata ultimata la pulizia da biodeteriogeni e la pulizia con lavaggio chimico		
Descrizione sintetica della procedura esecutiva		
1 - Ispezione dello stato della murature e della malta a seguito della pulizia e lavaggio del supporto 2 - Preparazione della malta con dosaggio in volume adeguato di leganti aggregati per completare la parte d'opera 3 - Protezione contro cadute e copertura delle superfici da non imbrattare con carte adesive 4 - Esecuzione della stilatura dopo aver inumidito il supporto, per strati successivi, utilizzando strumenti adeguate 5- Verificata la presa, si procede con lavaggio o tamponamento della stilatura con spugne e pulizia delle superfici		
Tempi della lavorazione: 45-90 min/m^2	Uomini squadra operativa: 1 Specializzato, 1 Manovale	
Elenco dei controlli		
Controllo del corretto stato di conservazione dei materiali, asciutti e incontaminati Controllo dei dosaggi dell'impasto e della giusta consistenza delle malte di stilatura Controllo dello stato delle coperture e protezioni necessarie per evitare imbrattamenti e percolamenti Controlli di accettazione della stilatura (assenza di macchie, ritiri, distacchi, efflorescenze, ecc.) e della pulizia finale		
Elenco delle non conformità	Trattamento	
Formazione di crepe dovuti a ritiri in fase di asciugatura	*Limitate*:integrazione. *Notevoli*:rimozione e rifacimento	
Distacchi di malta per errori di applicazione	Valutazione della causa, asportazione e rifacimento	
Distacchi di malta per errata preparazione del supporto	Valutazione della causa, asportazione e rifacimento	
Macchie di umidità e infiltrazioni indesiderate	Riparazione del guasto, asciugatura della muratura	
Efflorescenze saline	Lavaggio demineralizzato	
Muffe e altre infestanti biologici	Pulitura con biodeteriogeni	
Imbrattamento delle superfici per debordi di malta	Pulitura con spugne e acqua deionizzata	
Criterio di accettabilità		
La sigillatura deve essere tenuta in sottolivello rispetto al filo della muratura per denunciare la nuova stilatura. La lavorazione deve essere compiuta nella sua completezza e a regola d'arte.		

[36] P. Gasparoli, *La manutenzione delle superfici edilizie,* Alinea Editrice, Firenze, 1997, pag. 386

4.4. Analisi delle voci di lavoro per gli interventi di manutenzione straordinaria

Seguono le analisi delle voci di lavoro per alcuni interventi di manutenzione straordinaria. Per le lavorazioni più usuali si è provveduto a riportare la voce di prezzario.

4.4.1.Pulizia da biodeteriogeni mediante estirpazione della vegetazione

Analisi della voce di lavoro[37] dell'intervento di pulizia della facciate da biodeteriogeni con trattamento diserbante.

ANALISI DELLA VOCE DI LAVORO

MANUTENZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI	PULITURA DA BIODETERIOGENI					M.S.1
Descrizione	Rimozione degli infestanti vegetali e piante superiori mediante estirpazione delle strutture vegetative. L'estirpazione meccanica dovrà essere preceduta da un trattamento diserbante con impiego di prodotti chimici applicati per irrorazione fogliare fino a sgocciolamento e in strutture vegetative superiori, con iniezione di agente biocida nell'apparato radicale. L'estirpazione manuale verrà eseguita con ogni cura solo dopo 20-30 giorni e solo dopo totale essicazione delle strutture vegetative. L'agente biocida impiegato non dovrà essere dannoso per l'ambiente e per l'operatore, verrà comunque applicato con tutte le cautele del caso e dovrà essere evitata ogni possibile reazione indesiderata o dannosa nei confronti delle superfici sulle quali sarà applicata. L'efficacia del biocida, il sistema di applicazione ed il livello di concentrazione della sostanza attiva saranno verificati a mezzo di campionature.						
Categoria	*Descrizione*		*U.M.*	*Q*	*C.U.*	*C.T.*	% INC
Manod'opera	Operaio specializzato	IV liv.	h/m^2	0,750	€ 29,37	€ 22,03	65,6%
	Manovale	I liv.	h/m^2	0,750	€ 22,71	€ 17,03	
Materiali	*Biocidi ad azione immediata*: acqua ossigenata 120 volumi, formaldeide in soluzione acquosa 0,1-1%, ossido di etilene al 10% in miscela gassosa di aria e C02 *Biocidi ad azione lenta*: Sintobrite in soluzione acquosa, o prodotti simili con diversa denominazione commerciale (ρ =1140 kg/m^3)		kg/m^2	0,300	€ 67,87	€ 20,36	34,2%
Noli e Mezzi	Energia consumata (gasolio)		l/m^2	0,100	€ 1,65	€ 0,17	0,3%
		Costo marginale per m^2 su superficie di TORRE				€ 59,59	
		Spese di amministrazione			*14%*	€ 8,34	
		Utile d'impresa			*10%*	€ 6,79	
		Prezzo per m^2 su superficie di TORRE				€ 74,72	

[37]Fonti: Listino dei Prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni, Comune di Milano, 2009
Prezzi informativi delle OPERE EDILI in Milano 2010, Camera di Commercio, Milano, 2011

4.4.2. Lavaggio delle facciate a bassa pressione e con detergenti chimici

Analisi della voce di lavoro[4] dell'intervento di pulizia della facciate con detergenti chimici.

ANALISI DELLA VOCE DI LAVORO							
MANUTENZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI		PULITURA CON LAVAGGIO CHIMICO				M.S.2	
Descrizione	Lavaggio delle superfici con specifica attrezzatura erogante acqua con temperatura e pressione da determinare in relazione alla consistenza del supporto ed alla natura dello sporco da eliminare. Compreso usi di adatti detergenti chimici neutri o prossimi alla neutralità. Il dosaggio più efficace dovrà essere determinato attraverso prove preliminari. Durante le operazioni di pulitura si dovranno adeguatamente proteggere elementi danneggiabili o soggetti a infiltrazione delle acque reflue. Si provvederà, inoltre a controllare il deflusso delle acque in modo tale che non arrechino danno al passaggio pedonale e/o veicolare sottostante. Risciacquo di tutte le superfici trattate con getti d'acqua a pressione regolabile. La eventuale integrazione della pulitura con sistema a bassa pressione delle parti molto sporche e con depositi particolarmente resistenti sarà eseguita e valutata a parte.						
Categoria	*Descrizione*		*U.M.*	*Q*	*C.U.*	*C.T.*	% INC
Mano d'opera	Operaio specializzato	IV liv.	h/m^2	0,500	€ 29,37	€ 14,69	94,5%
	Manovale	I liv.	h/m^2	0,500	€ 22,71	€ 11,36	
Materiali	Detergente a base di acidi minerali e tensioattivi a base di acidi minerali e tensioattivi, per supporti di qualunque natura e su pietre dure non lucide		kg/m^2	0,150	€ 6,90	€ 1,04	3,8%
Noli e Mezzi	Energia consumata (gasolio)		l/m^2	0,300	€ 1,65	€ 0,50	1,8%
			Costo marginale per m^2 su superficie di TORRE			€ 27,57	
			Spese di amministrazione		*14%*	€ 3,86	
			Utile d'impresa		*10%*	€ 3,14	
			Prezzo per m^2 su superficie di TORRE			€ 34,57	

4.4.3. Ristilatura dei giunti delle murature

Analisi della voce di lavoro[38] dell'intervento di ristilatura dei giunti delle murature.

ANALISI DELLA VOCE DI LAVORO							
MANUTENZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI		RISTILATURA GIUNTI DI MURATURE				M.S.3	
Descrizione	Rimozione di malte di allettamento delle murature eventualmente erose o gravemente decoesionate; successiva risarcitura e stilatura delle parti mancanti delle malte di allettamento con impasto appositamente formulato e costituito da grassello di calce, sabbie a altri aggregati minerali di granulometria e colorazione simile a quelli contenuti nelle malte esistenti. La applicazione della malta di stuccatura verrà eseguita con spatolini metallici e la stilatura sarà puntuale e molto accurata. La malta verrà applicata in più strati successivi se necessario. L'intervento di stilatura non imbratterà le superfici lapidee laterizie dei conci: esse saranno, pertanto, immediatamente tamponate con spugne e acqua deionizzata allo scopo di eliminare ogni residuo della malta di stuccatura, oppure protette, prima delle operazioni di stilatura, con carte adesive o altri materiali di copertura ritenuti idonei allo scopo.						
Categoria	*Descrizione*		*U.M.*	*Q*	*C.U.*	*C.T.*	% INC
Mano d'opera	Operaio specializzato	IV liv.	h/m^2	1,00	€ 29,37	€ 29,37	96,8%
	Manovale	I liv.	h/m^2	1,00	€ 22,71	€ 22,71	

[38]Fonti: Listino dei Prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni, Comune di Milano, 2009
Prezzi informativi delle OPERE EDILI in Milano 2010, Camera di Commercio, Milano, 2011

Materiali	Malta idraulica con sabbia viva di cava lavata e vagliata e 350 kg di calce eminentemente idraulica per m³, confezionata in opera	m^3/m^2	0,02	€ 86,42	€ 1,56	2,9%
Noli e Mezzi	Energia consumata (gasolio)	l/m^2	0,10	€ 1,65	€ 0,17	0,3%
	Costo marginale per m^2 su superficie di TORRE				€ 53,80	
	Spese di amministrazione			*14%*	€ 7,53	
	Utile d'impresa			*10%*	€ 6,13	
	Prezzo per m^2 su superficie di TORRE				€ 67,47	

4.4.4. Riparazione degli elementi lapidei di coronamento

Analisi della voce di lavoro[39] dell'intervento di riparazione e protezione degli elementi lapidei di coronamento.

ANALISI DELLA VOCE DI LAVORO

MANUTENZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI	RIPARAZIONE DEL CORONAMENTO				M.S.4	
Descrizione	Riparazione degli elementi lapidei con sostituzione di parti ammalorate e fessurate compresa la formazione di pendenza minima per scolo acque con malta di allettamento. Compresa realizzazione di strato di protezione sulla pietra in resina acrilica idrorepellente. Compresa la fornitura e la posa in opera, escluse le movimentazioni alla quota di lavorazione e lo smaltimento di residui da contabilizzare a parte.					
Categoria	*Descrizione*		*U.M.*	*Q*	*C.U.*	*C.T.*	% INC
Mano d'opera	Operaio specializzato	IV liv.	h/m^2	1,000	€ 29,37	€ 29,37	21,8%
	Manovale	I liv.	h/m^2	1,000	€ 22,71	€ 22,71	
Materiali	Malta idraulica con sabbia viva di cava lavata e vagliata e 350 kg di calce eminentemente idraulica per m³, confezionata in opera		m^3/m^2	0,050	€ 86,42	€ 4,32	78,1%
	Beola grigia e ghiandonata in lastre con faccia vista a levigatura media e l'altra grezza di sega, coste fresate a giunto sp. 4 cm		m^2/m^2	1,000	€ 161,07	€ 161,07	
	Protezione superficiale di manufatti in pietra con resine acriliche idrorepellenti in soluzione applicata a due mani su marmi, calcari duri, brecce		m^2/m^2	1,000	€ 21,38	€ 21,38	
Noli e Mezzi	Energia consumata (gasolio)		l/m^2	0,100	€ 1,65	€ 0,17	0,1%
	Costo marginale per m^2 su superficie di TORRE					€ 239,02	
	Spese di amministrazione				*14%*	€ 33,46	
	Utile d'impresa				*10%*	€ 27,25	
	Prezzo per m^2 su superficie di TORRE					€ 299,73	

4.4.5. Inserimento reti metalliche

Analisi della voce di lavoro[8] dell'intervento di inserimento di nuove reti metalliche.

ANALISI DELLA VOCE DI LAVORO

MANUTENZIONE STRAORDINARIA	INSERIMENTO DI NUOVE RETI METALLICHE	M.S.5

[39] Fonti: Listino dei Prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni, Comune di Milano, 2009
Prezzi informativi delle OPERE EDILI in Milano 2010, Camera di Commercio, Milano, 2011

Descrizione	Fornitura e posa in opera di reti metallica in acciaio zincato per recinzioni maglia 15x15 mm antintrusione. Compreso ogni sfrido e le strutture di ancoraggio alla muratura e ogni altro onere per fornire l'opera completa e realizzata a regola d'arte						
Categoria	*Descrizione*		*U.M.*	*Q*	*C.U.*	*C.T.*	% INC
Mano d'opera	Operaio specializzato	IV liv.	h/m^2	0,250	€ 29,37	€ 7,34	88,1%
	Manovale	I liv.	h/m^2	0,250	€ 22,71	€ 5,68	
Materiali	Rete metallica per recinzione maglia 15x15 mm in acciaio zincato ϕ = 1mm		m^2/m^2	1,000	€ 1,60	€ 1,60	10,8%
Noli e Mezzi	Energia consumata (gasolio)		l/m^2	0,100	€ 1,65	€ 0,17	1,1%
		Costo marginale per m^2 su superficie di TORRE				€ 14,79	
		Spese di amministrazione			*14%*	€ 2,07	
		Utile d'impresa			*10%*	€ 1,69	
		Prezzo per m^2 su superficie di TORRE				€ 18,54	

4.4.6. Riparazione impermeabilizzazione di copertura

Voce di prezziario[8] per riparazione impermeabilizzazione di copertura

VOCE DI PREZZIARIO		
MANUTENZIONE STRAORDINARIA	RIPARAZIONE IMPERMEABILIZZAZIONE	M.S.6
Descrizione	Riparazione di manti bituminosi fessurati, con pulizia del supporto,applicazione di primer bituminoso, stesa a spatola di cemento plasticobituminoso a due mani con interposta rete a maglia in fibra di vetro. Compresa fornitura e posa in opera ed ogni altro onere per fornire l'opera compiuta e a regola d'arte.	
Prezzo per m^2 su superficie effettiva di TORRE vuoto per pieno per A < 1 m^2		€ 18,38

4.5. Computo metrico estimativo della manutenzione straordinaria

Si propone di seguito il computo metrico estimativo degli interventi di manutenzione straordinaria da eseguirsi nelle singole torri. L'elenco delle lavorazioni corrisponde alla sequenza da adottarsi nel programma lavori.

4.5.1. Porta Torre

Si propone di seguito il computo metrico estimativo degli interventi di manutenzione straordinaria da eseguirsi in Porta Torre. L'elenco delle lavorazioni corrisponde alla sequenza da adottarsi nel programma lavori.

PORTA TORRE						
COMPUTO METRICO ESTIMATIVO						
N. LAV.	LAVORAZIONE	COD. LAV.	U.M.	Q.TÀ	P.U.	P.T.
1	Pulizia da biodeteriogeni mediante estirpazione delle strutture vegetative.	M.S.1	m^2	262,03	€ 74,72	€ 19.579,45
2	Pulizia delle macchie e delle patine con detergenti chimici e idropulitrice.	M.S.2	m^2	922,50	€ 34,57	€ 31.894,36

3	Riparazione e protezione degli elementi lapidei di coronamento	M.S.4	m^2	20,23	€ 267,07	€ 5.403,69
4	Ristilatura dei giunti con l'ausilio di malte di calce e sabbia.	M.S.3	m^2	401,76	€ 67,47	€ 27.105,88
5	Inserimento di nuove reti metalliche	M.S.5	m^2	135,56	€ 18,54	€ 2.513,40
		Prezzo complessivo interventi di manutenzione straordinaria in Porta Torre				€ 86.496,79

Calcolo delle quantità in riferimento al CME:

- *I calcoli delle quantità sono riferiti al criterio di misurazione della lavorazione riportato nelle analisi delle voci di lavoro;*
- *La valutazione viene eseguita moltiplicando il valore dell'intero prospetto in oggetto per una percentuale riduttiva, valutata in funzione alla diffusione del degrado come riscontrato in calce al presente elaborato – Allegato 2*

PORTA TORRE					MANUTENZIONE STRAORDINARIA		
		PULIZIA DA BIODETERIOGENI					M.S.1
N.	PROSPETTO	L 1 [m]	L 2 [m]	P. UGUALI [-]	VUOTI [m^2]	%	Q.TÀ [m^2]
1	INTERNO NORD	10,20	34,00	1,00	164,95	5%	9,09
2	INTERNO SUD	10,30	34,00	1,00	32,70	15%	47,63
3	INTERNO OVEST	7,90	34,00	1,00	6,38	15%	39,33
4	INTERNO EST	7,90	34,00	1,00	6,38	15%	39,33
5	ESTERNO NORD	14,80	34,00	1,00	164,95	10%	33,83
6	ESTERNO SUD	14,70	34,00	1,00	32,70	5%	23,36
7	ESTERNO OVEST	12,70	34,00	1,00	3,55	5%	21,41
8	ESTERNO EST	12,70	34,00	1,00	2,79	5%	21,45
9	FORNICE NORD	19,94	2,00	1,00	0,00	5%	1,99
10	FORNICI SUD	15,50	2,00	2,00	0,00	5%	3,10
11	CORNICE ARCHI	15,37	2,00	8,00	0,00	5%	12,30
12	CORONAMENTO	12,50	14,75	1,00	83,21	5%	9,22
						A riportare	262,03
		PULITURA CON LAVAGGIO CHIMICO					M.S.2
N.	PROSPETTO	L 1 [m]	L 2 [m]	P. UGUALI [-]	VUOTI [m^2]	%	Q.TÀ [m^2]
1	INTERNO NORD	10,20	34,00	1,00	164,95	5%	9,09
2	INTERNO SUD	10,30	34,00	1,00	32,70	0%	0,00
3	INTERNO OVEST	7,90	34,00	1,00	6,38	15%	39,33
4	INTERNO EST	7,90	34,00	1,00	6,38	10%	26,22
5	ESTERNO NORD	14,80	34,00	1,00	164,95	30%	101,48
6	ESTERNO SUD	14,70	34,00	1,00	32,70	40%	186,84
7	ESTERNO OVEST	12,70	34,00	1,00	3,55	60%	256,95
8	ESTERNO EST	12,70	34,00	1,00	2,79	30%	128,70
9	FORNICE NORD	19,94	2,00	1,00	0,00	50%	19,94
10	FORNICI SUD	15,50	2,00	2,00	0,00	50%	31,00
11	CORNICE ARCHI	15,37	2,00	8,00	0,00	50%	122,95
12	CORONAMENTO	12,50	14,75	1,00	83,21	0%	0,00
						A riportare	922,50

		STILATURA GIUNTI DI MURATURE					M.S.3
N.	PROSPETTO	L 1 [m]	L 2 [m]	P. UGUALI [-]	VUOTI [m^2]	%	Q.TÀ [m^2]
1	INTERNO NORD	10,20	34,00	1,00	164,95	10%	18,19
2	INTERNO SUD	10,30	34,00	1,00	32,70	15%	47,63
3	INTERNO OVEST	7,90	34,00	1,00	6,38	25%	65,56
4	INTERNO EST	7,90	34,00	1,00	6,38	20%	52,44
5	ESTERNO NORD	14,80	34,00	1,00	164,95	15%	50,74
6	ESTERNO SUD	14,70	34,00	1,00	32,70	10%	46,71
7	ESTERNO OVEST	12,70	34,00	1,00	3,55	10%	42,83
8	ESTERNO EST	12,70	34,00	1,00	2,79	10%	42,90
9	FORNICE NORD	19,94	2,00	1,00	0,00	10%	3,99
10	FORNICI SUD	15,50	2,00	2,00	0,00	10%	6,20
11	CORNICE ARCHI	15,37	2,00	8,00	0,00	10%	24,59
						A riportare	401,76
		RIPARAZIONE DEL CORONAMENTO					M.S.4
N.	PROSPETTO	L 1 [m]	L 2 [m]	P. UGUALI [-]	VUOTI [m^2]	%	Q.TÀ [m^2]
1	CORONAMENTO	12,50	14,75	1,00	83,21	20%	20,23
						A riportare	20,23
		INSERIMENTO DI NUOVE RETI METALLICHE					M.S.5
N.	PROSPETTO	L 1 [m]	L 2 [m]	P. UGUALI [-]	VUOTI [m^2]	%	Q.TÀ [m^2]
1	NORD	-	-	9,00	116,20	100%	116,20
2	SUD	-	-	1,00	6,60	100%	6,60
3	OVEST	-	-	1,00	6,38	100%	6,38
4	EST	-	-	1,00	6,38	100%	6,38
						A riportare	135,56

Calcolo della durata con il metodo dell' incidenza percentuale della manodopera

- *La percentuale di manodopera è valutata in funzione dell'analisi della voce di lavoro;*
- *Per le lavorazioni in cui si è impiegato una voce di prezziario si stima un'incidenza della manodopera del 45% come da D.M. 11/12/1978.*

PORTA TORRE						
CALCOLO DELLA DURATA CON INCIDENZA PERCENTUALE DELLA MANODOPERA						
N. LAV.	COD. LAV.	% INC	UTILE	SPESE	COSTO T.	MANODOPERA
1	M.S.1	65,55%	€ 1.957,95	€ 2.643,23	€ 14.978,28	€ 9.818,88
2	M.S.2	94,45%	€ 3.189,44	€ 4.305,74	€ 24.399,19	€ 23.045,19
4	M.S.4	12,23%	€ 540,37	€ 729,50	€ 4.133,82	€ 505,44
3	M.S.3	96,80%	€ 2.710,59	€ 3.659,29	€ 20.736,00	€ 20.072,88
5	M.S.5	88,06%	€ 251,34	€ 339,31	€ 1.922,75	€ 1.693,23
					Costo complessivo manodopera tolti oneri e spese	€ 55.135,62
					Costo orario manodopera specializzata	€ 29,37
					Costo orario manodopera I livello	€ 22,71
					Costo medio orario manodopera	€ 26,04
					Ore giornata lavorativa	8
					Costo giornata lavorativa	€ 208,33
					Uomini Giorno	265

4.5.2. Torre Gattoni

Si propone di seguito il computo metrico estimativo degli interventi di manutenzione straordinaria da eseguirsi in Torre Gattoni. L'elenco delle lavorazioni corrisponde alla sequenza da adottarsi nel programma lavori.

TORRE GATTONI						
COMPUTO METRICO ESTIMATIVO						
N. LAV.	LAVORAZIONE	COD. LAV.	U.M.	Q.TÀ	P.U.	P.T.
1	Pulizia da biodeteriogeni mediante estirpazione delle strutture vegetative.	M.S.1	m^2	124,89	€ 74,72	€ 9.332,07
2	Pulizia delle macchie e delle patine con detergenti chimici e idropulitrice.	M.S.2	m^2	523,81	€ 34,57	€ 18.110,16
3	Riparazione impermeabilizzazione di copertura	M.S.6	m^2	169,04	€ 18,38	€ 3.106,96
4	Ristilatura dei giunti con l'ausilio di malte di calce e sabbia.	M.S.3	m^2	401,45	€ 67,47	€ 27.084,96
5	Inserimento di nuove reti metalliche	M.S.5	m^2	14,14	€ 18,54	€ 262,17
		Prezzo complessivo interventi di manutenzione straordinaria in Torre Gattoni				€ 57.896,31

Calcolo delle quantità in riferimento al CME:

- *I calcoli delle quantità sono riferiti al criterio di misurazione della lavorazione riportato nelle analisi delle voci di lavoro;*
- *La valutazione viene eseguita moltiplicando il valore dell'intero prospetto in oggetto per una percentuale riduttiva, valutata in funzione alla diffusione del degrado come riscontrato in calce al presente elaborato – Allegato 2*

TORRE GATTONI							
		PULIZIA DA BIODETERIOGENI					M.S.1
N.	PROSPETTO	L 1 [m]	L 2 [m]	P. UGUALI [-]	VUOTI/PIENI [m^2]	%	Q.TÀ [m^2]
1	ESTERNO S-E	9,65	28,00	1,00	0,00	5%	13,51
2	ESTERNO S-O	9,30	28,00	1,00	0,00	5%	13,02
3	ESTERNO EST	10,00	28,00	1,00	2,47	10%	27,75
4	ESTERNO OVEST	11,60	28,00	1,00	0,00	10%	32,48
5	ESTERNO NORD	11,55	19,00	1,00	7,20	10%	21,23
6	COPERTURA	-	-	1,00	169,04	10%	16,90
						A riportare	124,89
		PULITURA CON LAVAGGIO CHIMICO					M.S.2
N.	PROSPETTO	L 1 [m]	L 2 [m]	P. UGUALI [-]	VUOTI/PIENI [m^2]	%	Q.TÀ [m^2]
1	ESTERNO S-E	9,65	28,00	1,00	0,00	60%	162,12
2	ESTERNO S-O	9,30	28,00	1,00	0,00	70%	182,28

3	ESTERNO EST	10,00	28,00	1,00	2,47	15%	41,63
4	ESTERNO OVEST	11,60	28,00	1,00	0,00	30%	97,44
5	ESTERNO NORD	11,55	19,00	1,00	7,20	5%	10,61
6	INTERNO S-E	6,20	17,00	1,00	0,00	5%	5,27
7	INTERNO S-O	4,80	17,00	1,00	0,00	5%	4,08
8	INTERNO EST	5,50	17,00	1,00	0,00	5%	4,68
9	INTERNO OVEST	6,10	17,00	1,00	0,00	10%	10,37
10	INTERNO NORD	6,70	17,00	1,00	7,20	5%	5,34
						A riportare	523,81
		STILATURA GIUNTI DI MURATURE					M.S.3
N.	PROSPETTO	L 1 [m]	L 2 [m]	P. UGUALI [-]	VUOTI/PIENI [m^2]	%	Q.TÀ [m^2]
1	ESTERNO S-E	9,65	28,00	1,00	0,00	15%	40,53
2	ESTERNO S-O	9,30	28,00	1,00	0,00	15%	39,06
3	ESTERNO EST	10,00	28,00	1,00	2,47	40%	111,01
4	ESTERNO OVEST	11,60	28,00	1,00	0,00	40%	129,92
5	ESTERNO NORD	11,55	19,00	1,00	7,20	15%	31,84
6	INTERNO S-E	6,20	17,00	1,00	0,00	10%	10,54
7	INTERNO S-O	4,80	17,00	1,00	0,00	10%	8,16
8	INTERNO EST	5,50	17,00	1,00	0,00	10%	9,35
9	INTERNO OVEST	6,10	17,00	1,00	0,00	10%	10,37
10	INTERNO NORD	6,70	17,00	1,00	7,20	10%	10,67
						A riportare	401,45
		INSERIMENTO DI NUOVE RETI METALLICHE					M.S.5
N.	PROSPETTO	L 1 [m]	L 2 [m]	P. UGUALI [-]	VUOTI/PIENI [m^2]	%	Q.TÀ [m^2]
1	ESTERNO S-E	-	-	1,00	1,00	100%	1,00
2	ESTERNO S-O	-	-	1,00	1,00	100%	1,00
3	ESTERNO EST	-	-	1,00	4,47	100%	4,47
4	ESTERNO OVEST	-	-	1,00	1,00	100%	1,00
5	ESTERNO NORD	-	-	1,00	4,20	100%	4,20
1	ESTERNO EST	-	-	1,00	2,47	100%	2,47
						A riportare	14,14
		RIPARAZIONE IMPERMEABILIZZAZIONE DI COPERTURA					M.S.6
N.	PROSPETTO	L 1 [m]	L 2 [m]	P. UGUALI [-]	VUOTI/PIENI [m^2]	%	Q.TÀ [m^2]
6	COPERTURA	-	-	1,00	169,04	100%	169,04
						A riportare	169,04

Calcolo della durata con il metodo dell' incidenza percentuale della manodopera

- *La percentuale di manodopera è valutata in funzione dell'analisi della voce di lavoro;*
- *Per le lavorazioni in cui si è impiegato una voce di prezziario si stima un'incidenza della manodopera del 45% come da D.M. 11/12/1978.*

TORRE GATTONI						
CALCOLO DELLA DURATA CON INCIDENZA PERCENTUALE DELLA MANODOPERA						
N. LAV.	COD. LAV.	% INC	UTILE	SPESE	COSTO T.	MANODOPERA
1	M.S.1	65,55%	€ 933,21	€ 1.259,83	€ 7.139,03	€ 4.679,93
2	M.S.2	94,45%	€ 1.811,02	€ 2.444,87	€ 13.854,27	€ 13.085,45
4	M.S.6	45,00%	€ 310,70	€ 419,44	€ 2.376,82	€ 1.069,57
3	M.S.3	96,80%	€ 2.708,50	€ 3.656,47	€ 20.719,99	€ 20.057,38
5	M.S.5	88,06%	€ 26,22	€ 35,39	€ 200,56	€ 176,62
					Costo complessivo manodopera tolti oneri e spese	€ 39.068,95
					Costo orario manodopera specializzata	€ 29,37
					Costo orario manodopera I livello	€ 22,71
					Costo medio orario manodopera	€ 26,04
					Ore giornata lavorativa	8
					Costo giornata lavorativa	€ 208,33
					Uomini Giorno	188

4.5.3. Torre San Vitale

Si propone di seguito il computo metrico estimativo degli interventi di manutenzione straordinaria da eseguirsi in Torre San Vitale. L'elenco delle lavorazioni corrisponde alla sequenza da adottarsi nel programma lavori.

TORRE SAN VITALE						
COMPUTO METRICO ESTIMATIVO						
N. LAV.	LAVORAZIONE	COD. LAV.	U.M.	Q.TÀ	P.U.	P.T.
1	Pulizia da biodeteriogeni mediante estirpazione delle strutture vegetative.	M.S.1	m^2	191,55	€ 74,72	€ 14.312,96
2	Pulizia delle macchie e delle patine con detergenti chimici e idropulitrice.	M.S.2	m^2	902,19	€ 34,57	€ 31.191,99
4	Riparazione e protezione degli elementi lapidei di coronamento	M.S.4	m^2	24,35	€ 267,07	€ 6.503,23
3	Ristilatura dei giunti con l'ausilio di malte di calce e sabbia.	M.S.3	m^2	417,56	€ 67,47	€ 28.171,95
5	Inserimento di nuove reti metalliche	M.S.5	m^2	36,12	€ 18,54	€ 669,73
			Prezzo complessivo interventi di manutenzione straordinaria in Torre San Vitale			€ 80.849,86

Calcolo delle quantità in riferimento al CME:

- *I calcoli delle quantità sono riferiti al criterio di misurazione della lavorazione riportato nelle analisi delle voci di lavoro;*
- *La valutazione viene eseguita moltiplicando il valore dell'intero prospetto in oggetto per una percentuale riduttiva, valutata in funzione alla diffusione del degrado come riscontrato in calce al presente elaborato – Allegato 2*

TORRE SAN VITALE							
		PULIZIA DA BIODETERIOGENI					M.S.1
N.	PROSPETTO	L 1 [m]	L 2 [m]	P. UGUALI [-]	VUOTI [m^2]	%	Q.TÀ [m^2]
6	ESTERNO NORD	10,15	33,00	1,00	0,00	10%	33,50
7	ESTERNO N-E	10,00	33,00	1,00	0,00	5%	16,50
8	ESTERNO S-E	9,85	33,00	1,00	0,00	5%	16,25
9	ESTERNO S-O	10,20	33,00	1,00	0,00	10%	33,66
10	ESTERNO OVEST	11,10	33,00	1,00	30,12	15%	50,43
11	CORN. ARCHI Ov	13,30	3,00	2,00	0,00	10%	7,98
12	CORN. ARCHI Ov	11,14	3,00	2,00	0,00	10%	6,68
13	CORN. ARCHI Ov	7,34	3,00	1,00	0,00	10%	2,20
14	CORONAMENTO	48,70	2,50	1,00	0,00	20%	24,35
						A riportare	191,55
		PULITURA CON LAVAGGIO CHIMICO					M.S.2
N.	PROSPETTO	L 1 [m]	L 2 [m]	P. UGUALI [-]	VUOTI [m^2]	%	Q.TÀ [m^2]
6	ESTERNO NORD	10,15	33,00	1,00	0,00	45%	150,73
7	ESTERNO N-E	10,00	33,00	1,00	0,00	70%	231,00
8	ESTERNO S-E	9,85	33,00	1,00	0,00	45%	146,27
9	ESTERNO S-O	10,20	33,00	1,00	0,00	30%	100,98
10	ESTERNO OVEST	11,10	33,00	1,00	30,12	30%	100,85
11	CORN. ARCHI Ov	13,30	3,00	2,00	0,00	30%	23,94
12	CORN. ARCHI Ov	11,14	3,00	2,00	0,00	30%	20,05
13	CORN. ARCHI Ov	7,34	3,00	1,00	0,00	30%	6,61
14	CORONAMENTO	48,70	2,50	1,00	0,00	100%	121,75
						A riportare	902,19
		STILATURA GIUNTI DI MURATURE					M.S.3
N.	PROSPETTO	L 1 [m]	L 2 [m]	P. UGUALI [-]	VUOTI [m^2]	%	Q.TÀ [m^2]
6	ESTERNO NORD	10,15	33,00	1,00	0,00	30%	100,49
7	ESTERNO N-E	10,00	33,00	1,00	0,00	15%	49,50
8	ESTERNO S-E	9,85	33,00	1,00	0,00	15%	48,76
9	ESTERNO S-O	10,20	33,00	1,00	0,00	30%	100,98
10	ESTERNO OVEST	11,10	33,00	1,00	30,12	20%	67,24
11	CORN. ARCHI Ov	13,30	3,00	2,00	0,00	30%	23,94
12	CORN. ARCHI Ov	11,14	3,00	2,00	0,00	30%	20,05
13	CORN. ARCHI Ov	7,34	3,00	1,00	0,00	30%	6,61
						A riportare	417,56
		RIPARAZIONE DEL CORONAMENTO					M.S.4
N.	PROSPETTO	L 1 [m]	L 2 [m]	P. UGUALI [-]	VUOTI [m^2]	%	Q.TÀ [m^2]
1	CORONAMENTO	48,70	2,50	1,00	0,00	20%	24,35
						A riportare	24,35
		INSERIMENTO DI NUOVE RETI METALLICHE					M.S.5
N.	PROSPETTO	L 1 [m]	L 2 [m]	P. UGUALI [-]	VUOTI [m^2]	%	Q.TÀ [m^2]
1	OVEST	-	-	5,00	30,12	100%	36,12
						A riportare	36,12

Calcolo della durata con il metodo dell' incidenza percentuale della manodopera

- *La percentuale di manodopera è valutata in funzione dell'analisi della voce di lavoro;*

- *Per le lavorazioni in cui si è impiegato una voce di prezziario si stima un'incidenza della manodopera del 45% come da D.M. 11/12/1978.*

TORRE SAN VITALE						
CALCOLO DELLA DURATA CON INCIDENZA PERCENTUALE DELLA MANODOPERA						
N. LAV.	COD. LAV.	% INC	UTILE	SPESE	COSTO T.	MANODOPERA
1	M.S.1	65,55%	€ 1.431,30	€ 1.932,25	€ 10.949,41	€ 7.177,79
2	M.S.2	94,45%	€ 3.119,20	€ 4.210,92	€ 23.861,87	€ 22.537,69
4	M.S.4	12,23%	€ 650,32	€ 877,94	€ 4.974,97	€ 608,29
3	M.S.3	96,80%	€ 2.817,20	€ 3.803,21	€ 21.551,54	€ 20.862,34
5	M.S.5	88,06%	€ 66,97	€ 90,41	€ 512,35	€ 451,19
					Costo complessivo manodopera tolti oneri e spese	€ 51.637,30
					Costo orario manodopera specializzata	€ 29,37
					Costo orario manodopera I livello	€ 22,71
					Costo medio orario manodopera	€ 26,04
					Ore giornata lavorativa	8
					Costo giornata lavorativa	€ 208,33
					Uomini Giorno	248

4.6. Valutazione comparata degli interventi di manutenzione sulle torri di Como

Si elencano di seguito le lavorazioni da eseguirsi per ogni torre coerentemente con quanto precedentemente descritto.

Cod	LAVORAZIONE	T	G	V
M.S.1	Pulizia da biodeteriogeni mediante estirpazione delle strutture vegetative.	X	X	X
M.S.2	Pulizia delle macchie e delle patine con detergenti chimici e idropulitrice.	X	X	X
M.S.3	Ristilatura dei giunti con l'ausilio di malte di calce e sabbia.	X	X	X
M.S.4	Riparazione, protezione e consolidamento del coronamento	X		X
M.S.5	Inserimento di nuove reti metalliche.	X	X	X
M.S.6	Riparazione impermeabilizzazione della copertura		X	

P = Porta Torre; G = Torre Gattoni; V = Torre San Vitale

Si elencano i prezzi e le durate degli interventi eseguirsi per ogni torre coerentemente con quanto precedentemente descritto.

	PREZZO €	DURATA UG
Porta Torre, interventi di manutenzione straordinaria:	€ 86.496,79	265
Torre Gattoni, interventi di manutenzione straordinaria:	€ 57.896,31	188
Torre San Vitale, interventi di manutenzione straordinaria:	€ 80.849,86	248
Totale, interventi di manutenzione straordinaria:	€ 225.242,96	700

La Torre Pantera è esclusa da questa valutazione, poiché è in atto un procedimento di validazione ed appalto dell'intervento di consolidamento inserito nel precedente elaborato.

A questi costi sono da aggiungere:

- Le movimentazioni aeree e meccaniche di uomini e materiali;
- Gli oneri della sicurezza.
- Gli oneri di occupazione del suolo pubblico da valutare in relazione alla proprietà del bene pubblico.

Per quanto riguarda le movimentazioni, si prescrive che le lavorazioni vengano effettuate senza l'ausilio di un ponteggio fisso ma per mezzo di una piattaforma aerea che consente il trasporto di uomini e attrezzature.

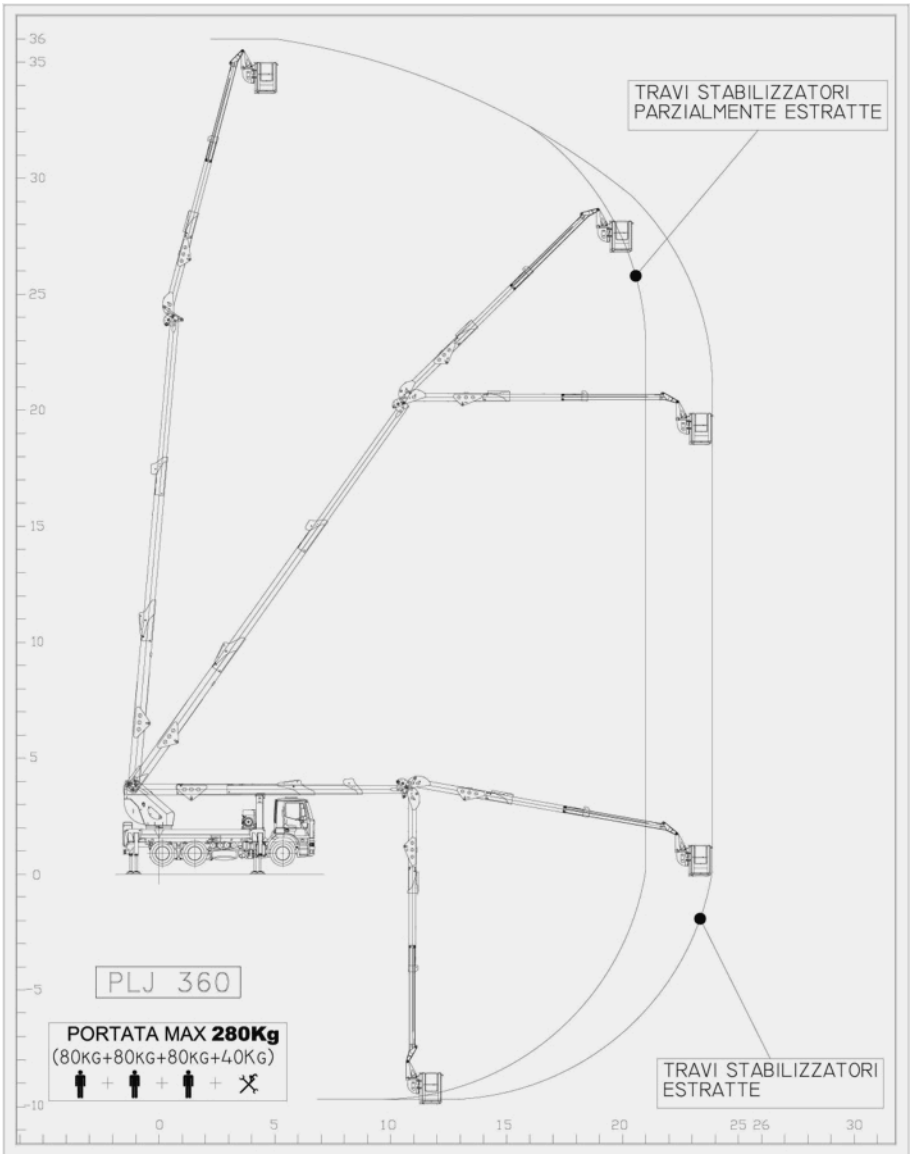


Figura 4.21 - Diagramma di lavoro piattaforma aerea 280 Kg PLJ360 su Iveco Eurotech 260 – nolo a caldo 640 €/g

Dopo aver eseguito una ricerca nel territorio comasco si riporta come esempio l'offerta della ditta Freti Autotrasporti Autogrù (Via Lecco 20, 22036 Erba CO; Tel: 031-643597 Fax: 031-610016 www.fretitrasporti.com). Il costo per il noleggio a caldo della piattaforma aerea (m 36) per i lavori eventualmente da effettuarsi presso le 3 torri di Como (Porta Torre, Torre Gattoni, Torre San Vitale) ha un costo orario € 80,00 + IVA. Il conteggio delle ore dovrà essere calcolato a partire dalla sede fino al rientro, con un impiego minimo di 5 ore giornaliere ed è da considerarsi a caldo, con la presenza di operatore addetto alla manovra. Si precisa che prima degli eventuali interventi, verranno effettuati i sopraluoghi del caso che non avranno costi aggiuntivi rispetto alla quotazione. Sono esclusi dalla quotazione i permessi per l'occupazione di suolo pubblico e l'eventuale trasporto supplementare di segnaletica per la delimitazione dell'area di lavoro a terra. Tuttavia tale sistema non risulta competitivo in termini economici per la durata presunta dell'intervento. Risulta più opportuno l'impiego di una struttura di cantiere fissa quale è un ponteggio per eseguire gli interventi di manutenzione straordinaria. Il mezzo individuato risulterà utile per gli interventi di manutenzione periodica programmata.

4.7. Manutenzione programmata

In questo paragrafo, dopo una introduzione normativa, in riferimento alla Legge Quadro in materia di Lavori Pubblici e al suo regolamento attuativo, si procede con l'illustrazione di un piano di manutenzione per le torri della città di Como. Come si vedrà in seguito si propone un piano di manutenzione costituito da tre tipologie di schede:la *Scheda di rilievo,* la *Scheda di diagnostica,* il *Registro degli interventi.*

4.7.1. Piano di manutenzione

"Il *Piano di manutenzione* ha lo scopo di pianificare, programmare l'attività di manutenzione al fine di mantenere nel tempo le caratteristiche di qualità. Esso è costituito solitamente dal manuale d'uso, dal manuale di manutenzione e dal programma di manutenzione. Il manuale d'uso si riferisce all'utilizzo delle parti più importanti del bene, ed in particolare degli impianti tecnologici - per gli edifici in oggetti non risulta necessario -. Il manuale di manutenzione si riferisce alla cura delle parti più importanti del bene e fornisce, in relazione alle diverse unità tecnologiche, alle caratteristiche dei materiali o dei componenti interessati, le indicazioni necessarie per la corretta manutenzione. Il manuale di manutenzione contiene le seguenti informazioni: la collocazione nell'intervento delle parti menzionate; la rappresentazione grafica; la descrizione delle risorse necessarie per l'intervento manutentivo; il livello minimo

delle prestazioni; le anomalie riscontrabili; le manutenzioni da eseguire a cura di personale specializzato.

Il programma di manutenzione prevede un sistema di controlli e di interventi da eseguire, a cadenze temporalmente o altrimenti prefissate, al fine di una corretta gestione del bene e delle sue parti nel corso degli anni. Esso si articola secondo tre sottoprogrammi:

- il sottoprogramma delle prestazioni, che prende in considerazione, per classe di requisito, le prestazioni fornite dal bene e dalle sue parti nel corso del suo ciclo di vita;
- il sottoprogramma dei controlli, che definisce il programma delle verifiche e dei controlli al fine di rilevare il livello prestazionale, qualitativo e quantitativo, nei successivi momenti della vita del bene;
- il sottoprogramma degli interventi di manutenzione, che riporta in ordine temporale i differenti interventi di manutenzione, al fine di fornire le informazioni per una corretta conservazione del bene."[40]

Alle pagine successive viene proposto un piano di manutenzione costituito sostanzialmente da tre tipologie di schede: la *Scheda di rilievo,* la *Scheda di diagnostica,* il *Registro degli interventi.* Segue un sommario del registro degli interventi, come sintesi.

- Scheda di rilievo

  È costituito da un registro dell'attività contente le informazioni di data, autore del rilievo e firma come assunzione di responsabilità. Deve essere eseguita da un funzionario competente e con incarichi di responsabilità. Contiene il programma dei controlli, ovvero la cadenza con cui deve essere effettuato il rilievo e la verifica, riportando la data del rilievo precedente. Contiene la rappresentazione grafica dell'oggetto da rilevare, nei suoi prospetti principali, con un indicazione geografica del contesto urbano (Via, strada ecc.). Contiene un elenco di alcune anomalie riscontrabili sui prospetti, lasciando spazio all'autore di integrare oltre a quelle proposte. Lo schema di compilazione consiste nel segnare la tipologia di anomalia riscontrata e nell'indicarne la sua collocazione, posizionando la lettera corrispondente all'anomalia. Viene proposto un formato standard per le 4 torri in oggetto, con la rappresentazione grafica corrispondente più opportuna. Per la scheda relativa a Torre San Vitale si riportano soltanto i prospetti esterni data l'impossibilità di accedervi senza l'ausilio di

[40] Art. 40, D.P.R. n. 554/1999

mezzi o scale; vengono riportate due piante per dare la possibilità di integrare ulteriori informazioni.

- Scheda di diagnostica

  È costituito da un registro dell'attività contente le informazioni di data, autore del rilievo e firma come assunzione di responsabilità. Deve essere eseguita da un funzionario competente e con incarichi di responsabilità. Contiene le informazioni relative agli interventi di manutenzione da adottare in funzione dell'anomalia riscontrata. Contiene la descrizione da capitolato con le risorse necessarie per l'intervento manutentivo; il sottoprogramma delle prestazioni e il sottoprogramma degli interventi di manutenzione che consentono di definire quando devono essere eseguiti in funzione di un avanzamento del degrado o in funzione di una frequenza.

- Registro degli interventi

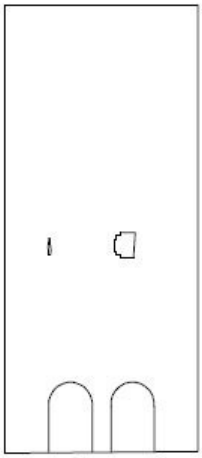
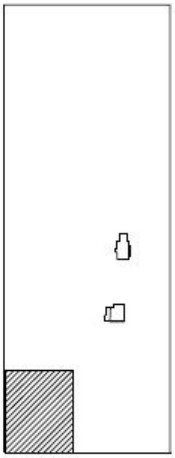
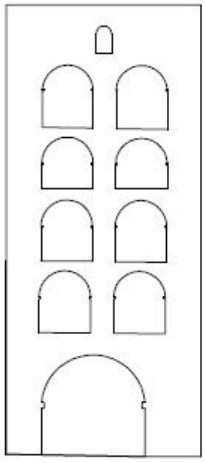
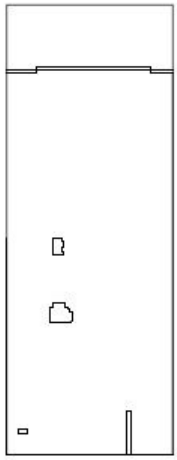
  Viene proposto per completare le informazioni utili alla gestione del bene monumentale. È costituito da un elenco delle informazioni utili a descrivere l'attività di controllo e l'attività di manutenzione eseguite:

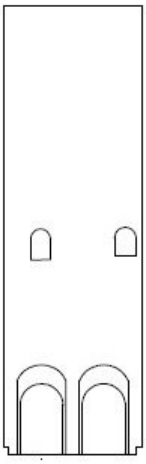
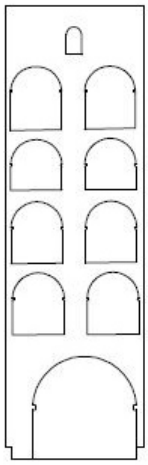
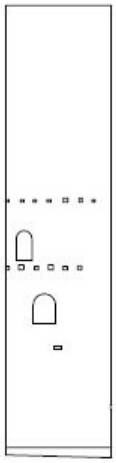
  - Luogo: torre in oggetto;
  - Data;
  - Oggetto dell'intervento: attività ispettiva o attività di manutenzione;
  - Autore dell'attività: funzionario comunale se attività ispettiva, operatore se attività di manutenzione svolta da impresa incaricata;
  - Prezzo: unitario e tot. dell'intervento di manutenzione per confronto storico;
  - Note: indicare i riferimenti ai documenti o protocolli relativi agli interventi;
  - Responsabile: firma del funzionario che detiene il registro, come assunzione di responsabilità.

Nelle schede di rilievo sono riportati i prospetti delle torri allo stato di fatto.

Per quanto riguarda la Torre Pantera, si riportano i prospetti e le sezioni della Torre allo stato di progetto, ipotizzando che l'intervento di consolidamento strutturale proposto al capitolo 5 venga realizzato in completezza.

SCHEDA DI RILIEVO		PORTA TORRE	
PROGRAMMA DEI CONTROLLI:		ANNUALE	
RILIEVO CORRENTE	DATA: ……	ESEGUITO DA:……	FIRMA: ……
RILIEVO PRECEDENTE	DATA: ……	ESEGUITO DA:……	NOTE: ……

			
PROSPETTO SUD PIAZZA VITTORIA	PROSPETTO OVEST VIALE CATTANEO	PROSPETTO NORD VIA CESARE CANTU'	PROSPETTO EST VIALE BATTISTI
ANOMALIE RILEVATE: A –VEGETAZIONE B – MACCHIE C - FESSURAZIONE GIUNTI D – ALTRO……	ANOMALIE RILEVATE: A –VEGETAZIONE B – MACCHIE C - FESSURAZIONE GIUNTI D – ALTRO……	ANOMALIE RILEVATE: A –VEGETAZIONE B – MACCHIE C - FESSURAZIONE GIUNTI D – ALTRO……	ANOMALIE RILEVATE: A –VEGETAZIONE B – MACCHIE C - FESSURAZIONE GIUNTI D – ALTRO……

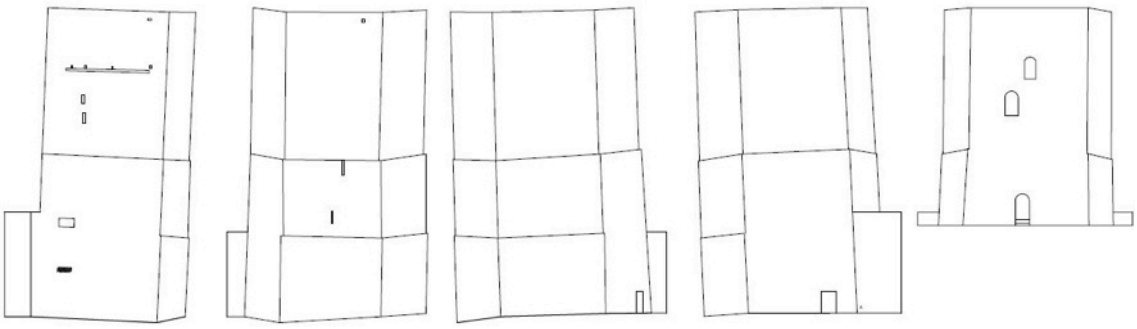
			
INTERNO SUD	INTERNO OVEST	INTERNO NORD	INTERNO EST
ANOMALIE RILEVATE: A –VEGETAZIONE B – MACCHIE C - FESSURAZIONE GIUNTI D – ALTRO……	ANOMALIE RILEVATE: A –VEGETAZIONE B – MACCHIE C - FESSURAZIONE GIUNTI D – ALTRO……	ANOMALIE RILEVATE: A –VEGETAZIONE B – MACCHIE C - FESSURAZIONE GIUNTI D – ALTRO……	ANOMALIE RILEVATE: A –VEGETAZIONE B – MACCHIE C - FESSURAZIONE GIUNTI D – ALTRO……

NOTE DI COMPILAZIONE:

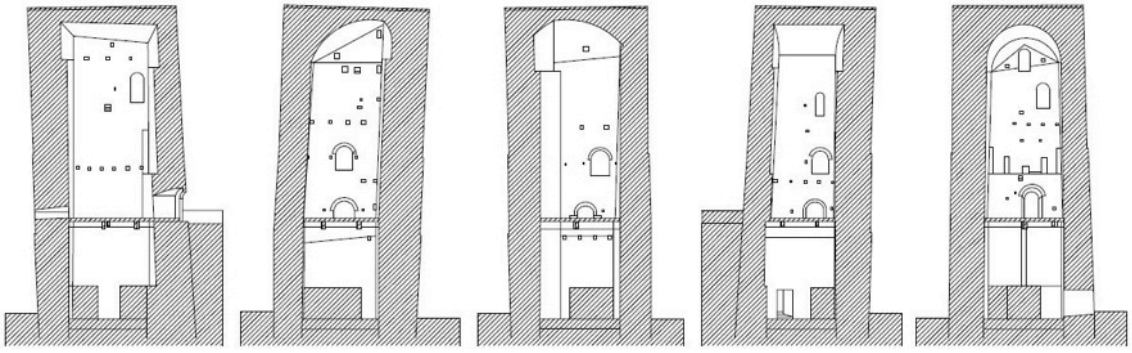
1 - SEGNARE CON UNA CROCE LA LETTERA CORRISPONDENTE AL DEGRADO RISCONTRATO SUL PROSPETTO

2 – INDICARE SUL PROSPETTO LA COLLOCAZIONE DEL DEGRADO POSIZIONANDO LA LETTERA CORRISPONDENTE

SCHEDA DI RILIEVO		TORRE GATTONI	
PROGRAMMA DEI CONTROLLI:		ANNUALE	
RILIEVO CORRENTE	DATA: ……	ESEGUITO DA:……	FIRMA: ……
RILIEVO PRECEDENTE	DATA: ……	ESEGUITO DA:……	NOTE: ……



PROSPETTO OVEST VIALE VARESE	PROSPETTO S-O VIALE VARESE	PROSPETTO S-E VIALE CATTANEO	PROSPETTO EST VIALE CATTANEO	PROSPETTO NORD GIARDINO MANTERO
ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:
A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE
B – MACCHIE	B – MACCHIE	B – MACCHIE	B – MACCHIE	B – MACCHIE
C - FESSURAZIONI	C - FESSURAZIONI	C - FESSURAZIONI	C - FESSURAZIONI	C - FESSURAZIONI
D – ALTRO……	D – ALTRO……	D – ALTRO……	D – ALTRO……	D – ALTRO……



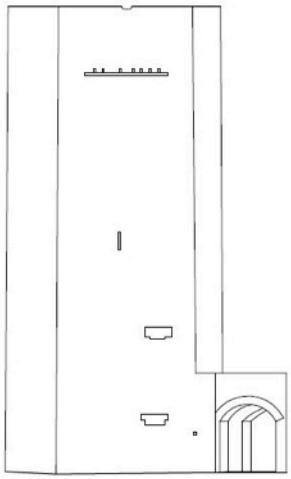
PROSPETTO OVEST VIALE VARESE	PROSPETTO S-O VIALE VARESE	PROSPETTO S-E VIALE CATTANEO	PROSPETTO EST VIALE CATTANEO	PROSPETTO NORD GIARDINO MANTERO
ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:
A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE
B – MACCHIE	B – MACCHIE	B – MACCHIE	B – MACCHIE	B – MACCHIE
C - FESSURAZIONI	C - FESSURAZIONI	C - FESSURAZIONI	C - FESSURAZIONI	C - FESSURAZIONI
D – ALTRO……	D – ALTRO……	D – ALTRO……	D – ALTRO……	D – ALTRO……

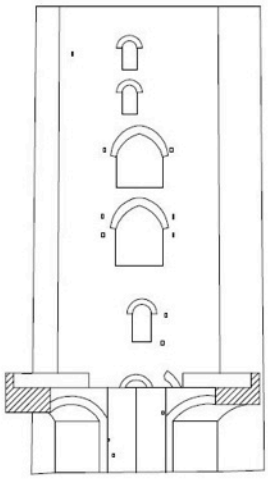
NOTE DI COMPILAZIONE:

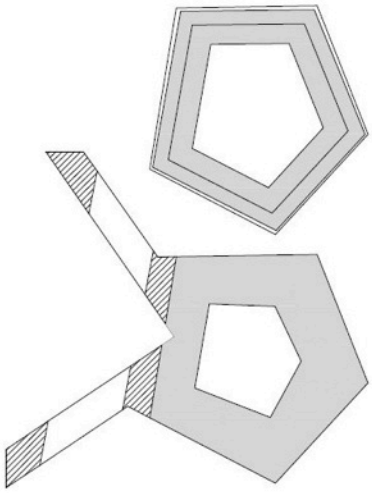
1 - SEGNARE CON UNA CROCE LA LETTERA CORRISPONDENTE AL DEGRADO RISCONTRATO SUL PROSPETTO

2 – INDICARE SUL PROSPETTO LA COLLOCAZIONE DEL DEGRADO POSIZIONANDO LA LETTERA CORRISPONDENTE

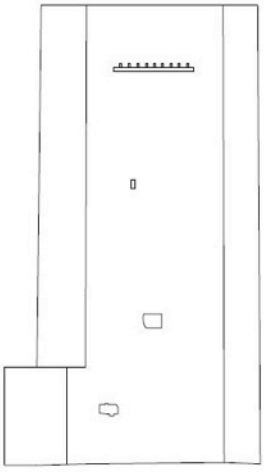
SCHEDA DI RILIEVO		TORRE SAN VITALE	
PROGRAMMA DEI CONTROLLI:		ANNUALE	
RILIEVO CORRENTE	DATA: ……	ESEGUITO DA:……	FIRMA: ……
RILIEVO PRECEDENTE	DATA: ……	ESEGUITO DA:……	NOTE: ……

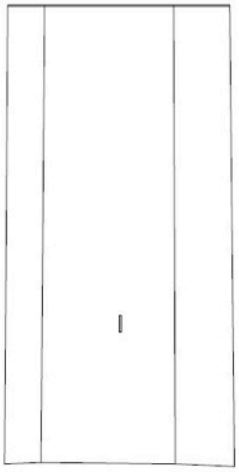


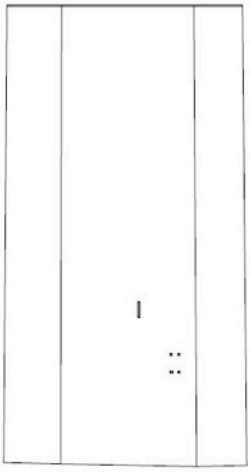




PROSPETTO NORD VIA NAZARIO SAURO	PROSPETTO OVEST VIA BALESTRA	SOPRA: PIANTA SOMMITA' SOTTO: PIANTA LIVELLO TERRA
ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:
A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE
B – MACCHIE	B – MACCHIE	B – MACCHIE
C - FESSURAZIONE GIUNTI	C - FESSURAZIONE GIUNTI	C - FESSURAZIONE GIUNTI
D- ALTRO ……	D- ALTRO ……	D- ALTRO ……







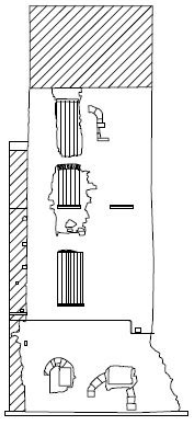
PROSPETTO SUD-OVEST VIALE BATTISTI	PROSPETTO SUD-EST VIALE BATTISTI	PROSPETTO EST VIALE LECCO
ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:
A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE
B – MACCHIE	B – MACCHIE	B – MACCHIE
C - FESSURAZIONE GIUNTI	C - FESSURAZIONE GIUNTI	C - FESSURAZIONE GIUNTI
D- ALTRO ……	D- ALTRO ……	D- ALTRO ……

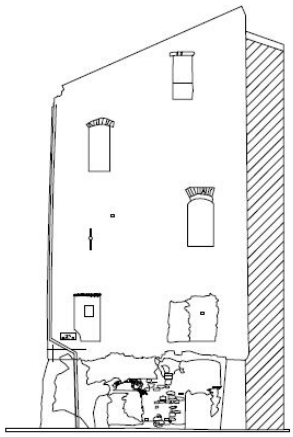
NOTE DI COMPILAZIONE:

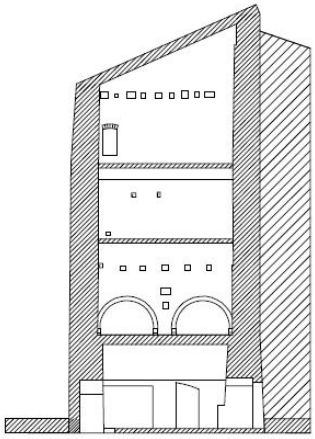
1 - SEGNARE CON UNA CROCE LA LETTERA CORRISPONDENTE AL DEGRADO RISCONTRATO SUL PROSPETTO

2 – INDICARE SUL PROSPETTO LA COLLOCAZIONE DEL DEGRADO POSIZIONANDO LA LETTERA CORRISPONDENTE

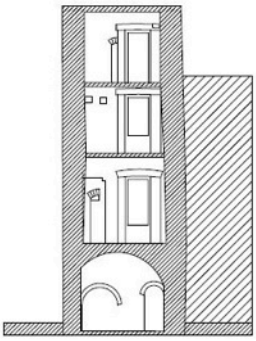
SCHEDA DI RILIEVO		TORRE PANTERA	
PROGRAMMA DEI CONTROLLI:		ANNUALE	
RILIEVO CORRENTE	DATA: ……	ESEGUITO DA:……	FIRMA: ……
RILIEVO PRECEDENTE	DATA: ……	ESEGUITO DA:……	NOTE: ……

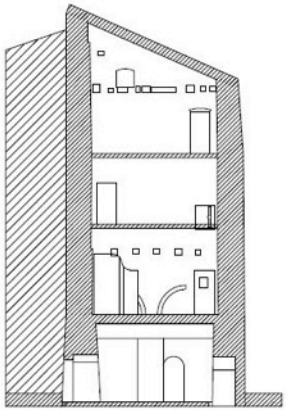


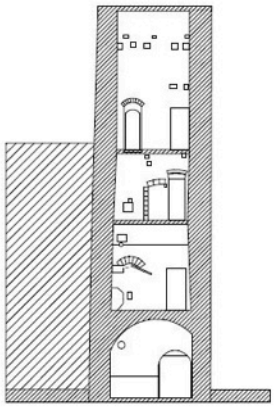




PROSPETTO OVEST VIA RODARI	PROSPETTO SUD PIAZZA VERDI	INTERNO NORD
ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:
A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE
B – MACCHIE	B – MACCHIE	B – MACCHIE
C - FESSURAZIONE GIUNTI	C - FESSURAZIONE GIUNTI	C - FESSURAZIONE GIUNTI
D- ALTRO ……	D- ALTRO ……	D- ALTRO ……







INTERNO OVEST	INTERNO SUD	INTERNO EST
ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:	ANOMALIE RILEVATE:
A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE	A –VEGETAZIONE
B – MACCHIE	B – MACCHIE	B – MACCHIE
C - FESSURAZIONE GIUNTI	C - FESSURAZIONE GIUNTI	C - FESSURAZIONE GIUNTI
D- ALTRO ……	D- ALTRO ……	D- ALTRO ……

NOTE DI COMPILAZIONE:

1 - SEGNARE CON UNA CROCE LA LETTERA CORRISPONDENTE AL DEGRADO RISCONTRATO SUL PROSPETTO

2 – INDICARE SUL PROSPETTO LA COLLOCAZIONE DEL DEGRADO POSIZIONANDO LA LETTERA CORRISPONDENTE

SCHEDA DI DIAGNOSI

TORRE: ……	DATA: …….. ESEGUITO DA:……..	FIRMA: ……	
ANOMALIE RISCONTRATE A –VEGETAZIONE B – MACCHIE C - FESSURAZIONE GIUNTI	INTERVENTO DI MANUTENZIONE DA ADOTTARE -> 1 - TRATTAMENTO BIOCIDA -> 2 - IDROLAVAGGIO A BASSA PRESSIONE -> 3 - RISTILATURA GIUNTI	SOTTO-PROGRAMMA DEGLI INTERVENTI	SOTTO-PROGRAMMA DELLE PRESTAZIONI
INTERVENTO	SPECIFICHE D'INTERVENTO	FREQUENZA DI INTERVENTO	CRITERIO DI INTERVENTO
1 - TRATTAMENTO BIOCIDA	Rimozione degli infestanti vegetali e piante superiori mediante estirpazione delle strutture vegetative. L'estirpazione meccanica dovrà essere preceduta da un trattamento diserbante con impiego di prodotti chimici applicati per irrorazione fogliare fino a sgocciolamento e in strutture vegetative superiori, con iniezione di agente biocida nell'apparato radicale. L'estirpazione manuale verrà eseguita cin ogni cura solo dopo 20-30 giorni e solo dopo totale essicazione delle strutture vegetative. L'agente biocida impiegato non dovrà essere dannoso per l'ambiente e per l'operatore, verrà comunque applicato con tutte le cautele del caso e dovrà essere evitata ogni possibile reazione indesiderata o dannosa nei confronti delle superfici sulle quali sarà applicata. L'efficacia del biocida, il sistema di applicazione ed il livello di concentrazione della sostanza attiva saranno verificati a mezzo di campionature. Al termine delle operazioni verrà eseguito un lavaggio delle superfici, al fine di rimuovere i residui dell'agente diserbante e le rimanenti strutture vegetative disseccate.	5 ANNI	QUAL'ORA NEL PERIODO DI FREQUENZA SI VERIFICASSE UNA DIFFUSIONE DELL'ANOMALIA NOTEVOLE, QUANTIFICABILE CON UN DEGRADO VISIBILE DALL' OSSERVATORE A TERRA, PROCEDERE CON L'INTERVENTO DI MANUTENZIONE CORRETTIVA
2 - IDROLAVAGGIO A BASSA PRESSIONE	Lavaggio delle superfici con specifica attrezzatura erogante acqua con pressione e temperatura da determinare in relazione alla consistenza del supporto ed alla natura dello sporco da eliminare. Compreso usi di adatti detergenti chimici neutri o prossimi alla neutralità. Il dosaggio più efficace dovrà essere determinato attraverso prove preliminari. Durante le operazioni di pulitura s dovranno adeguatamente proteggere elementi danneggiabili o soggetti a infiltrazione delle acque reflue. Si provvederà, inoltre a controllare il deflusso delle acque in modo tale che non arrechino danno al passaggio pedonale e/o veicolare sottostante. Risciacquo di tutte le superfici trattate con getti d'acqua a pressione regolabile. La eventuale integrazione della pulitura con sistema aeroabrasivo a bassa pressione delle parti molto sporche e con depositi particolarmente resistenti sarà eseguita e valutata a parte.	5 ANNI	QUAL'ORA NEL PERIODO DI FREQUENZA SI VERIFICASSE UNA DIFFUSIONE DELL'ANOMALIA NOTEVOLE, QUANTIFICABILE CON UN DEGRADO VISIBILE DALL' OSSERVATORE A TERRA, PROCEDERE CON L'INTERVENTO DI MANUTENZIONE CORRETTIVA
3 - RISTILATURA GIUNTI	Rimozione di malte di allettamento delle murature eventualmente erose o gravemente decoesionate, successiva risarcitura e stilatura delle parti mancanti delle malte di allettamento con impasto appositamente formulato e costituito da grassello di calce, sabbie a altri aggregati minerali di granulometria e colorazione simile a quelli contenuti nelle malte esistenti. La applicazione della malta di stuccatura verrà eseguita con spatolini metallici e la stilatura sarà puntuale e molto accurata. La malta verrà applicata in più strati successivi se necessario. L'intervento di stilatura non imbratterà le superfici lapidee laterizie dei conci: esse saranno, pertanto, immediatamente tamponate con spugne e acqua deionizzata allo scopo di eliminare ogni residuo della malta di stuccatura, oppure protette, prima delle operazioni di stilatura, con carte adesive o altri materiali di copertura ritenuti idonei allo scopo.	5 ANNI	QUAL'ORA NEL PERIODO DI FREQUENZA SI VERIFICASSE UNA DIFFUSIONE DELL'ANOMALIA NOTEVOLE, QUANTIFICABILE CON UN DEGRADO VISIBILE DALL' OSSERVATORE A TERRA, PROCEDERE CON L'INTERVENTO DI MANUTENZIONE CORRETTIVA

Spazio per ulteriori note:

REGISTRO D'INTERVENTO

LUOGO	
Specificare la torre in oggetto:	
DATA	
Specificare del rilievo o la data dell'intervento di manutenzione:	
OGGETTO DELL' INTERVENTO	
Specificare se si tratta di attività ispettiva o attività di manutenzione:	
AUTORE DELL'ATTIVITÀ	
Specificare se l'autore è un *FUNZIONARIO*comunale qual'ora venga svolta attività ispettiva; *OPERATORE* se attività di manutenzione svolta da impresa incaricata;	
RIFERIMENTI	
Indicare i riferimenti dell'autore: recapito telefonico, indirizzo fisico di riferimento, indirizzo mail.	
PREZZO	
Indicare il prezzo unitario e totale se si tratta di un'attività manutentiva	
NOTE	
Indicare i riferimenti ai documenti o protocolli relativi agli interventi di manutenzione	
RESPONSABILE	
Nome e firma del funzionario che detiene il registro, come assunzione di responsabilità.	

SOMMARIO DEL REGISTRO DI INTERVENTO PRESSO UFFICIO TECNICO

LUOGO	DATA	OGGETTO INTERVENTO	ESEGUITO DA	RESPONSABILEFIRMA

5.

Interventi di consolidamento strutturale

5. Interventi di consolidamento strutturale

5.1. Porta Torre

Porta Torre presenta uno stato di conservazione buono, l'unico elemento che necessita un intervento di consolidamento è la fascia superiore della muratura. Questa zona presenta una diffusione di degradi biologici e fessure nei giunti tra gli elementi lapidei che necessitano di essere tolti, i primi, e rimarginate le seconde. Oltre a ciò, gli interventi proposti per il consolidamento di Porta Torre sono i seguenti:

- Consolidamento del coronamento mediante iniezioni, diatoni in acciaio
- Cerchiatura esterna a livello dei diatoni

Il primo è motivato dalla forte presenza di fessure e della disgregazione del paramento murario che interessano la sommità della torre. Nella fascia superiore è infatti presente una sconnessione degli elementi lapidei lungo i giunti, che potrebbe essere legato all'assenza di uno strato di tenuta che protegge i paramenti dalle infiltrazioni di acqua meteorica. L'inserimento dei diatoni di acciaio avrebbe lo scopo quindi di tenere uniti i paramenti della muratura a sacco prevenendo fenomeni di distacco e di caduta di elementi lapidei dall'alto.
L'intervento di ristilatura dei giunti citato precedentemente dovrà essere eseguito dopo la realizzazione di questo intervento proposto.
Il secondo intervento è motivato dal tentativo di rendere la struttura più compatta e con un comportamento più scatolare. In corrispondenza delle piastre di ancoraggio dei diatoni, la torre verrà dotata di una cerchiatura esterna che cucirà la torre nel piano, migliorando il suo comportamento.
L'idea di realizzare una cerchiatura esterna và anche nella direzione dell'intervento di consolidamento proposto. Infatti la torre sarà fruita internamente attraverso la scala che consentirà il raggiungimento della sommità per la realizzazione di un nuovo punto panoramico sulla città. L'idea di portare esternamente la cerchiatura và nella direzione di rispettare le murature interne per essere osservate nel loro sviluppo verticale senza interruzioni.

5.1.1. Consolidamento del coronamento

L'intervento di consolidamento del coronamento consiste in iniezioni di boiacca e nell'inserimento di barre d'acciaio passanti nella sezione, bloccati con piastre di contrasto sulla muratura che realizzano dei veri e proprio diatoni.

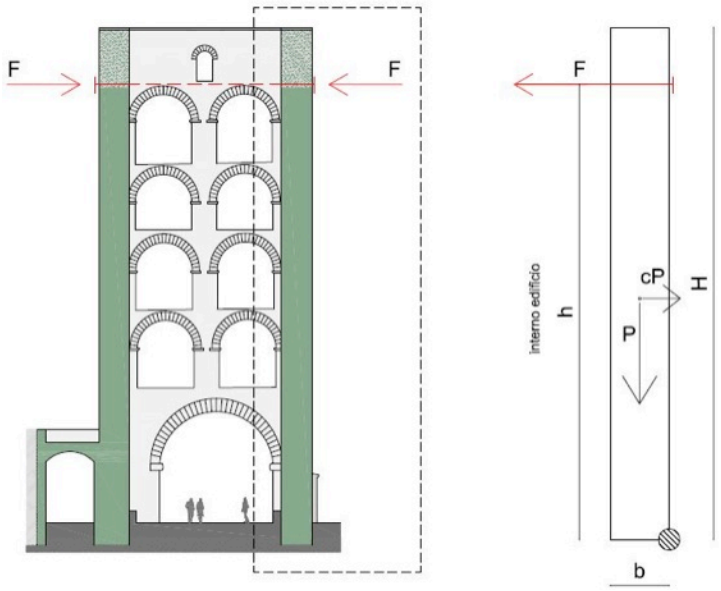
La tecnica delle iniezioni permette di migliorare le caratteristiche di resistenza della muratura grazie alla reintegrazione del legante e alla saturazione di eventuali vuoti o discontinuità. La miscela utilizzata è una boiacca di calce idraulica e acqua in parti uguali con l'aggiunta di additivi fluidificanti e antiritiro. L'intervento è limitato alla fascia superiore, fino a 5 m dalla sommità della Torre e dovrà essere svolto partendo dal basso verso l'alto e dall'esterno verso l'interno. Bisognerà procedere con la perforazione di tutta la sezione e la sigillatura del foro da una parte del muro. Dopodiché si procederà con l'inumidimento del foro per favorire la penetrazione e l'ancoraggio della malta senza tuttavia generare un infiltrazione d'acqua vera e propria d'acqua nella muratura. Successivamente si procederà con la colatura attraverso un boccaglio che consente la penetrazione in profondità dei fori. L'operazione verrà quindi ripetuta in piano e successivamente per la fila adiacente superiore.

Questo sistema sarà collaborante con le barre d'acciaio passanti filettate. Queste saranno inserite in un foro passante e verranno ancorate alla muratura con piastre d'acciaio di contrasto che daranno origine ad una vera e propria tirantatura della sezione.

La realizzazione di questo sistema, da origine ad un cordolo in sommità che migliora il comportamento della torre.

5.1.2. Cerchiatura esterna

La cerchiatura in oggetto ha come obiettivo quello di cucire insieme i setti murari, pertanto viene dimensionato in funzione di un carico orizzontale agente proporzionale ai carichi gravitazionali presenti. Seguendo lo schema statico della fig.5.1, si giunge a valutare la forza necessaria a contrastare il ribaltamento del concio murario interessato con cui dimensionare l'elemento resistente.



Momento stabilizzante:

$$Ms = P\,\frac{b}{2} + F\,h$$

Momento ribaltante:

$$Mr = c\,P\,\frac{h}{2}$$

Ribaltamento:

$$Ms = Mr$$

Da cui:

$$F = \frac{c\,P\,\frac{h}{2} - P\,\frac{b}{2}}{h}$$

Figura 5.1. – Porta Torre: Schema statico di calcolo delle cerchiature

con:

F : forza cerchiante;
P : forza peso della parte di muro interessata;
c : quota parte di azione orizzontale (spinta di fornici);
H: altezza del muro
h : quota della cerchiatura;
b : sezione del muro.

Quello che si vuole definire è quanto l'effetto della cerchiatura migliori il comportamento della struttura.

Nell'ipotesi che le cerchiature saranno realizzare con delle barre in acciaio inox AISI 316 con un diametro di 24 mm, si esplicita quella che sarà l'azione resistente.

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	276	N/mm^2	*Carico di snervamento barre accio inox AISI 316*
γ	1,05	-	*Coefficiente di sicurezza materiale DM. 14.01.08*
f_{yd}	263	N/mm^2	*Carico di progetto barre acciaio inox AISI 316*
ϕ	24	mm	*Diametro barra*
F_{RD}	119	kN	*Forza resistente di progetto della barra cerchiante*

Le ipotesi fatte sono :

- La muratura in oggetto viene considerato un solido monolitico ed omogeneo;
- Peso specifico della muratura a sacco 17, 5 kN/m^3 ;[41]
- Il calcolo viene eseguito sul muro ovest indicato con il tratteggio in figura 5.7 che presenta una altezza da un ipotetica cerniera a terra maggiore, e la presenza di una possibile spinta per effetto dei fornici.
- L'area di influenza della singola cerchiatura corrisponde a metà muro in pianta.

Si valuta ora il coefficiente c [-] che determina la quota parte di azione orizzontale che la cerchiatura è in grado di assorbire. Tale valutazione concretizza l'effetto del consolidamento mediante cerchiatura e quanto migliori il comportamento globale della struttura. Dalla relazione trovata precedentemente si ricava c:

$$c = \frac{2F}{P} + \frac{b}{h}$$

Dati		U.M.	*Descrizione*
h	29	m	*Altezza della cerchiatura*
b	3	m	*Larghezza sezione di muro interessata*
F_{RD}	119	kN	*Forza resistente di progetto della barra cerchiante*
P_{AD}	11335	kN	*Forza verticale agente SLU*
c	0,12		*Quota parte di spinta orizzontale (spinta dei fornici)*

Da cui è possibile valutare un'azione orizzontale proporzionale all'azione gravitazionale a cui la cerchiatura è in grado di fare fronte.

$$H = c\,P$$

Dati		U.M.	*Descrizione*
P_{AD}	11335	kN	*Forza verticale agente SLU*
c	0,12		*Quota parte di spinta orizzontale (sisma, fuoripiombo)*
H_{RD}	1410	kN	*Azione resistente allo SLU*

La cerchiatura è in grado di sostenere un carico pari al 12% del peso del muro. Questo sistema può essere migliorato aumentando le cerchiature e discretizzando la muratura in più conci. Tuttavia non si è proposto un intervento diffuso su tutta la torre perché non è ritenuto necessario dato il discreto stato di conservazione della Torre. In aggiunta tale sistema è volutamente posizionato ad una quota alta, laddove è raro che l'osservatore a terra vada a orientare il suo sguardo. Il sistema di cerchiatura potrà essere ripetuto nella facciata

[41] N. Marino, Manuale di geotecnica per l'ingegneria civile, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2006

migliorando complessivamente il comportamento della struttura verso una crescente scatolarità. Gli elaborati grafici allegati al presente documento presentano 2 cerchiature che segnano i prospetti alla quota dell'imposta della finestra e alla quota d'imposta dell'arco dell'ultimo fornice.

5.1.3. Computo metrico estimativo

Si propone di seguito il CME per voci di lavoro relativa all'intervento di consolidamento di Porta Torre.

PORTA TORRE							
COMPUTO METRICO PER VOCI DI LAVORO							
CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE			CERCHIATURA PORTA TORRE			CT	
COD.	LAVORAZIONE	DESCRIZIONE		Q.tà	U.M.	P.U.	P.T.
CT.1	Perforazioni	Perforazioni su murature in mattoni pieni, pietrame o miste eseguite con idonea attrezzatura a sola rotazione a velocità ridotta, a qualsiasi altezza, profondità e giacitura, per spinottature, cuciture, legamenti murari, tirantature, iniezioni, canalizzazioni. Comprese assistenze murarie, opere provvisionali, piani di lavoro, apparecchi guida, pulizia del perforo, allontanamento macerie con diametro fino a 20 mm		400,00	m	€ 29,23	€ 11.692,00
CT.2	Iniezioni	Consolidamento murature di mattoni, pietrame, miste, caotiche, incoerenti, mediante iniezioni di boiacca di calce idraulica fluida additivata, eseguite in fori già predisposti, con idoneo impianto per iniezioni a pressione regolabile. Sono compresi: la sigillatura dei giunti e delle lesioni per impedire la fuoriuscita della boiacca; il fissaggio degli ugelli; la boiacca cementizia fino a completa saturazione della muratura; le opere provvisionali per puntellamenti, protezioni; i piani di lavoro interni. Misurazione sul peso dell'impasto effettivamente utilizzato.		339,29	kg	€ 4,00	€ 1.357,17
CT.3	Acciaio inox diatoni e cerchiatura	Acciaio inox AISI 316 lavorato per catene, cerchiature, cravatte, chiavi da muro, tenditori, zanche, piattabande, fasce e simili, in opera. Compresi tagli, sfridi, adattamenti, fissaggi, ancoraggi, saldature; mano di antiruggine; trasporti, sollevamenti, assistenza muraria alla posa in opera, piani di lavoro.		293,15	kg	€ 12,62	€ 3.699,56
			Prezzo totale intervento di consolidamento strutturale				€ 16.748,73

Sono escluse opere provvisionali, oneri della sicurezza e occupazione di suolo pubblico.

Calcolo delle quantità in riferimento al computo metrico estimativo

PORTA TORRE						
PERFORAZIONI				CERCHIATURE		CT.1
N.	LOCALIZZAZIONE	L 1 [m]	P. UGUALI [-]	P. UGUALI [-]	-	Q.TÀ [m]
1	CORONAMENTO	2,00	10,00 (N. FORI x FILA)	5,00 (N. FILE)	4,00 (PROSPETTI)	400,00
					A riportare	400,00
				CERCHIATURE		CT.2

INIEZIONI						
N.	LOCALIZZAZIONE	L 1 [m]	P. UGUALI [-]	Φ [mm]	[kg/m]	Q.TÀ [kg]
1	CORONAMENTO	2,00	200,00	20,00	0,85	339,29
					A riportare	339,29
ACCIAIO INOX CERCHIATURE				CERCHIATURE		CT.3
N.	LOCALIZZAZIONE	ϕ [mm]	L [m]	P. UGUALI [-]	[kg/m]	Q.TÀ [kg]
1	DIATONI	20,00	2,48	48,00	0,79	93,45
2	PIASTRE 180x12		0,10	16,00	16,96	27,13
3	PIASTRE 180x12		0,20	16,00	16,96	54,26
4	PIASTRE L 300x300x12		0,18	4,00	56,52	40,69
5	CERCHIATURE	24,00	4,75	12,00	1,13	64,43
6	TUBI QUADRI 40X40X5		0,10	24,00	5,50	13,19
					A riportare	293,15

Calcolo della durata con incidenza percentuale della manodopera.

TORRE GATTONI						
DURATA DELL'INTERVENTO						
CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE			CERCHIATURE		CE	
COD. LAV.	PREZZO	UTILE	SPESE	COSTO T.	% INC MANODOPERA (*)	MANODOPERA
MP	€ 16.748,73	€ 1.674,87	€ 2.261,08	€ 12.812,78	40,00%	€ 5.125,11
					Costo complessivo manodopera tolti oneri e spese	€ 5.125,11
					Costo orario manodopera specializzata	€ 29,37
					Costo orario manodopera I livello	€ 22,71
					Costo medio orario manodopera	€ 26,04
					Ore giornata lavorativa	8
					Costo giornata lavorativa	€ 208,33
					Uomini Giorno	25

(*) D.M. 11/12/1978

5.2. Torre Gattoni

Gli interventi proposti per il consolidamento della Torre Gattoni sono i seguenti:

- consolidamento strutturale delle fondazioni con l'impiego di micropali;
- consolidamento delle murature con cerchiature interne.

Il primo è motivato dal cinematismo che presentano i muri sud ovest e sud est, come spiegato al capitolo di rilievo e ribadito nel paragrafo successivo.
Il secondo intervento è motivato dal quadro fessurativo di tutti i prospetti interni, e inoltre dal tentativo di rendere la struttura con un comportamento monolitico e tendere alla "scatolarità", in modo tale da modellare la torre alle azioni sismiche come da DPCM 9.02.2011.[42]

5.2.1. Consolidamento con micropali

Nel caso in esame, ovvero il consolidamento della Torre Gattoni, la funzione dei micropali è quella di risanare le fondazioni dei muri che presentano un cinematismo rotatorio verso l'esterno dell'edificio, ed arrestare questo fenomeno. Questo intervento rientra in un sistema di consolidamento più globale per l'edificio in oggetto: infatti esso dovrà lavorare in parallelo alla cerchiatura adottata, la quale ha lo scopo di rendere monolitica la Torre. I muri oggetto del cinematismo sono quelli sud ovest e sud est come si può vedere dalla pianta riportata in figura 5.2 che mostra la sovrapposizione del livello terra con la sommità, linea tratteggiata.

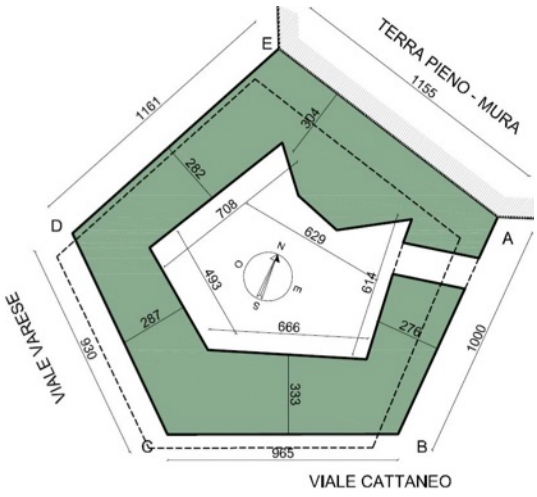


Figura 5.2 – Torre Gattoni: Pianta livello terra e sovrapposizione pianta livello copertura (tratteggiata) *fuori scala.*

In questi muri il fuori piombo misurato è dell'ordine dei 100 cm, pertanto risulta evidente la necessità di un intervento che consolidi questa configurazione, poiché è impossibile ipotizzare un recupero della verticalità data la presenza del terrapieno che realizza il giardino pensile sul

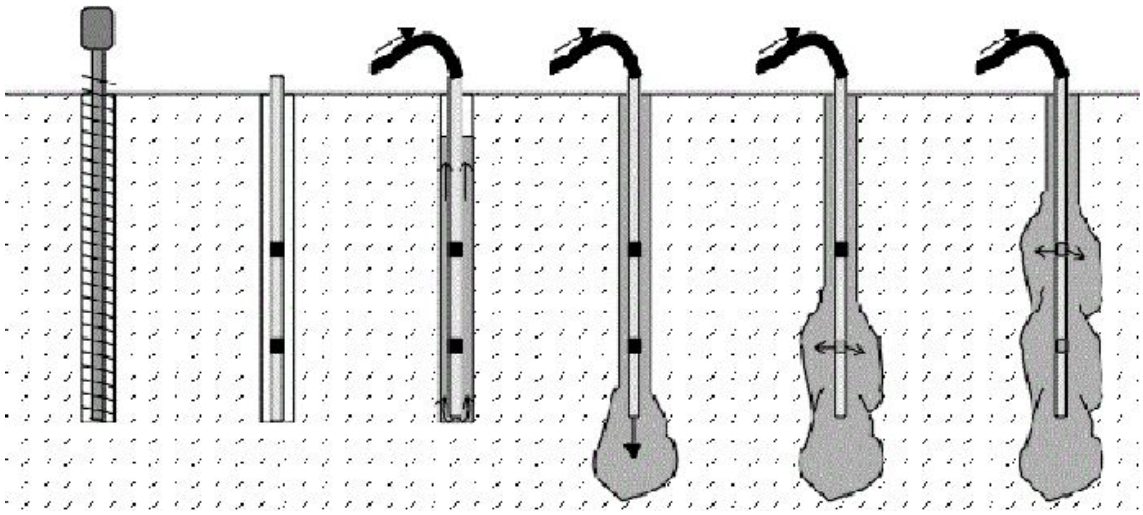
[42] *Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche delle costruzioni 9 Febbraio 2011.*

lato opposto delle mura evidenziate. È anche possibile ipotizzare che questo cinematismo non sia più in atto, ma si sia stabilizzato nel tempo nella configurazione attuale.
La realizzazione di una palizzata di micropali in corrispondenza dei due lati, esterno e interno, dei due muri in oggetto, è una strategia d'intervento per consolidare la fondazione e congelare la configurazione nello stato attuale.

5.2.1.1 Micropali: descrizione, modalità esecutiva e principali verifiche

Il micropalo è un palo di diametro ridotto (ϕ< 300 mm) realizzato con piccole attrezzature anche in luoghi di difficile accesso, come ad esempio il vano della torre in oggetto.
È costituito da un tubo metallico da carpenteria in acciaio S355 - S460 secondo UNI 7806, racchiudente un cilindro di malta di cemento iniettata all'interno e circondato da un manicotto cilindrico, sempre di calcestruzzo, che definisce il contatto tra tale manufatto e il terreno in cui agisce. Il manicotto di malta può essere formato per refluimento di quanto iniettato, dall'estremità inferiore del tubo, o da fori praticati lungo il tubo che, sotto adeguata pressione, risale verso l'alto diffondendo nel terreno circostante ed aderendo alla superficie esterna laterale del palo. I micropali possono portare carichi fino a 50 t e possono raggiungere la lunghezza di 100 m.

Figura 5.3 – Fasi esecutive di un micropalo



1- Esecuzione del foro con asportazione di terreno (solo per pali trivellati)

2-Inserimento del tubo in acciaio con giunti a manicotto e valvole di sfiato malta

3-Lavaggio ed iniezione primaria a gravità del foro

4-Iniezione secondaria e sbulbatura dal fondo

5-Iniezione secondaria e sbulbatura prima valvola

6-Iniezione secondaria e sbulbatura valvole successive

Rispetto ai pali di grande diametro, gettati in opera o prefabbricati, il micropalo, per l'esiguità del diametro, esercita la sua funzione esaltando la portanza laterale rispetto a quella di punta, quasi trascurabile.

Per la progettazione di un micropalo soggetto a compressione sono necessarie le seguenti analisi strutturali:

- Verifica dell'instabilità relativa allo sbandamento laterale (carico di punta);
- La resistenza della sezione reagente (acciaio e calcestruzzo);
- La capacità portante, in base al coefficiente di sicurezza prescelto;
- La resistenza dell'ancoraggio fra testa del palo e struttura supportata.

5.2.1.2. Verifica dell'instabilità o a carico di punta del palo immerso nel terreno[43]

Dalla trattazione di Timoshenko e Gere il carico critico di un'asta immersa in suolo elastico è dato dalla relazione $P_k = \frac{\pi^2 E_P J_P}{L^2}\left(m^2 + \frac{w\, d_p L^4}{m^2 \pi^4 E_p J_p}\right)$ con:

m numero intero di semionde della deformata sinusoidale causata dal carico di punta

$\frac{\pi^2 E_P J_P}{L^2}$ carico critico euleriano di una asta in semplice appoggio fuori terra [kg]

E_p modulo di elasticità del palo considerato di materiale omogeneo [kg/cm^2]

J_p momento di inerzia valutato con: $J_p = \frac{\pi}{64}\left[\left(d_e^4 - d_i^4\right) + \frac{1}{n} d_i^4 + \frac{k_i}{n}\left(d_p^4 - d_e^4\right)\right]$ [cm^4]

d_e diametro esterno del palo in acciaio [cm]

d_i diametro interno del palo in acciaio [cm]

d_P diametro del palo nel terreno compresa la corona di malta [cm]

n rapporto E_a/E_c di omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo variabile fra 7 (per carichi di rapida applicazione) e 21 (se si considerano gli effetti della viscosità)

k_i coefficiente adimensionale del grado di partecipazione dell'alone esterno di malta che tiene conto della qualità esecutiva 0÷1

0,0	mancanza di continuità della malta esterna
0,0 – 0,3	rigonfiamenti verso vuoti interni o dubbi esecutivi
0,3 – 0,5	terreni favorevoli (limi e sabbie fini) o uso di malte plastiche
0,5 – 0,7	uso di malte ad alto dosaggio di cemento con scheletro sabbioso
0,8 – 1,0	Terreno granulare (sabbie e ghiaie) o uso di malte cementizie dosate portate a pressione

[43] E. Ceroni, *Micropali pali di fondazioni - Teoria e pratica,* Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2002, pag 15

w modulo di Winkler per il terreno interessato [kg/cm^3] – tabelle da bibliografia

Il minimo valore di P_k si ottiene imponendo la condizione $\frac{dP_K}{dm} = 0$ che porta alla formula $P_K = 2\sqrt{\beta\ E_a\ J_p}$ con $\beta = w\ d_p$, E_a modulo di elasticità dell'acciaio.

Dovrà risultare alla fine: $\frac{P_k}{10} \geq N_{ad}$ dove N_{ad} è il carico agente allo SLU espresso in [kg].

5.2.1.3. Calcolo a compressione, resistenza del palo[44]

Le componenti resistenti di un micropalo concentricamente disposte sono tre: il nocciolo di malta interno, la struttura metallica, l'alone di malta esterno. Quest'ultimo è previsto nei bilanci inerziali, che stanno alla base dell'analisi d'instabilità come visto nel paragrafo precedente, ed è regolata dal coefficiente k_i.

Nelle verifiche di resistenza invece, il tenerne conto non è assunzione a favore di sicurezza in quanto al contatto con l'ambiente esterno le inclusioni ed i dilavamenti locali sono probabili e viene meno il contributo alla resistenza il che equivale al porre k_i =0.

Se per il micropalo si fa uso di malta cementizia ad alto dosaggio di cemento e scheletro sabbioso, il cilindro di malta interno appare arginato con continuità dalla forma metallica a corona cilindrica perimetrale. Ne risulta l'eliminazione dell'effetto de formativo associato al modulo di Poisson e ciò comporta l'insorgenza di uno stato di tensione triassiale sotto azione esterna monoassiale. Questa circostanza dà luogo a valori di resistenza limite anche 3 volte superiori a quelli di un buon calcestruzzo. Pertanto la verifica a compressione si può fare o considerando il complesso tubo-malta interna o solo il tubo.

Nel primo caso la sezione omogeneizzata vale: $A_{id} = \frac{\pi}{4}\left(d_e^2 - d_i^2\right) + \frac{1}{n}\frac{\pi}{4} d_i^2$

Si dovrà verificare il carico limite con la relazione:

- Lato acciaio: $N_{rd} = A_{id}\ f_{yd} > N_{ad}$
- Lato calcestruzzo: $N_{rd} = \frac{A_{id}\ f_{yd}}{n} > N_{ad}$

Nel secondo caso, per il solo tubo, la verifica è quella consueta per una sezione omogenea resistente ad azione assiale. In funzione della tecnologia esecutiva si definisce se considerare o meno le due sezioni collaboranti. In ogni caso dato il decadimento del comportamento della sezione mista è prudente considerare la sola sezione metallica.

[44] E. Ceroni, *Micropali pali di fondazioni - Teoria e pratica,* Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2002, pag 19

5.2.1.4. Capacità portante

Metodo semplificato[45]

Una palificata di micropali, al di là di una modesta indagine geognostica, non necessita di indagini particolareggiate. Ove si possano avere dei dubbi, il problema progettuale di conoscere il carico limite del palo si può risolvere con le prove di carico in situ su un palo infisso, con costi non eccessivi. Da fonti bibliografiche[46] sono state estrapolate le seguenti informazioni:

- In terreni teneri, il micropalo sviluppa la sua portata entro lunghezze di 30 m;
- In terreni di media qualità tale lunghezza si riduce a 20 m;
- In terreni di buona qualità come le argille si riduce a 10 ÷ 15 m:
- In ghiaia e sabbia il limite varia fra 6 e 10 m.

Come è noto il palo agisce esclusivamente per attrito laterale, il carico limite è espresso con la relazione: $N_{lim} = \pi\, d_p\, L\, I\, \tau$ espressa in [kg] con:

τ Rappresenta mediamente, per l'intera lunghezza, l'interazione tra palo e terreno che fisicamente si può interpretare come lo sforzo di aderenza o di taglio fra palo e terreno ovvero la coesione stessa del terreno

- Terreno molle τ = 0,50 [kg/cm^2]
- Terreno sciolto τ = 1,00 [kg/cm^2]
- Terreno medio τ = 1,50 [kg/cm^2]
- Terreno compatto, sabbia e ghiaia τ = 2,00 [kg/cm^2]

I Coefficiente di forma adimensionale che dipende dal diametro nominale del palo

- Diametro ϕ 10 cm I = 1,00
- Diametro ϕ 15 cm I = 0,90
- Diametro ϕ 20 cm I = 0,85
- Diametro ϕ 25 cm I = 0,80

d_P Diametro del palo, comprensivo del manicotto di ancoraggio al terreno in calcestruzzo. È possibile determinare un valore di diametro medio sostitutivo

[45] E. Ceroni, *Micropali pali di fondazioni - Teoria e pratica,* Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2002, pag 23
[46] *Idem*

valutato, in funzione della qualità del terreno, tramite un coefficiente amplificativo:

$D = \alpha\ d_P$ [cm]

- α = 1,2 ÷ 1,8 per la ghiaia
- α = 1,1 ÷ 1,6 per le sabbie e i limi
- α = 1,2 ÷ 2 per le argille
- α = 1,1 ÷ 1,2 per roccia alterata e frammentata

L Lunghezza del palo [cm]

Il fattore di sicurezza si ricava dal rapporto tra il carico limite e il carico agente allo stato limite ultimo,valutato anch'esso in [kg], e deve essere maggiore di un valore normato. $\gamma = \frac{N_{lim}}{N_{ad}} \geq 3$

Metodo statico[47]

Quando il micropalo è immerso nel terreno, può trovarsi in svariate condizioni di interazione con il terreno attraversato. Possono aversi strati omogenei di elevate caratteristiche meccaniche che permettono trasmissione di sforzi del tipo τ fra superficie laterale del palo e terreno circostante per cui risulta valida la trattazione precedente. Possono altresì aversi strati di differenti caratteristiche, per cui ogni strato trasferisce sforzi unitari di entità differente. Possono infine aversi strati di materiale non affidabile, prima di giungere in terreni più idonei. L'approccio per questi ultimi due casi è diverso.

Il comportamento del palo nel terreno di può dividere in due categorie:

- interazione del terreno con la superficie laterale del palo che dà luogo alla cosiddetta portanza laterale, caso tipico dei micropali:
- interazione del terreno con la sola base o punta del palo che dà luogo alla portanza della base.

In sostanza, il carico agente verticale N_{ad} sul palo è in parte equilibrato dalle reazioni delle forze di attrito Q_f distribuite lungo il fusto e dalla reazione del terreno sulla base o punta del palo Q_b e quindi il carico limite è $Q_L = Q_f + Q_b > N_{ad}$ che può essere sviluppato nelle formule:

$$Q_b = A_b [(c N_c) + (\gamma H N_q) + (0{,}3d \gamma N_\gamma)]$$

$$Q_f = A_L \Delta H F_m$$

[47] E. Ceroni, *Micropali pali di fondazioni - Teoria e pratica,* Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2002 pag 24

Con:

A_b	area di base del palo [m^2]
c	Coesione [kg/cm^2]
N_c, N_q, N_γ	coefficienti adimensionali sperimentali – tabelle da letteratura geotecnica
γ	peso specifico del terreno [kg/m^3]
d	diametro del palo (D per micropali) [m]
H	lunghezza del palo a contatto con il terreno [m]
A_L	superficie laterale unitaria del fusto del palo [m^2/m]
ΔH	lunghezza del palo che interagisce per attrito [m]
F_m	rResistenza media unitaria di attrito [kg/cm^2]

Come visto, la portanza è dovuta alla coesione del terreno ed all'attrito.

5.2.1.5 Portanza laterale : effetto dell'attrito[48]

Per definire l'effetto dell'attrito bisogna valutare la pressione che si esercita tra palo e terreno, che è correlata alla tecnologia di messa in opera dei pali. I pali infissi hanno valori di pressione terreno - palo superiori a quella dei pali trivellati. Con prove penetrometriche affidabili è possibile misurare la resistenza di punta R_p con cui ricavare, con le seguenti relazioni, la resistenza media unitaria di attrito F_m:

Per terreni incoerenti densi	$F_m = 0{,}002\ R_p$
Per terreni incoerenti sciolti	$F_m = 0{,}005\ R_p$
Per terreni argillosi	$F_m = 0{,}002\ R_p$

Nei terreni drenanti la resistenza di attrito unitaria si può scrivere nella forma

$F_m = k\ \gamma\ z\ \tan\delta$ Con:

k	coefficiente di spinta pari a $\tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$
z	profondità media del tratto considerato
γ	peso specifico del terreno
δ	(0,5÷1,00) φ
φ	angolo di attrito interno da relazione geotecnica

[48] E. Ceroni, *Micropali pali di fondazioni - Teoria e pratica,* Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2002, pag 26

5.2.1.6 Portanza di base della punta del palo[49]

Per i terreni sabbiosi e facilmente drenabili in cui c=0 ed il terzo termine del trinomio è trascurabile, la formula si riduce a:

$$Q_b = A_b \gamma H N_q$$

A_b Area di base del palo [m^2]

N_q Coefficiente adimensionale sperimentale – tabelle da letteratura geotecnica

γ Peso specifico del terreno [kg/m^3]

5.2.1.7 Ancoraggio alle strutture superiori[6]

Il micropalo, sia che lavori a trazione, sia che lavori a compressione , deve efficacemente ancorarsi alla struttura da esso supportata o comunque al sistema di masse che gli comunica la forza N_{ad} assunta come base di calcolo.

Se la testa del micropalo non viene corredata con appositi equipaggiamenti, la lunghezza di ancoraggio l_b viene determinata utilizzando le tensioni di aderenza fra acciaio e struttura supportata e la sua determinazione diventa agevole attraverso la presente formula:

$l_b = \frac{N_{ad}}{\pi\, d_e \tau_{br}}$ con d_e diametro del palo in acciaio; τ_{br} tensione di aderenza valutabile come:

$\tau_{br} = \beta\, f_{ct}$ con β rapporto di contatto efficace; f_{ct} resistenza a trazione del cls.

Se la lunghezza ottenuta è superiore a quella che il dimensionamento delle strutture interferenti col micropalo consentono è necessario attrezzare l'estremità superiore della componente metallica con elementi resistenti come ad esempio tondini in acciaio a cavallotto, saldati e non, o piastre nervate saldate. Dalla letteratura della tecnica delle costruzioni è possibile ricavare le formule necessarie al dimensionamento di tali elementi.

5.2.1.8. Aspetti tecnologici dei micropali

La conoscenza del sito e del terreno dove verranno messi in opera i micropali, è una componente determinante per definire il comportamento più prossimo alla realtà del sistema di consolidamento. Nel caso in oggetto, come riportato nel terzo capitolo, si presuppone una conoscenza del terreno in esame, essendo state proposte delle prove geognostiche di conoscenza del terreno che consistono nei carotaggi e nelle prove penetrometriche. Questo approccio di indagine porta, nella soluzione del problema, ad un risultato atteso benefico per la struttura.

[49] E. Ceroni, *Micropali pali di fondazioni - Teoria e pratica,* Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2002, pag 29

Un ulteriore approccio al problema è rappresentato dalla sperimentazione in sito della corretta realizzazione dell'intervento. Sarà necessario eseguire un micropalo di prova e portarlo a rottura attraverso una prova di carico, allo scopo di valutare la sua portanza limite e poterne confrontare il valore ottenuto con quello teoricamente calcolato.

Come illustrato nella trattazione, il carico ammissibile per ogni palo deve essere inteso secondo quattro criteri concettuali, ciascuno corrispondente ad uno dei seguenti aspetti fisici del problema: l'ancoraggio micropalo-sovrastruttura, la stabilità flessionale del micropalo, la resistenza meccanica del micropalo e infine l'iterazione struttura-terreno. I quattro carichi limite ottenuti sono determinati con procedimenti indipendenti. Il valore più basso dei quattro rappresenta il limite assoluto.

5.2.1.9. Progetto dei micropali per il consolidamento della Torre Gattoni

Come anticipato nel paragrafo 5.2 si procede con il progetto dei micropali per il consolidamento della Torre Gattoni. Il progetto consiste nella realizzazione di una palificata con pali infissi nel terreno. I pali avranno una corona interna in acciaio del diametro esterno di 140 mm con uno spessore di 20 mm. Le iniezioni di malta successive daranno luogo ad un palo dello spessore di 200 mm per la sbulbatura delle valvole di sfiato della malta, poste ogni 100 cm di sezione di palo. I tubi in acciaio saranno elementi da 5 m con giunto a manicotto predisposto sul palo superiormente per facilitare le operazioni di montaggio in sequenza di ogni tratto infilato. L'altezza totale sarà di 25 m. L'interasse tra pali, dimensionato come 3 d_P, risulta pari a 60 cm. Verranno impiegati 32 pali per il muro sud-ovest e 34 per il muro sud-est suddivisi equamente su entrambi i lati. I pali avranno un inclinazione di 10° sulla verticale per facilitare le operazioni di inserimento nel terreno e dovranno essere sfalsati internamente ed esternamente per evitare di intersecarsi. Superiormente i pali saranno collegati ad una piastra a sua volta annegata in un cordolo di cls. Tale cordolo sarà connesso alla muratura tramite barre ancorate nella muratura con malte da inghisaggio.

Figura 5.4 - Carta Geologica d'Italia foglio 32 COMO, dettaglio. Il colore indica i depositi alluvionali terrazzati. www.apat.gov.it/media/carta_geologica_italia/tavoletta.asp?foglio=32, Ottobre 2011

Non avendo a diposizione dati geotecnici e geologici, per i quali è stata prescritta un indagine geognostica nel capitolo sul progetto della diagnostica, si fa riferimento alla Carta Geologica d'Italia per avere un quadro di riferimento del terreno in esame di cui è riportata il foglio d'insieme in figura 5.5 e il dettaglio in figura 5.4 L'ipotesi che viene fatta è quella di considerarlo un miscuglio eterogeneo di sabbie, fasi limose, argille, rappresentate in maniera casuale ed in percentuali variabili nell'ambito della stessa formazione, classificabile empiricamente come terra umida.

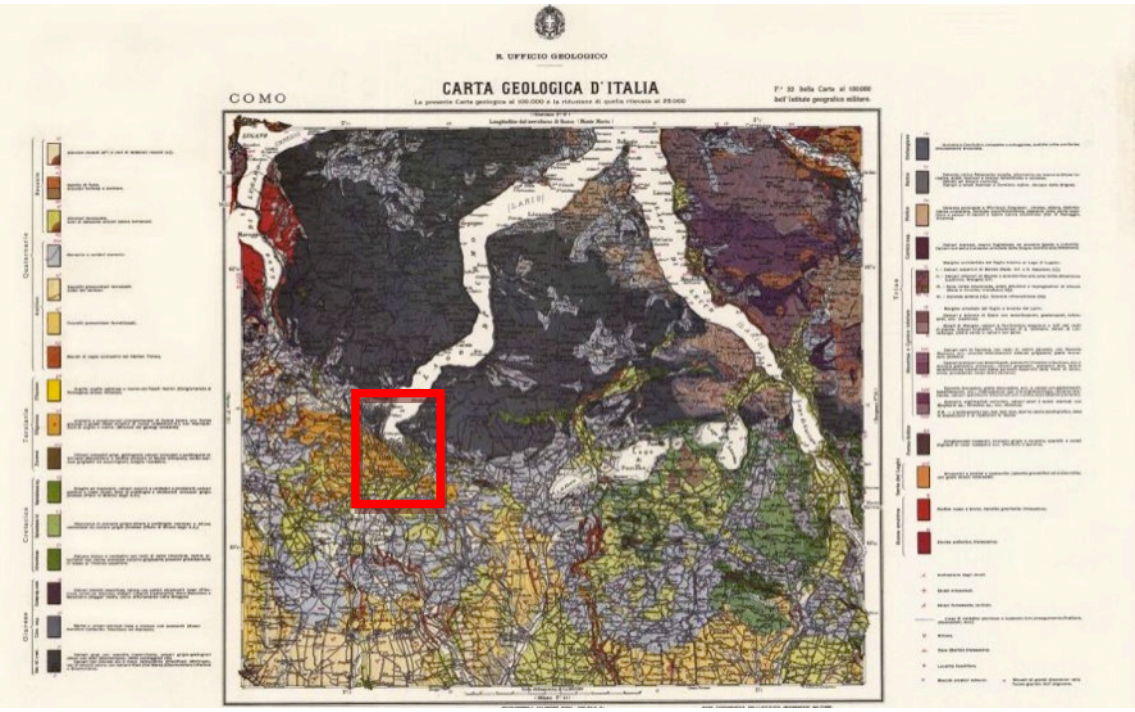


Figura 5.5 - Carta Geologica d'Italia foglio 32 COMO. In rosso è indicato il dettaglio di fig.5.3
www.apat.gov.it/media/carta_geologica_italia/tavoletta.asp?foglio=32, Ottobre 2011

Una commissione per lo studio dei fenomeni di subsidenza, istituito dal Comune di Como nel 1974 ha raccolto e analizzato 115 pozzi che ha permesso di ricostruire la stratigrafia generale del bacino della città di Como. La successione generale stratigrafica ricavata dallo studio è composta da :

- riempimento di materiali eterogenei tra 1-10 m;
- sabbie e ghiaie, fino alla profondità di 15-24 m;
- limi palustri con contenuto organico fino a 50 m;
- argille lacustri inorganiche fino a 40-60 m;
- sabbie e ghiaie fino a 170 m.

Le indagini geotecniche hanno dimostrato che i limi palustri e le argille lacustri sono normal consolidate[50]. I presenti dati sono da considerarsi valido e utili per procedere con le ipotesi di calcolo dei micropali.

5.2.1.10 Analisi dei Carichi

Vengono considerati carichi gravanti sulla fondazione i pesi propri dei muri oggetto del consolidamento ovvero quello sud ovest su Viale Varese e quello sud est su Viale Cattaneo, con riferimento alla figura 5.1 . Viene trascurato il peso proprio del palo perché di un ordine di grandezza inferiore.

Muro sud ovest – Viale Varese

Dati		U.M.	*Descrizione*
d_1	9,30	m	*Lunghezza del muro*
d_2	2,87	m	*Larghezza max del muro*
h	28,50	m	*Altezza del muro*
γ	22,0	kN/m^3	*Peso specifico muratura in arenaria*
$\%_{SACCO}$	75,00%	-	*Percentuale riduttiva per muratura a sacco*
$\%_{CARICO\ PORTATO}$	50,00%	-	*Percentuale di carico su pali*
P_{MURO}	6275,7	kN	*Peso del muro*
i	0,6	m	*Interasse tra pali (i = 3d_p)*
f	2	-	*Numero pali per sezione*
n	16	-	*Numero pali per lato*
n_{tot}	32	-	*Numero pali totale per muro*
N_{AK}	196,1	kN	*Azione caratteristica agente sul palo*
γ_G	1,3	-	*Pesi propri strutturali - SLU*
N_{AD1}	255,0	kN	*Azione agente sul palo*
N_{AD1}	25,5	t	*Azione agente sul palo*

Muro sud est - Viale Cattaneo

Dati		U.M.	*Descrizione*
d_1	9,65	m	*Lunghezza del muro*
d_2	3,33	m	*Larghezza max del muro*
h	28,50	m	*Altezza del muro*
γ	22,0	kN/m^3	*Peso specifico muratura in arenaria*
$\%_{SACCO}$	75,00%	-	*Percentuale riduttiva per muratura a sacco*
$\%_{CARICO\ PORTATO}$	50,00%	-	*Percentuale di carico su pali*
P_{MURO}	7555,6	kN	*Peso del muro*
i	0,6	m	*Interasse tra pali (i = 3d_p)*
f	2	-	*Numero pali per sezione*
n	17	-	*Numero pali per lato*
n_{tot}	34	-	*Numero pali totale per muro*

[50] Valerio Comercia et al*, Land subsidence and Late Glacial environmental evolution of the Como urban area*, Università dell' Insubria, Como, 2007

N_{AK}	222,2	kN	*Azione caratteristica agente sul palo*
γ_G	1,3	-	*Pesi propri strutturali - SLU*
N_{AD2}	288,9	kN	*Azione agente sul palo*
N_{AD2}	28,9	t	*Azione agente sul palo*

La % di carico portato indica una diminuzione del peso per l'effetto di appoggio diretto al terreno del muro, per cui è lecito ipotizzate una riduzione del carico.

Carico agente per dimensionamento max [N_{AD1}; N_{AD2}]			
N_{AD}	288,9	kN	*Carico agente*

5.2.1.11. Verifica di instabilità

Secondo la teoria riportata al paragrafo 5.1.2. si riporta la verifica d'instabilità del palo.

Dati		U.M.	*Descrizione*
E_a	2100000	kg/cm^2	*Modulo di elasticità dell'acciaio*
E_c	300000	kg/cm^2	*Modulo di elasticità del calcestruzzo*
J_P	1503,502664	cm^4	*Momento d'inerzia del palo*
d_e	14	cm	*Diametro esterno del palo d'acciaio*
d_i	10	cm	*Diametro interno del palo d'acciaio*
d_p	20	cm	*Diametro del palo finito*
n	21	-	*Rapporto di omogeneizzazione con viscosità*
k_i	0,3	-	*Grado di partecipazione*
w	4,5	kg/cm^3	*Modulo di Winkler (*)*
β	90	kg/cm^2	*Parametro* $= w\, d_p$
P_K	1066137,0	kg	*Carico di instabilità*
P_K	1066,1	t	*Carico di instabilità*
P_K	10661,4	kN	*Carico di instabilità*
$P_K/10$	1066,1	kN	*Carico critico*
N_{AD}	288,9	kN	*Carico agente*
$P_K/10 > N_{AD}$	VERO	-	*Verifica di instabilità*

(*) dato da letteratura[51] geotecnica per miscugli eterogenei di sabbie, fasi limose, argille, rappresentate in maniera casuale ed in percentuali variabili nell'ambito della stessa formazione, classificabile empiricamente come terra umida.

5.2.1.12. Verifica di resistenza

Secondo la teoria riportata al paragrafo 5.2.1.3. si riporta la verifica di resistenza del palo; si considera una verifica di resistenza ad azione assiale per una sezione resistente in acciaio. L'inclinazione dei pali sarà di 10° e tale disallineamento non implica modifiche nei modelli di calcolo proposti per pali verticali infissi nel terreno.

[51] Mammino A., *I micropali: tecniche di progetto e di verifica,* Firenze 1994

Dati		U.M.	*Descrizione*
Acciaio	S355H		*Tipo acciaio*
f_{yk}	335	N/mm^2	*DM 14.01.08 Tab. 11.3.X*
f_{yk}	33,5	kN/cm^2	*Resistenza acciaio*
d_e	14	cm	*Diametro esterno del palo d'acciaio*
d_i	10	cm	*Diametro interno del palo d'acciaio*
A_s	75,40	cm^2	*Sezione resistente*
γ_{M0}	1,05	-	*DM 14.01.08 Tab. 4.2.V*
N_{RD}	2405,6	kN	*Azione resistente*
N_{AD}	288,9	kN	*Azione agente*
$N_{RD} > N_{AD}$	VERO	-	*Verifica di resistenza*

I pali saranno realizzati da tubi in acciaio del diametro esterno di 140 mm con uno spessore di 20 mm. Le iniezioni di malta nel tubo, e la sbulbatura delle valvole conseguenti, daranno luogo ad uno spessore del palo di 200 mm.

5.2.1.13. Verifica della capacità portante

Secondo la teoria riportata al paragrafo 5.2.1.4. si riporta la verifica della capacità portante tramite il metodo semplificato.

Dati		U.M.	*Descrizione*
τ	1,5	kg/cm^2	*Sforzo di aderenza medio tra palo e terreno medio*
d_p	20	cm	*Diametro del palo finito*
L	2250,00	cm	*Altezza del palo*
L	22,50	m	*Altezza del palo*
I	0,85	-	*Coefficiente di forma ϕ 20 cm*
N_{LIM}	180248,9	kg	*Carico limite*
N_{LIM}	1802,5	kN	*Carico limite*
N_{AD}	288,9	kN	*Azione agente*
$\gamma = N_{LIM}/N_{AD}$	6,24	-	*Coefficiente di sicurezza*
$\gamma \geq 3$	VERO	-	*Verifica*

Ipotizzando uno strato di 2,5 m superiore in cui il palo non lavora perché immerso in terreno incoerente in cui non lavora ancora ad attrito, l'altezza totale è di 25 m.

Secondo la teoria riportata al paragrafo 5.2.1.4. si riporta la verifica della capacità portante tramite il metodo statico suddiviso nelle due parti: laterale e di base.

Capacità portante laterale

Dati		U.M.	*Descrizione*
φ	30	°	*IPOTESI Angolo di attrito interno da relazione geotecnica*
γ	1900	kg/m^3	*Peso specifico del terreno umido*
k	0,333	-	*Coefficiente di spinta*

z	22,50	m	*Profondità media del tratto considerato in cui il palo lavora ad attrito*
δ	30	°	*(0,5÷1,00) φ*
tanδ	0,577	-	
F_m	8227,2	kg/m^2	*Resistenza di attrito*
F_m	80,7	kPa	*Resistenza di attrito*
ΔH	22,50	m	*Altezza del palo che lavora ad attrito*
d_p	0,2	m	*Diametro del palo finito*
Q_f	116309,9	kg	*Capacità portante laterale*
Q_f	1163,1	kN	*Capacità portante laterale*

Capacità portante di base

Dati		U.M.	*Descrizione*
d_p	0,2	m	*Diametro del palo finito*
A_B	0,031	m^2	*Area di base del palo*
γ	1900	kg/m^3	*Peso specifico del terreno umido*
ΔH	22,50	m	*Altezza del palo che lavora ad attrito*
N_Q	18,4	-	*Fattore sperimentale adimensionale f(φ) da letteratura geotecnica*
Q_B	24711,8	kg	*Capacità portante di base*
Q_B	247,1	kN	*Capacità portante di base*

Capacità portante totale

Dati		U.M.	*Descrizione*
Q_f	1163,1	kN	*Capacità portante laterale*
Q_B	247,1	kN	*Capacità portante di base*
Q_L	1410,2	kN	*Capacità portante*
N_{AD}	288,9	kN	*Azione agente*
$\gamma = Q_L / N_{AD}$	4,88	-	*Coefficiente di sicurezza*
$\gamma \geq 3$	VERO	-	*Verifica*

5.2.1.14. Progetto dei collegamenti con la sovrastruttura

Collegamento palo – cordolo con piastra

Il palo sarà connesso al cordolo attraverso 16 staffe saldate ad esso e formanti una raggiera in modo tale da migliorare l'aderenza tra acciaio a cls.

Collegamento palo - cordolo

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{ck}	30,0	N/mm^2	*Resistenza caratteristica del calcestruzzo*
f_{cd}	17,0	N/mm^2	*Resistenza di progetto monoassiale del calcestruzzo*
f_{bd}	2,7	N/mm^2	*Tensione di aderenza ultima acciaio aderenza migliorata cls C25/30*
f_{sd}	391	N/mm^2	*Resistenza di progetto dell'acciaio B450C*
ϕ	8	mm	*Diametro barre saldate al palo di aderenza*
n	16	-	*Numero tondini*
l_b	750	mm	*Lunghezza di ancoraggio di progetto*
l_d	290	mm	*Lunghezza di ancoraggio resistente =* $f_{sd}\phi / 4\ f_{bd}$

$l_b > l_d$

Collegamento cordolo– muratura

Il cordolo sarà connesso alla muratura tramite barre ϕ 20 ancorate nella muratura con malte da inghisaggio.

Dati		U.M.	*Descrizione*
ϕ	20	mm	*Diametro barre ad alta resistenza*
n	4	-	*Numero tondini*
n'	3	-	*Numero tondini per sezione*
i	0,30	m	*Passo delle barre*
f_{sk}	500,0	N/mm^2	*Resistenza di rottura caratteristica acciaio alta resistenza*
f_{dV}	274,9	N/mm^2	*Resistenza di taglio di progetto*
V_{RD}	345,5	kN	*Carico resistente di taglio*
N_{AD}	288,9	kN	*Carico agente*
$V_{RD} > N_{AD}$	VERO	-	*Verifica di resistenza a tranciamento del tondino*

Verifica a taglio della trave

Il cordolo è dimensionato sul carico agente che si trasferisce dalla muratura al palo sottoforma di uno sforzo di taglio. Si propone una verifica di resistenza a taglio di una trave in c.a. 150x110 cm, dotata di correnti 20 ϕ 16 e staffe 3 ϕ12/30.

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{sd}	391	N/mm^2	*Resistenza di progetto dell'acciaio B450C*
f_{c2}	10	N/mm^2	*Resistenza di progetto a taglio del calcestruzzo*
b	150,0	cm	*Larghezza del cordolo*
h	110,0	cm	*altezza del cordolo*
ϕ	16	mm	*Diametro tondini CORRENTI B450C*
$n_{tondini}$	10	-	*Numero tondini superiori*
ϕ	12	mm	*Diametro tondini STAFFE B450C*
s	30	cm	*Passo delle staffe*
n_{staffe}	6	-	*Numero staffe per sezione*
a_s	1,508	mm^2/mm	*Area metallica per unità di lunghezza di trave*
z	99,0	cm	*Braccio della coppia interna*
α	90,0	°	*Angolo staffe*
V_{yD}	584,2	kN	*Taglio trazione resistente*
V_{cD}	7425,0	kN	*taglio compressione resistente*
N_{AD}	288,9	kN	*Carico agente*
V_{RD}	584,2		$V_{RD} = \min[V_{yD}; V_{cD}]$
$V_{RD} > N_{AD}$	VERO	-	*Verifica di resistenza a taglio del cordolo in c.a.*

5.2.1.15. Computo metrico estimativo micropali

Si propone il CME per voci di lavoro relativa all'intervento di realizzazione dei micropali.

TORRE GATTONI						
COMPUTO METRICO PER VOCI DI LAVORO						
CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE			MICROPALI		MP	
COD.	LAVORAZIONE	DESCRIZIONE	Q.tà	U.M.	P.U.	P.T.
MP.1	Scavo eseguito con mezzi	Scavo leggermente armato fino a 2.00 m di profondità,di materie di qualsiasi natura e consistenza asciutte, bagnate, melmose, esclusa la roccia ma inclusi i trovanti o i relitti di murature fino a 0.750 m³, comprese le opere provvisionali di segnalazione e protezione, compresa l'armatura, il disarmo e la sistemazione del materiale a bordo scavo eseguito prevalentemente con mezzi meccanici	227,35	m^3	€ 9,46	€ 2.150,73
MP.2	Scavo eseguito a mano	Scavo per sottomurazioni eseguito a mano a piccoli tratti, anche passante sotto le fondazioni o i muri esistenti, di materie di qualsiasi natura e consistenza, inclusi trovanti rocciosi o relitti di muratura fino a 0,750 m³. Compresi e compensati: le opere provvisionali di segnalazione, protezione e sostegno del cavo e della muratura; il carico, il trasporto all'esterno; il carico e trasporto delle macerie ad impianti di stoccaggio, di recupero o a discarica, esclusi oneri di smaltimento. Per scavi eseguiti all'interno di edificio, da 0,81 a 1,50 m di profondità, con materiale depositato a bordo scavo	42,87	m^3	€ 153,76	€ 6.591,26
MP.3	Micropali	Pali di piccolo diametro (micropali) per fondazioni, sottofondazioni ed ancoraggi,eseguiti mediante trivellazione a rotazione o rotopercussione. Sono compresi: la trivellazione in terreni di qualsiasi natura e consistenza, la successiva iniezione a pressione di miscela cementizia con assorbimento fino a tre volte il volume teorico del foro, anche in più fasi; il tracciamento dei punti di infissione, la formazione di accessi e piani di lavoro, l'assistenza all'impresa, la rettifica o scapitozzatura delle teste; il carico il trasporto alle discariche autorizzate dei matieriali di risult. Sono esclusi la tubazione di rivestimento, l'armatura metallica, le prove di carico. Per diametro 176-200 mm.	1650,00	m	€ 64,34	€ 106.161,00
MP.4	Acciaio micropali	Armatura di micropali con tubi di acciaio in spezzoni manicottati, muniti di valvole di iniezione ogni 100 cm circa, per il 50% della lunghezza in opera.	97659,55	kg	€ 1,50	€ 146.489,32
MP.5	Casseri	Casseforme per getti in calcestruzzo, eseguite fino a 4,50 m dal piano d'appoggio, con impiego di tavole di abete, comprese armature di sostegno, disarmante, manutenzione e disarmo: per fondazioni, plinti, travi rovesce, platee	22,82	m^2	€ 19,90	€ 454,12
MP.6	Armatura	Acciaio tondo in barre per cemento armato, in opera compresa lavorazione, posa, sfrido, legature; qualità B450C in barre ad aderenza migliorata, controllato in stabilimento	1891,80	kg	€ 1,31	€ 2.478,26
MP.7	Armatura ancoraggio cordolo muratura	Barre d'acciaio ad aderenza migliorata ad alta resistenza per cuciture di strutture da consolidare. Compresi tagli a misura, sfridi, adattamenti sagomatura, legature, saldature,perforazioni posa in opera e inghisaggio con malta apposita e altamente performante	562,28	kg	€ 4,00	€ 2.249,13
MP.8	Calcestruzzo	Fondazioni armate in conglomerato cementizio (plinti, travi rovesce, platee), realizzate mediante getto, con ausilio di gru o qualsiasi altro mezzo di movimentazione, di calcestruzzo preconfezionato a prestazione garantita - tipo plastico S3, compresa la vibratura, esclusi ferro	69,37	m^3	€ 119,87	€ 8.314,90

		e casseri; resistenza Rck= 25 N/mm² - esposizione X0 - consistenza S3				
MP.9	Strato di separazione	Manto in geotessuto di polipropilene termolegato a filo continuo con funzione di strato di separazione, filtro e rinforzo dei terreni. Posato a secco su sottofondo previamente livellato e compattato. Compreso tagli e sormonti peso 350 g/m²	189,18	m^2	€ 2,41	€ 455,92
MP.10	Reinterro eseguito con mezzi	Rinterro di scavi con mezzi meccanici con carico, trasporto e scarico al luogo d'impiego, spianamenti e costipazione a strati non superiori a 50 cm, bagnatura e ricarichi con terre depositate nell'ambito del cantiere	177,65	m^3	€ 2,42	€ 429,92
MP.11	Reinterro eseguito a mano	Rinterro di scavi eseguito a mano, compreso spianamenti, costipazione a strati non superiori a 50 cm, bagnatura e ricarichi con materiale di scavo depositato a bordo scavo	23,20	m^3	€ 24,12	€ 559,56
		Prezzo totale intervento di consolidamento strutturale di realizzazione micropali				€ 276.334,13

Sono escluse opere provvisionali, oneri della sicurezza e occupazione di suolo pubblico.

Calcolo delle quantità in riferimento al computo metrico estimativo

TORRE GATTONI

SCAVO ESEGUITO CON MEZZI				MICROPALI		MP.1
N.	LOCALIZZAZIONE	L 1 [m]	L 2 [m]	L 3 [m]	-	Q.TÀ [m^3]
1	ESTERNO	4,90	2,20	42,18	-	227,35
					A riportare	227,35
SCAVO ESEGUITO A MANO				MICROPALI		MP.2
N.	LOCALIZZAZIONE	L 1 [m]	L 2 [m]	L 3 [m]	-	Q.TÀ [m^3]
1	INTERNO	1,60	1,70	15,76	-	42,87
					A riportare	42,87
MICROPALI				MICROPALI		MP.3
N.	LOCALIZZAZIONE	L 1 [m]	PARTI UGUALI	-	-	Q.TÀ [m]
1	INTERNO	25,00	21,00	-	-	525,00
2	ESTERNO	25,00	45,00	-	-	1125,00
					A riportare	1650,00
ACCIAIO MICROPALI				MICROPALI		MP.4
N.	LOCALIZZAZIONE	Φ [mm]	L [m]	P. UGUALI [-]	[kg/m]	Q.TÀ [kg]
1	INTERNO	140,00	25,00	21,00	59,19	31073,49
2	ESTERNO	140,00	25,00	45,00	59,19	66586,06
					A riportare	97659,55
CASSERI CORDOLO				MICROPALI		MP.5
N.	LOCALIZZAZIONE	L 1 [m]	H [m]	-	-	Q.TÀ [m^2]
1	INTERNO	13,72	0,50	-	-	6,86
2	ESTERNO	31,92	0,50	-	-	15,96
					A riportare	22,82
ARMATURA CORDOLO				MICROPALI		MP.6
N.	LOCALIZZAZIONE	[kg/m^3] DI CLS	L 1 [m]	L 2 [m]	L 3 [m]	Q.TÀ [kg]
1	INTERNO	100,00	11,92	0,50	0,90	536,40
2	ESTERNO	100,00	30,12	0,50	0,90	1355,40
					A riportare	1891,80

ARMATURA ANCORAGGIO CORDOLO - MURATURA				MICROPALI		MP.7
N.	LOCALIZZAZIONE	ϕ [mm]	L [m]	P. UGUALI [-]	[kg/m]	Q.TÀ [kg]
1	INTERNO	20,00	1,90	40,00	2,47	187,43
2	ESTERNO	20,00	1,90	80,00	2,47	374,85
					A riportare	562,28
CALCESTRUZZO CORDOLO				MICROPALI		MP.8
N.	LOCALIZZAZIONE	L 1 [m]	L 2 [m]	L 3 [m]	-	Q.TÀ [m^3]
1	INTERNO	11,92	1,50	1,10	-	19,67
2	ESTERNO	30,12	1,50	1,10	-	49,70
					A riportare	69,37
STRATO DI SEPARAZIONE				MICROPALI		MP.9
N.	LOCALIZZAZIONE	L 1 [m]	H [m]	-	-	Q.TÀ [m^2]
1	INTERNO	11,92	4,50	-	-	53,64
2	ESTERNO	30,12	4,50	-	-	135,54
					A riportare	189,18
REINTERRO ESEGUITO CON MEZZI				MICROPALI		MP.10
N.	LOCALIZZAZIONE	L 1 [m]	L 2 [m]	L 3 [m]	PIENI [m^3]	Q.TÀ [m^3]
1	ESTERNO	4,90	2,20	42,18	49,70	177,65
					A riportare	177,65
REINTERRO ESEGUITO A MANO				MICROPALI		MP.11
N.	LOCALIZZAZIONE	L 1 [m]	L 2 [m]	L 3 [m]	PIENI [m^3]	Q.TÀ [m^3]
1	INTERNO	1,60	1,70	15,76	19,67	23,20
					A riportare	23,20

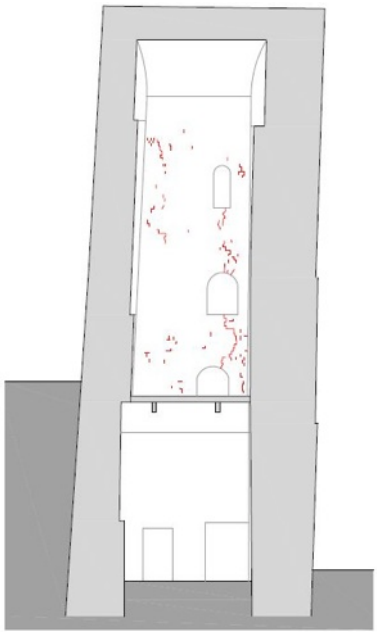
Calcolo della durata con metodo dell'incidenza percentuale della manodopera.

TORRE GATTONI						
DURATA DELL'INTERVENTO						
CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE			MICROPALI		MP	
COD. LAV.	PREZZO	UTILE	SPESE	COSTO T.	% INC MANODOPERA (*)	MANODOPERA
MP	€ 276.334,13	€ 27.633,41	€ 37.305,11	€ 211.395,61	40,00%	€ 84.558,24
					Costo complessivo manodopera tolti oneri e spese	€ 84.558,24
					Costo orario manodopera specializzata	€ 29,37
					Costo orario manodopera I livello	€ 22,71
					Costo medio orario manodopera	€ 26,04
					Ore giornata lavorativa	8
					Costo giornata lavorativa	€ 208,33
					Uomini Giorno	406

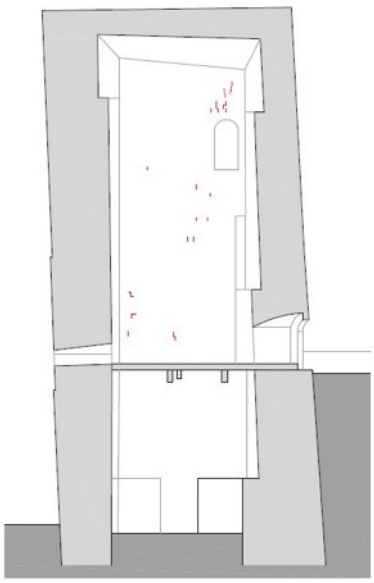
(*) D.M. 11/12/1978

5.2.2. Cerchiatura interna

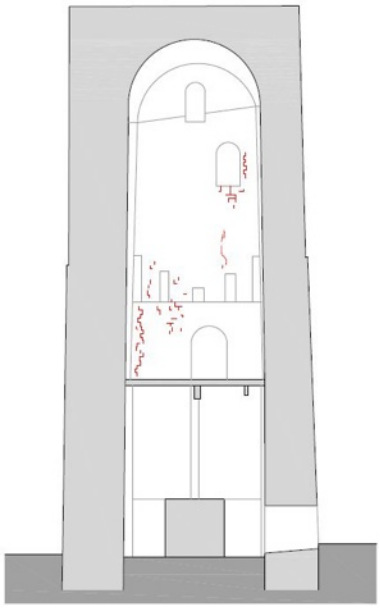
L'intervento di consolidamento fuori terra proposto, è quello di realizzare una cerchiatura della torre, in modo da migliorare il comportamento dell'edificio nella sua globalità. L'obiettivo è quello di "cucire" tra loro i setti che realizzano la torre, che presentano un quadro fessurativo interno diffuso sulla verticalità della torre come indicato nei prospetti di fig. 5.6.



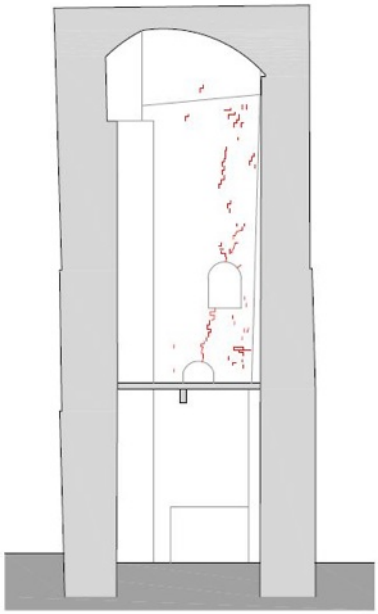
Prospetto interno est



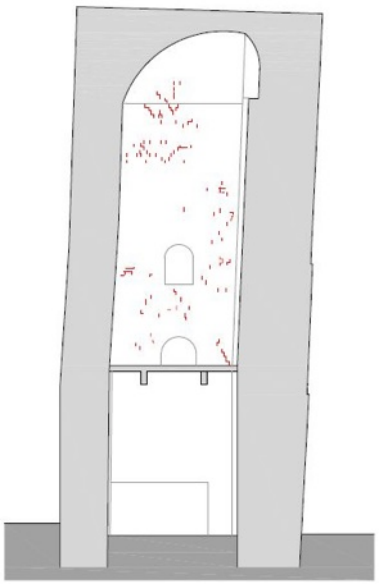
Prospetto interno nord ovest



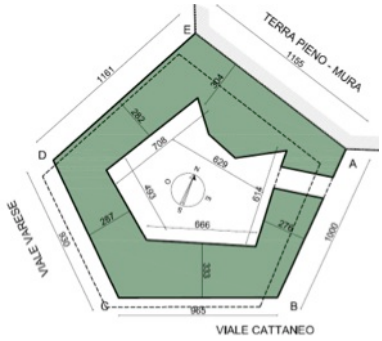
Prospetto interno nord



Prospetto interno sud ovest



Prospetto interno sud



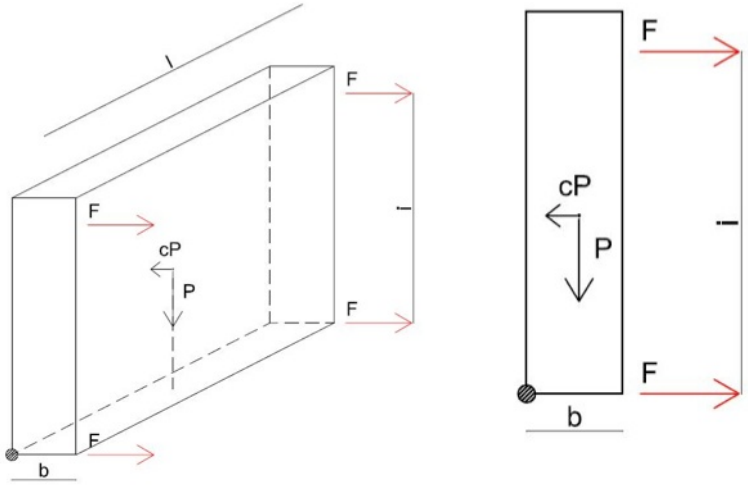
Pianta di riferimento

Figura 5.6 - Torre Gattoni – Quadro fessurativo

Si propone di inserire un sistema attivo di cerchiatura interna, che consiste nel confinamento orizzontale della muratura basato sulla posa di barre in acciaio ancorate negli spigoli della muratura. Il sistema è caratterizzato da cinque catene perimetrali, ciascuna composta da tre spezzoni, i quali avranno le estremità filettate. Il primo e il terzo spezzone di ciascuna catena, saranno costituiti da barre leggermente piegate, con un'estremità inserita in fori precedentemente eseguiti nella muratura e inghisate alla stessa con malte apposite. Il secondo spezzone di catena, costituito da una barra dritta centrale, verrà unito a due laterali mediante tenditori. Al fine di garantire l'unione è necessario che l'accoppiamento degli spezzoni avvenga tra filettatura destrogira e sinistrogira. Tale ancoraggio che permette la messa in tensione delle barre, rappresenta la possibile attività del sistema.

5.2.2.1. Dimensionamento cerchiatura

La cerchiatura in oggetto ha come obiettivo quello di cucire insieme i setti murari, pertanto viene dimensionato in funzione di un carico orizzontale agente proporzionale ai carichi gravitazionali presenti. Seguendo lo schema statico della presente tabella, si giunge a valutare la forza necessaria a contrastare il ribaltamento del concio murario interessato con cui dimensionare l'elemento resistente.



Momento stabilizzante:

$$Ms = P\,\frac{b}{2} + F\,i$$

Momento ribaltante:

$$Mr = c\,P\,\frac{i}{2}$$

Ribaltamento:

$$Ms = Mr$$

Da cui:

$$F = \frac{c\,P\,\frac{i}{2} - P\,\frac{b}{2}}{i}$$

Figura 5.7 – Torre Gattoni: Schema statico di calcolo delle cerchiature

Con: F : forza cerchiante;
P : forza peso della parte di muro interessata;
c : quota azione orizzontale (sisma, fuoripiombo, vento, spinta di volte e archi);
i : interasse tra cerchiature;
b : sezione del muro.

5.2.2.2. Effetto della cerchiatura

Quello che si vuole definire è quanto l'effetto della cerchiatura migliori il comportamento della struttura.

Nell'ipotesi che le cerchiature saranno realizzare con delle barre in acciaio inox AISI 316 con un diametro di 28 mm, si esplicita quella che sarà l'azione resistente.

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	276	N/mm^2	*Carico di snervamento barre acciaio inox AISI 316*
γ	1,05	-	*Coefficiente di sicurezza materiale DM. 14.01.08*
f_{yd}	263	N/mm^2	*Carico di progetto barre acciaio inox AISI 316*
ϕ	28	mm	*Diametro barra*
F_{RD}	162	kN	*Forza resistente di progetto della barra cerchiante*

In riferimento alla pianta di figura 5.8 si definisce la geometria del problema. Le ipotesi fatte sono :

- Interasse verticale della cerchiatura i = 3 m circa.
- Peso specifico della muratura a sacco 17, 3 kN/m^3 ;[52]
- Il calcolo viene eseguito sul muro nord ovest che presenta una dimensione maggiore e l'area di influenza della singola cerchiatura corrisponde a metà muro.

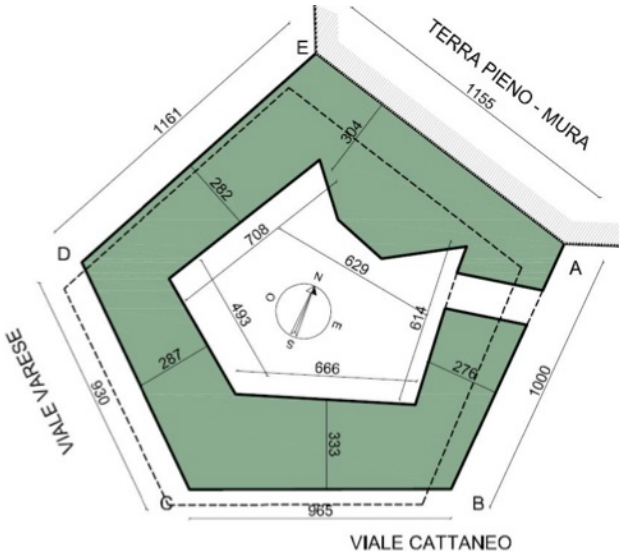


Figura 5.8 - Torre Gattoni : Pianta di riferimento

Dati		U.M.	*Descrizione*
i	3	m	*Interasse verticale tra cerchiature*
b	3	m	*Larghezza sezione di muro interessata*
l	5,8	m	*Lunghezza sezione di muro interressata a ribaltamento*
V	52,2	m^3	*Volume di muro interessata a ribaltamento*
γ	17,5	kN/m^3	*Peso per unità di volume di muratura a sacco*
P	914	kN	*Forza peso del muro interessata a ribaltamento*
γ	1,5	-	*Coefficiente SLU carichi DM. 14.01.08*
P_{AD}	1370	kN	*Forza verticale agente SLU*

[52] N. Marino, Manuale di geotecnica per l'ingegneria civile, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2006

Si valuta ora il coefficiente c [-] che determina la quota parte di azione orizzontale che la cerchiatura è in grado di assorbire. Tale valutazione concretizza l'effetto del consolidamento mediante cerchiatura e quanto migliori il comportamento globale della struttura. Dalla relazione trovata precedentemente si ricava c:

$$c = \frac{2F}{P} + \frac{b}{i}$$

Dati		U.M.	*Descrizione*
i	3	m	*Interasse verticale tra cerchiature*
b	3	m	*Larghezza sezione di muro interessata*
F_{RD}	162	kN	*Forza resistente di progetto della barra cerchiante*
P_{AD}	1370	kN	*Forza verticale agente SLU*
c	1,24		*Quota parte di spinta orizzontale (sisma, fuoripiombo)*

Da cui è possibile valutare un'azione orizzontale a cui la cerchiatura è in grado di fare fronte.

$$H = c\,P$$

Dati		U.M.	*Descrizione*
P_{AD}	1370	kN	*Forza verticale agente SLU*
c	1,24		*Quota parte di spinta orizzontale (sisma, fuoripiombo)*
H_{RD}	1694	kN	*Azione resistente allo SLU*

In condizioni normali l'effetto della cerchiatura tende a cucire le murature, pertanto rappresenta un compressione che tende a chiudere le fessure. In caso di combinazione di effetti di azioni orizzontali quali sisma, fuori piombo, vento, e spinta di archi e volte, la cerchiatura è in grado di opporsi ad un'azione orizzontale H.

5.2.2.3. Calcolo dell'azione sismica[53]

Si riporta il calcolo dell'azione sismica secondo quanto riportato al paragrafo 3.2. del DM 14.01.08. Le ipotesi alla base del calcolo sono:

- La località considerata è genericamente la città di Como, per cui vengono utilizzati i valori proposti di a_g, F_o, T_c*, dalla Tab.1 dell'allegato B del DM 14.01.08 relativo al codice identificativo del capoluogo lombardo;
- L'analisi che si vuole effettuare è possibile effettuarla dato l'inserimento di cerchiature, che si preveda abbiano una vita nominale di 50 anni;
- Lo stato limite di riferimento è quello di danno poiché si vuole simulare sulla torre l'effetto di un terremoto di piccola intensità che non generi danni sulla struttura come l'apertura di fessure o il crollo di parti.

Dati		U.M.	Descrizione
Località	Como		
Latitudine	45,502 N	° centesimali	*Coordinate terrestri*
Longitudine	9,0003 E	° centesimali	*Coordinate terrestri*
ID	12036	-	*Codice identificativo Tab. 1 All.B DM 14.01.08*
V_n	50	anni	*Vita nominale - Opere ordinarie*
Classe d'uso	II	-	*Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti*
C_u	1	-	*Classe d'uso*
V_r	50	anni	*Periodo di riferimento*
Stato limite	SLD	-	*Stato limite di danno*
P_{vr}	63,00%	%	*Probabilità di superamento nel periodo di riferimento*
T_r	50	anni	*Periodo di ritorno*
Categoria suolo	C	-	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*
a_g	0,24	g/10	*Accelerazione orizzontale massima al sito*
F_o	2,58	-	*Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale*
T_c*	0,19	s	*Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale*

- Secondo il modello semplificato proposto dal DPCM 9.02.2011 si considera il primo modo di vibrare della Torre valutato con la formula 7.3.5 cap. 7.3.3.2 DM 14.01.08:

$$T_1 = C_I H^{\frac{3}{4}}$$

Dati		U.M.	Descrizione
T_1	0,62	s	*Periodo del primo modo di vibrare*

[53] NTC 08 – DM 14.01.08

C_l	0,05	-	*Coefficiente per costruzioni con struttura in muratura*
H	28,50	m	*Altezza della Torre*

Viene di seguito valutato, in funzione della categoria di suolo e dei parametri a_g, T_c*, i valori dei periodi utili alla definizione dello spettro elastico di risposta in accelerazione delle componenti orizzontali come al paragrafo 3.2.3.2.1 del D.M. 14.01.2008.

Dati		U.M.	Descrizione
C_c	1,82	-	*Coefficiente funzione della categoria di sottosuolo*
T_B	0,12	s	*Periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante*
T_C	0,35	s	*Periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro*
T_D	1,70	s	*Periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro*

Da questo risulta che $T_c \leq T_1 < T_D$ secondo cui:

$$S_e(T) = a_g S \, \eta \, F_0 \left(\frac{T_c}{T}\right)$$

Segue la definizione dello spettro elastico di risposta in accelerazione delle componenti orizzontali come al paragrafo 3.2.3.2.1 del D.M. 14.01.2008.

Dati		U.M.	Descrizione
S_T	1	-	*Coefficiente di amplificazione topografica*
S_S	1,5	-	*Coefficiente di amplificazione stratigrafica*
$S = S_S S_T$	1,5	-	*Coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche*
η	1,00	-	*Fattore che altera lo spettro elastico*
ξ	5	-	*Coefficiente di smorzamento viscoso convenzionale*
$S_e(T_1)$	0,19	-	*Spettro di risposta elastico della componente orizzontale*

Al fine di valutare un azione di calcolo si procede con il calcolo dello spettro di progetto di risposta in accelerazione delle componenti orizzontali, valutato attraverso un fattore di struttura q unitario, a sua volta calcolato come proposto al paragrafo 7.3.1 del D.M. 14.01.2008 che consente di definire un metodo di analisi lineare.

Dati		U.M.	Descrizione
α_u/α_1	1,80		*Costruzioni in muratura ordinaria a due o più piani*
q_0	3,6		$2* \alpha_u/\alpha_1$
K_r	1		*Fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione,*
q	3,6		*Fattore di struttura*
$S_D(T_1)$	0,05	-	*Spettro di risposta di progetto della componente orizzontale*

5.2.2.4. Modellazione dell'azione sismica[54]

Secondo quanto riportato al paragrafo *5.4.4 – Torri, campanili ed altre strutture a prevalente sviluppo verticale* della *Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche delle costruzioni 9 Febbraio 2011,* è possibile implementare un modello meccanico semplificato per la valutazione dell'azione sismica. Infatti, secondo la norma, il comportamento sismico di questa tipologia di edifici dipende da alcuni fattori:

- La snellezza della struttura. Questo parametro è valutato in funzione degli spessori murari; in questo caso siamo in presenza di una torre tozza e di una costruzione massiva con grandi spessori murari formati da murature a sacco.
- Il grado di ammorsamento delle pareti. Esso è funzionale a garantire che la torre si comporti come una mensola incastrata alla base, con una rigidezza associata all'intera sezione muraria e non come un insieme di pareti distinte. In questo caso la presenza delle cerchiature svolge la funzione di ammorsamento delle pareti.
- L'eventuale presenza di strutture adiacenti più basse e in grado di fornire un vincolo orizzontale. La presenza di vincoli orizzontali a diverse quote può mutare profondamente il comportamento della struttura, da una parte limitandone l'effettiva snellezza, dall'altra costituendo irrigidimenti localizzati e punti di possibile concentrazione degli sforzi. In questo caso la presenza delle mura della città a ridosso della torre è in grado di fornire un vincolo orizzontale.

La direttiva sostiene che questa tipologia edilizia può essere studiata attraverso modelli strutturali affidabili e di dettaglio, affermando che anche i modelli lineari possono fornire indicazioni utili ed attendibili.

I meccanismi di danneggiamento per una torre tozza sono rappresentati da rotture a taglio.

La direttiva sostiene che per una valutazione quantitativa con modelli meccanici semplificati è possibile fare riferimento al collasso per presso flessione, ovvero considerare la torre come una mensola, sollecitata da un sistema di forze orizzontali oltre che dal peso proprio, che può andare in crisi in una generica sezione per schiacciamento nella zona compressa, a seguito della parzializzazione dovuta alla non resistenza a trazione. La verifica a pressoflessione di una struttura snella in muratura si effettua confrontando il momento agente di calcolo con il

[54] DPCM 9/02/2011

momento ultimo resistente calcolato assumendo la muratura non resistente a trazione ed una opportuna distribuzione non lineare delle compressioni. Il momento agente di calcolo può essere valutato considerando un sistema di forze distribuite lungo l'altezza della struttura, assumendo una forma lineare degli spostamenti. La forza da applicare in corrispondenza del baricentro di ciascun concio è data dalla formula seguente:

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{k=1}^{n} W_k z_k} F_h$$

Dove:

- $F_h = 0{,}85\ S_e\ (T_1)\ W/q\ g$
- W_i , W_k sono i pesi dei settori i e K rispettivamente,
- z_i e z_k sono le altezze dei baricentri dei settori i e k rispetto alle fondazioni;
- $S_e(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta elastico, funzione del primo periodo T_1 della struttura secondo la direzione considerata;
- $W = \Sigma\ W_i$ è il peso complessivo della struttura;
- q è il fattore di struttura
- g è l'accelerazione di gravità 9,81 [m/s^2]

Si propone di seguito l'azione orizzontale di progetto che si applicherà sulla Torre Gattoni, nell'ipotesi che il carico agente è figlio di una combinazione di carico dove agiscono soltanto i pesi propri strutturali e non sono presenti coefficienti parziali delle azioni. L'azione orizzontale F_h è valutata con la formula sopra riportata: $F_h = 0{,}85\ S_e\ (T_1)\ W/q\ g$

Dati		U.M.	Descrizione
A	119	m^2	*Superficie media della sezione di Torre Gattoni, (*)*
γ	17,5	kN/m^3	*Peso specifico della muratura a sacco*
H	28,50	m	*Altezza della Torre Gattoni*
W_{tot}	59351	kN	*Peso totale della Torre Gattoni*
F_h	270	kN	*Azione orizzontale agente*

(*) tale approssimazione tiene conto di aperture nella muratura e non tiene conto delle rastremature

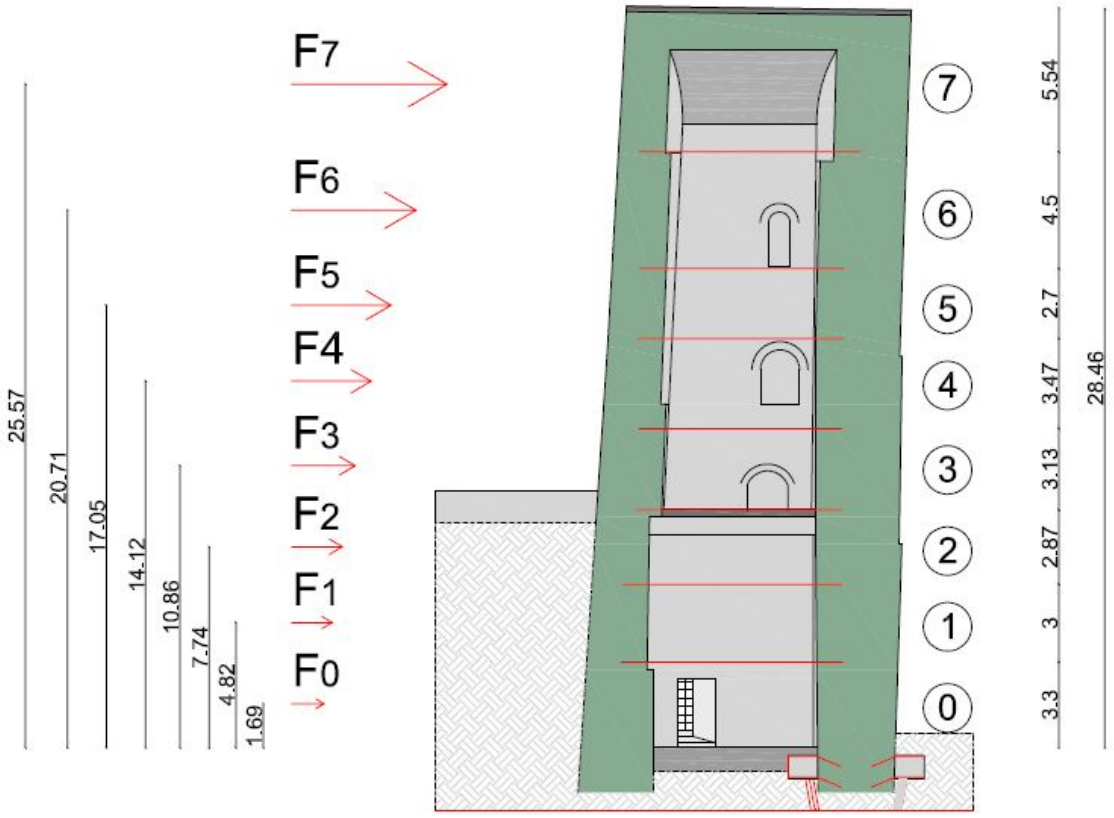


Figura 5.9 – Torre Gattoni: distribuzione in altezza delle azioni orizzontali sismiche secondo un modello meccanico semplificato a mensola su conci di muratura definiti dalla presenza delle nuove cerchiature rappresentate in rosso.

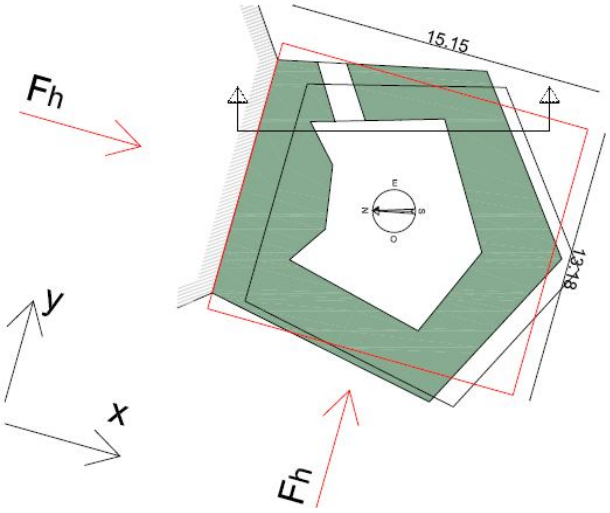


Figura 5.10 – Torre Gattoni: direzioni delle azioni orizzontali sismiche di progetto e approssimazione in pianta

Al fine di procedere con l'applicazione del modello proposto dal DPCM 9.02.2011 si evidenziano le seguenti ipotesi:

- La presenza del terrapieno su un lato della Torre non rappresenta un vincolo tale da considerare l'azione ripartita solamente dalla quota di spiccato, ma si ipotizza un distribuzione dell'azione sismica su tutta l'altezza della Torre. Il punto di contatto tra mura e torre potrà rappresentare una possibile rottura per martellamento che in questo modello non viene considerato.
- Viene considerata una approssimazione in pianta della Torre ipotizzando una forma rettangolare della stessa, anziché pentagonale. Tale approssimazione è rappresentata in figura 5.10 dove sono indicati inoltre gli assi direzionali, e le azioni orizzontali sismiche di progetto.

In riferimento alla figura 5.9 si propone il calcolo delle forze orizzontali applicati sui singoli conci valutati secondo la formula vista precedentemente per cui: $F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{k=1}^{n} W_k z_k} F_h$; il momento agente valutato secondo la formula: $M_{AD,i} = \sum_{i=0}^{n_{conci}} F_i \, b_i$;

con b_i braccio della forza valutato progressivamente per ogni concio.

Dati		U.M.	Descrizione
h_0	3,30	m	*Altezza del concio 0*
W_0	6872,25	kN	*Peso del concio 0*
z_0	1,69	m	*Altezza del baricentro rispetto al piano di fondazione della F 0*
F_0	3,69	kN	*Forza applicata nel concio 0*
$M_{AD,0}$	5121	kNm	*Momento agente nella sezione più sollecitata del concio 0*
h_1	3,00	m	*Altezza del concio 1*
W_1	6247,50	kN	*Peso del concio 1*
z_1	4,82	m	*Altezza del baricentro rispetto al piano di fondazione della F 1*
F_1	9,56	kN	*Forza applicata nel concio 1*
$M_{AD,1}$	4237		*Momento agente nella sezione più sollecitata del concio 1*
h_2	2,87	m	*Altezza del concio 2*
W_2	5976,78	kN	*Peso del concio 2*
z_2	7,74	m	*Altezza del baricentro rispetto al piano di fondazione della F 2*
F_2	14,68	kN	*Forza applicata nel concio 2*
$M_{AD,2}$	3454		*Momento agente nella sezione più sollecitata del concio 2*
h_3	3,30	m	*Altezza del concio 3*
W_3	6872,25	kN	*Peso del concio 3*
z_3	10,86	m	*Altezza del baricentro rispetto al piano di fondazione della F 3*
F_3	23,69	kN	*Forza applicata nel concio 3*
$M_{AD,3}$	2739		*Momento agente nella sezione più sollecitata del concio 3*
h_4	3,47	m	*Altezza del concio 4*
W_4	7226,28	kN	*Peso del concio 4*
z_4	14,12	m	*Altezza del baricentro rispetto al piano di fondazione della F 4*
F_4	32,39	kN	*Forza applicata nel concio 4*
$M_{AD,4}$	1980		*Momento agente nella sezione più sollecitata del concio 4*
h_5	2,70	m	*Altezza del concio 5*
W_5	5622,75	kN	*Peso del concio 5*
z_5	17,05	m	*Altezza del baricentro rispetto al piano di fondazione della F 5*
F_5	30,43	kN	*Forza applicata nel concio 5*
$M_{AD,5}$	1280		*Momento agente nella sezione più sollecitata del concio 5*

h_6	4,50	m	*Altezza del concio 6*
W_6	9371,25	kN	*Peso del concio 6*
z_6	20,71	m	*Altezza del baricentro rispetto al piano di fondazione della F $_6$*
F_6	61,60	kN	*Forza applicata nel concio 6*
$M_{AD,\,6}$	819		*Momento agente nella sezione più sollecitata del concio 6*
h_7	5,54	m	*Altezza del concio 7*
W_7	11537,05	kN	*Peso del concio 7*
z_7	25,57	m	*Altezza del baricentro rispetto al piano di fondazione della F $_7$*
F_7	93,64	kN	*Forza applicata nel concio 7*
$M_{AD,\,7}$	259	kN	*Momento agente nella sezione più sollecitata del concio 7*

Il momento agente considerato è al piede dell'edificio è :

Dati		U.M.	Descrizione
$M_{AD,\,0}$	5121	kNm	*Momento agente nella sezione più sollecitata del concio 0*

Premettendo le seguenti ipotesi sulla resistenza della muratura:

Dati		U.M.	Descrizione
f_k	4	N/mm^2	*Resistenza a compressione della muratura caratteristica*[55]
γ	3	-	*Coefficiente di sicurezza nella muratura*
FC	1,35	-	*Fattore di confidenza della muratura stimato secondo DPCM 9-02-2011*
f_d	0,99	N/mm^2	*Resistenza a compressione di calcolo della muratura*
f_d	988	kN/m^2	*Resistenza a compressione di calcolo della muratura*

si calcola l'azione resistente della torre data dalla seguente formula nelle due direzioni considerate:

$$M_{U,i} = \frac{\sigma_0 A_i}{2}\left(b_i - \frac{\sigma_0 A_i}{0{,}85\ a_i f_d}\right)$$

In direzione x:

Dati		U.M.	Descrizione
W_{tot}	59351	kN	*Peso totale della Torre Gattoni*
A_i	119	m^2	*Superficie media della sezione di Torre Gattoni*
σ_0	498,75	kN/m^2	*Tensione agente*
σ_0	0,50	N/mm^2	*Tensione agente*
a_i	13,18	m	*Lato perpendicolare alla direzione sismica*
b_i	15,15	m	*Lato parallelo alla direzione sismica considerata*
$M_{U,i}$	290405	kNm	*Momento resistente ultimo per sezione presso inflessa*

In direzione y:

Dati		U.M.	Descrizione
W_{tot}	59351	kN	*Peso totale della Torre Gattoni*
A_i	119	m^2	*Superficie media della sezione di Torre Gattoni*
σ_0	498,75	kN/m^2	*Tensione agente*
σ_0	0,50	N/mm^2	*Tensione agente*
a_i	15,15	m	*Lato perpendicolare alla direzione sismica*
b_i	13,18	m	*Lato parallelo alla direzione sismica considerata*

[55] L. Boscotrecase F. Piccareta, Edifici in muratura in zona sismica,Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2006, pag. 200

$M_{U,i}$	252643	kNm	*Momento resistente ultimo per sezione presso inflessa*

La verifica risulta soddisfatta in quanto in entrambe le direzioni il momento resistente ultimo è maggiore del momento agente.

5.2.2.5. Computo metrico estimativo

Si propone il CME per voci di lavoro relativa all'intervento di realizzazione della cerchiatura.

TORRE GATTONI						
COMPUTO METRICO PER VOCI DI LAVORO						
CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE			CERCHIATURA		CE	
COD.	LAVORAZIONE	DESCRIZIONE	Q.tà	U.M.	P.U.	P.T.
CE.1	Perforazioni	Perforazioni su murature in mattoni pieni, pietrame o miste eseguite con idonea attrezzatura a sola rotazione a velocità ridotta, a qualsiasi altezza, profondità e giacitura, per spinottature, cuciture, legamenti murari, tirantature, iniezioni, canalizzazioni. Comprese assistenze murarie, opere provvisionali, piani di lavoro, apparecchi guida, pulizia del perforo, allontanamento macerie con diametro fino a 20 mm	700,00	m	€ 29,23	€ 20.461,00
CE.2	Iniezioni	Consolidamento murature di mattoni, pietrame, miste, caotiche, incoerenti, mediante iniezioni di boiacca di calce idraulica fluida additivata, eseguite in fori già predisposti, con idoneo impianto per iniezioni a pressione regolabile. Sono compresi: la sigillatura dei giunti e delle lesioni per impedire la fuoriuscita della boiacca; il fissaggio degli ugelli; la boiacca cementizia fino a completa saturazione della muratura; le opere provvisionali per puntellamenti, protezioni; i piani di lavoro interni. Misurazione sul peso dell'impasto effettivamente utilizzato.	593,76	kg	€ 4,00	€ 2.375,04
CE.3	Acciaio inox cerchiature	Acciaio inox AISI 316 lavorato per catene, cerchiature, cravatte, chiavi da muro, tenditori, zanche, piattabande, fasce e simili, in opera. Compresi tagli, sfridi, adattamenti, fissaggi, ancoraggi, saldature; mano di antiruggine; trasporti, sollevamenti, assistenza muraria alla posa in opera, piani di lavoro.	1705,04	kg	€ 12,62	€ 21.517,58
		Prezzo totale intervento di consolidamento strutturale di realizzazione cerchiatura				€ 44.353,63

Sono escluse opere provvisionali, oneri della sicurezza e occupazione di suolo pubblico.

Calcolo delle quantità in riferimento al computo metrico estimativo

TORRE GATTONI						
PERFORAZIONI				CERCHIATURE		CE.1
N.	LOCALIZZAZIONE	L 1 [m]	P. UGUALI [-]	P. UGUALI [-]	-	Q.TÀ [m]
1	SPIGOLI	2,00	70,00 (N. SPIGOLI)	5,00 (N. FORI)		700,00
					A riportare	700,00
INIEZIONI				CERCHIATURE		CE.2
N.	LOCALIZZAZIONE	L 1 [m]	P. UGUALI [-]	ϕ [mm]	[kg/m]	Q.TÀ [kg]
1	SPIGOLI	2,00	350,00	20,00	0,85	593,76
					A riportare	593,76
ACCIAIO INOX CERCHIATURE				CERCHIATURE		CE.3

N.	LOCALIZZAZIONE	ϕ [mm]	L [m]	P. UGUALI [-]	[kg/m]	Q.TÀ [kg]
1	SPEZZONE ANGOLARE	28,00	2,48	70,00	4,83	838,49
2	SPEZZONE N	28,00	5,90	7,00	4,83	199,48
3	SPEZZONE E	28,00	4,75	7,00	4,83	160,60
4	SPEZZONE S	28,00	5,59	7,00	4,83	189,00
5	SPEZZONE SO	28,00	4,03	7,00	4,83	136,25
6	SPEZZONE NO	28,00	5,36	7,00	4,83	181,22
					A riportare	1705,04

Calcolo della durata con incidenza percentuale della manodopera.

TORRE GATTONI						
DURATA DELL'INTERVENTO						
CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE			CERCHIATURE		CE	
COD. LAV.	PREZZO	UTILE	SPESE	COSTO T.	% INC MANODOPERA (*)	MANODOPERA
MP	€ 44.353,63	€ 4.435,36	€ 5.987,74	€ 33.930,52	40,00%	€ 13.572,21
					Costo complessivo manodopera tolti oneri e spese	€ 13.572,21
					Costo orario manodopera specializzata	€ 29,37
					Costo orario manodopera I livello	€ 22,71
					Costo medio orario manodopera	€ 26,04
					Ore giornata lavorativa	8
					Costo giornata lavorativa	€ 208,33
					Uomini Giorno	65

(*) D.M. 11/12/1978

5.3. Torre San Vitale

Gli interventi proposti per il consolidamento della Torre San Vitale sono i seguenti:

- Consolidamento del coronamento mediante iniezioni, diatoni in acciaio e sistema a graffetta.
- Cerchiatura esterna a livello della copertura

Il primo è motivato dalla forte presenza di fessure che interessano la sommità della torre. Per una fascia di 4,5 m è infatti presente una sconnessione degli elementi lapidei lungo i giunti.
Il secondo intervento è motivato dalla volontà di rendere la struttura più compatta e con un comportamento più scatolare.
La Torre inoltre non presenta una copertura ed è sottoposta ai degradi degli agenti atmosferici tale per cui è in atto la disgregazione del paramento murario.
Questi interventi sono collaboranti e collegati tra loro e vanno nella direzione di prevenire la caduta di elementi dall'alto in un ottica di sicurezza.

5.3.1. Consolidamento del coronamento con sistema a graffetta

L'intervento di consolidamento del coronamento consiste nell'iniezioni di boiacca, nell'inserimento di barre d'acciaio passanti nella sezione, bloccati con piastre di contrasto sulla muratura che realizzano dei veri e proprio diatoni e nell'inserimento di funi d'acciaio che cuciono verticalmente i conci di muratura.

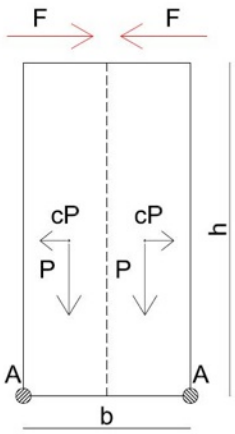
La tecnica delle iniezioni permette di migliorare le caratteristiche di resistenza della muratura grazie alla reintegrazione del legante e alla saturazione di eventuali vuoti o discontinuità. La miscela utilizzata è una boiacca di calce idraulica e acqua in parti uguali con l'aggiunta di additivi fluidificanti e antiritiro. L'intervento è limitato alla fascia superiore, fino a 4,5 m dalla sommità della Torre, e dovrà essere svolto partendo dal basso verso l'alto e dall'esterno verso l'interno. Bisognerà procedere con la perforazione di tutta la sezione e la sigillatura del foro da una parte del muro. Dopodiché si procederà con l'inumidimento del foro per favorire la penetrazione e l'ancoraggio della malta senza tuttavia generare un infiltrazione d'acqua vera e propria d'acqua nella muratura. Successivamente si procederà con la colatura attraverso un boccaglio che consente la penetrazione in profondità dei fori. L'operazione verrà quindi ripetuta in piano e successivamente per la fila adiacente superiore.

Questo sistema sarà collaborante con le barre d'acciaio passanti filettate. Queste saranno inserite in un foro passante e verranno ancorate alla muratura con piastre d'acciaio di contrasto che daranno origine ad una vera e propria tirantatura della sezione.

Questo sistema di consolidamento sarà integrato con una cucitura vera e propria realizzata con funi in acciaio che legano insieme gli elementi lapidei della sommità. Le funi saranno ancorate esternamente alla piastra di bloccaggio dei diatoni, e percorrendo il perimetro della sezione muraria, si ricongiungeranno alla piastra interna del diatone. In sommità saranno presenti delle piastre angolari di ripartizione del carico che saranno sagomate a L per consentire il placcaggio degli elementi lapidei. Tali angolari saranno integrate con dei mezzi tubi d'acciaio che consentono un raggio di curvatura adeguato alla fune d'acciaio. Le funi a loro volta saranno dotati di elementi tipici di tale carpenteria, quali terminali, capicorda e tenditori. Si rimanda alle tavole di progetto per una completa comprensione del sistema di consolidamento. (Tavole C5-C6)

La cerchiatura in oggetto ha come obiettivo quello di cucire insieme i setti murari, pertanto viene dimensionato in funzione di un carico orizzontale agente proporzionale ai carichi gravitazionali presenti. Seguendo lo schema statico della presente tabella, si giunge a valutare

la forza necessaria a contrastare il ribaltamento del concio murario interessato con cui dimensionare l'elemento resistente. L'ipotesi di calcolo è considerare metà sezione di muro



Momento stabilizzante:

$$M^A s = P\,\frac{b}{4} + F\,h$$

Momento ribaltante:

$$M^A r = c\,P\,\frac{h}{2}$$

Ribaltamento:

$$Ms = Mr$$

Da cui:

$$F = \frac{c\,P\,\frac{h}{2} - P\,\frac{b}{4}}{h}$$

con:
F : forza cerchiante;
P : forza peso della parte di muro interessata;
c : quota parte di azione orizzontale;
h : altezza della sezione;
b : sezione del muro;
i: interasse tra cerchiature.

Figura 5.11 – Torre San Vitale: Schema statico di calcolo delle cerchiature a graffetta

5.3.1.2. Effetto della graffetta

Quello che si vuole definire è quanto l'effetto della cerchiatura migliori il comportamento della struttura.

Nell'ipotesi che le cerchiature saranno realizzare con funi in acciaio inox AISI 316 con un diametro di 6 mm, si esplicita quella che sarà l'azione resistente.

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	1570	N/mm^2	*Carico snervamento caratteristico Fune UNI 4434 in acciaio inox AISI 316*
γ	6,00	-	*Coefficiente di sicurezza materiale DLgs 81/08 ALLEGATO V*
f_{yd}	262	N/mm^2	*Carico di progetto Fune UNI 4434 in acciaio inox AISI 316*
ϕ	6	mm	*Diametro fune*
F_{RD}	7	kN	*Forza resistente di progetto della fune*
F_{RD}	740	kg	*Forza resistente di progetto della fune*

Le ipotesi alla base del calcolo sono :

- Interasse orizzontale tra cerchiature i = 1,25 m circa.
- Peso specifico della muratura a sacco 17, 5 kN/m^3 ;[56]
- Il calcolo viene eseguito su metà sezione di muro.

Dati		U.M.	*Descrizione*
i	1,2	m	*Interasse tra graffette*
b	1,25	m	*Larghezza sezione di muro interessata*
h	2	m	*Altezza sezione di muro interessata a ribaltamento*
V	1,5	m^3	*Volume di muro interessata a ribaltamento*

[56] N. Marino, Manuale di geotecnica per l'ingegneria civile, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2006

γ	17,5	kN/m^3	*Peso per unità di volume di muratura a sacco*
P	26	kN	*Forza peso del muro interessata a ribaltamento*
γ	1,5	-	*Coefficiente SLU carichi DM. 14.01.08*
P_{AD}	39	kN	*Forza verticale agente SLU*

Si valuta ora il coefficiente c [-] che determina la quota parte di azione orizzontale che la cerchiatura è in grado di assorbire. Tale valutazione concretizza l'effetto del consolidamento mediante cerchiatura e quanto migliori il comportamento globale della struttura. Dalla relazione trovata precedentemente si ricava c:

$$c = \frac{2\,F}{P} + \frac{b}{2h}$$

Dati		U.M.	*Descrizione*
b	1,25	m	*Larghezza sezione di muro interessata*
h	2	m	*Altezza sezione di muro interessata a ribaltamento*
F_{RD}	7	kN	*Forza resistente di progetto della barra cerchiante*
P_{AD}	39	kN	*Forza verticale agente SLU*
c	0,69		*Quota parte di spinta orizzontale*

Da cui è possibile valutare un'azione orizzontale a cui la cerchiatura è in grado di fare fronte.

$$H = c\,P$$

Dati		U.M.	*Descrizione*
P_{AD}	39	kN	*Forza verticale agente SLU*
c	0,69		*Quota parte di spinta orizzontale (sisma, fuoripiombo)*
H_{RD}	27	kN	*Azione resistente allo SLU*
H_{RD}	2710	kg	*Azione resistente allo SLU*

In condizioni normali l'effetto della cerchiatura tende quindi a cucire le murature, pertanto rappresenta un compressione che tende a compattare la muratura le fessure. Il sistema può essere calibrato e tesato con i tenditori, in modo tale da fornire la giusta azione nei cavi tramite una chiave dinamometrica.

5.3.2. Cerchiatura esterna

Il sistema appena descritto potrà essere integrato con un ulteriore sistema di consolidamento della torre che prevede la cerchiatura della stessa alla quota di ancoraggio delle piastre dei diatoni, nonché alla quota di sommità in corrispondenza delle piastre di placcaggio degli elementi lapidei.

In parete la cerchiatura verrà quindi realizzata con spezzoni di barre d'acciaio disposte separatamente sui 5 prospetti, collegate tra loro tramite tenditori e ancorate alle piastre con tubi quadri e dadi in acciaio. Il sistema sarà reso funzionale tramite le piastre angolari d'acciaio

che consentono di rendere solidali le barre dei 5 prospetti. Il sistema sarà attivato dai tenditori che consentiranno la messa in azione del sistema di cerchiatura complessiva; l'ancoraggio presso le piastre consentirà una ridistribuzione localizzata dello sforzo.

In sommità la cerchiatura verrà realizzata sempre con barre d'acciaio collegate tra loro tramite tenditori e ancorate alle piastre di placcaggio degli elementi lapidei, descritte al paragrafo precedente, con tubi quadri e dadi in acciaio. Il sistema sarà reso funzionale tramite le piastre angolari d'acciaio che consentono di rendere solidali le barre dei 5 lati. Il sistema sarà attivato dai tenditori che consentiranno la messa in azione del sistema di cerchiatura complessiva; l'ancoraggio presso le piastre consentirà una ridistribuzione localizzata dello sforzo. Si rimanda alle tavole di progetto per una completa comprensione del sistema di consolidamento.

5.3.2.1. Effetto della cerchiatura esterna

Lo schema di calcolo è uguale a quello descritto per il consolidamento della Torre Gattoni.

Si riportano le ipotesi alla base del calcolo e i risultati ottenuti.

- Interasse verticale tra cerchiature i = 2,5 m circa.
- Peso specifico della muratura a sacco 17, 5 kN/m^3 ;[57]
- Il calcolo viene eseguito su metà muro in pianta.

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	276	N/mm^2	*Carico di snervamento barre accio inox AISI 316*
γ	1,05	-	*Coefficiente di sicurezza materiale DM. 14.01.08*
f_{yd}	263	N/mm^2	*Carico di progetto barre acciaio inox AISI 316*
ϕ	24	mm	*Diametro barra*
F_{RD}	119	kN	*Forza resistente di progetto della barra cerchiante*
i	2,5	m	*Interasse verticale tra cerchiature*
b	3	m	*Larghezza sezione di muro interessata*
l	5,8	m	*Lunghezza sezione di muro interressata a ribaltamento*
V	43,5	m^3	*Volume di muro interessata a ribaltamento*
γ	17,5	kN/m^3	*Peso per unità di volume di muratura a sacco*
P	761	kN	*Forza peso del muro interessata a ribaltamento*
γ	1,5	-	*Coefficiente SLU carichi DM. 14.01.08*
P_{AD}	1142	kN	*Forza verticale agente SLU*
c	1,41		*Quota parte di spinta orizzontale (sisma, fuoripiombo)*
H_{RD}	1608	kN	*Azione resistente allo SLU*

[57] N. Marino, Manuale di geotecnica per l'ingegneria civile, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2006

5.3.3. Integrazione di una nuova copertura

Gli interventi di consolidamento descritti sono nati anche dall'esigenza della Torre di essere dotata di una copertura. Infatti come descritto nei capitoli precedenti, Torre San Vitale giace in uno stato di inutilizzo, dovuto principalmente alla sua inaccessibilità. In un ottica di recupero degli spazi della torre può risultare utile dotarla di una copertura, sia per definire funzioni al suo interno, sia per proteggerla dagli agenti atmosferici. L'intervento di consolidamento proposto consente di ancorare una nuova copertura agli elementi di carpenteria collocati in sommità. Vengono infatti predisposti dei profili in acciaio tubolari ancorati alle piastre di placcaggio degli elementi lapidei in sommità. La copertura potrà essere ad esempio una capriata spaziale in acciaio a piramide con tamponamenti realizzati con pannelli traslucidi come ad esempio policarbonato, che consentano il passaggio della luce zenitale. Si rimanda alle tavole di progetto per una completa comprensione del sistema di integrazione di una nuova copertura. (Tavole C5-C6)

5.3.4. Computo metrico estimativo

Si propone il CME per voci di lavoro relativa all'intervento di realizzazione della cerchiatura.

TORRE SAN VITALE						
COMPUTO METRICO PER VOCI DI LAVORO[58]						
CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE			GRAFFETTA CERCHIATURA		GC	
COD.	LAVORAZIONE	DESCRIZIONE	Q.tà	U.M.	P.U.	P.T.
GC.1	Perforazioni	Perforazioni su murature in mattoni pieni, pietrame o miste eseguite con idonea attrezzatura a sola rotazione a velocità ridotta, a qualsiasi altezza, profondità e giacitura, per spinottature, cuciture, legamenti murari, tirantature, iniezioni, canalizzazioni. Comprese assistenze murarie, opere provvisionali, piani di lavoro, apparecchi guida, pulizia del perforo, allontanamento macerie con diametro fino a 20 mm	975,00	m	€ 29,23	€ 28.499,25
GC.2	Iniezioni	Consolidamento murature di mattoni, pietrame, miste, caotiche, incoerenti, mediante iniezioni di boiacca di calce idraulica e sabbia fluida additivata, eseguite in fori già predisposti, con idoneo impianto per iniezioni a pressione regolabile. Sono compresi: la sigillatura dei giunti e delle lesioni per impedire la fuoriuscita della boiacca; il fissaggio degli ugelli; la boiacca cementizia fino a completa saturazione della muratura; le opere provvisionali per puntellamenti, protezioni; i piani di lavoro interni. Misurazione sul peso dell'impasto effettivamente utilizzato.	827,02	kg	€ 4,00	€ 3.308,10
GC.3	Acciaio inox	Acciaio inox AISI 316 lavorato per catene, cerchiature, cravatte, chiavi da muro, tenditori, zanche, piattabande, fasce e simili,	975,53	kg	€ 12,62	€ 12.311,22

[58] Fonti: Listino dei Prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni, Comune di Milano, 2009
Prezzi informativi delle OPERE EDILI in Milano 2010, Camera di Commercio, Milano, 2011

	in opera. Compresi tagli, sfridi, adattamenti, fissaggi, ancoraggi, saldature; mano di antiruggine; trasporti, sollevamenti, assistenza muraria alla posa in opera, piani di lavoro.	
	Prezzo totale intervento di consolidamento strutturale di realizzazione cerchiatura	€ 44.118,57

Sono escluse opere provvisionali, oneri della sicurezza e occupazione di suolo pubblico.

Calcolo delle quantità in riferimento al computo metrico estimativo

TORRE SAN VITALE

PERFORAZIONI				GRAFFETTA CERCHIATURA		GC.1
N.	LOCALIZZAZIONE	L 1 [m]	P. UGUALI [-]	P. UGUALI [-]	P. UGUALI [-]	Q.TÀ [m]
1	CORONAMENTO	2,60	15,00 (N. FORI x FILA)	5,00 (N. FILE)	5,00 (PROSPETTI)	975,00
					A riportare	975,00
INIEZIONI				GRAFFETTA CERCHIATURA		GC.2
N.	LOCALIZZAZIONE	L 1 [m]	P. UGUALI [-]	ϕ [mm]	[kg/m]	Q.TÀ [kg]
1	CORONAMENTO	2,60	375,00	20,00	0,85	827,02
					A riportare	827,02
ACCIAIO INOX				GRAFFETTA CERCHIATURA		GC.3
N.	LOCALIZZAZIONE	ϕ [mm]	L [m]	P. UGUALI [-]	[kg/m]	Q.TÀ [kg]
1	FUNI	6,00	7,43	70,00	0,18	92,58
2	DIATONI	20,00	7,43	15,00	2,47	275,28
3	PIASTRE L 600 X 300 X 10		0,30	70,00	3,36	70,56
4	TUBI SP. 10	63,00	0,30	70,00	7,15	150,19
5	BARRE PARETE	24,00	50,25	1,00	3,85	193,46
6	BARRE CORONAMENTO	24,00	50,25	1,00	3,85	193,46
					A riportare	975,53

Calcolo della durata con incidenza percentuale della manodopera.

TORRE SAN VITALE

DURATA DELL'INTERVENTO						
CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE			GRAFFETTA CERCHIATURA		GC	
COD. LAV.	PREZZO	UTILE	SPESE	COSTO T.	% INC MANODOPERA (*)	MANODOPERA
MP	€ 44.118,57	€ 4.411,86	€ 5.956,01	€ 33.750,71	40,00%	€ 13.500,28
				Costo complessivo manodopera tolti oneri e spese		€ 13.500,28
				Costo orario manodopera specializzata		€ 29,37
				Costo orario manodopera I livello		€ 22,71
				Costo medio orario manodopera		€ 26,04
				Ore giornata lavorativa		8
				Costo giornata lavorativa		€ 208,33
				Uomini Giorno		65

(*) D.M. 11/12/1978

5.4. Torre Pantera

La Torre attualmente si trova in uno stato di avanzato degrado a causa del suo inutilizzo e quindi della mancata manutenzione.

All'interno non sono più presenti gli antichi impalcati superiori, di cui rimane traccia nelle nicchie di alloggio delle travi. La volta di copertura del piano terra appare in buone condizioni, per merito anche dei tozzi contrafforti lasciati in opera. La scala che garantiva l'accesso ai vari livelli, è contenuta in un corpo scale adiacente alla torre stessa e versa in condizioni precarie.

La necessità di intervenire per garantirne la conservazione assume oggi carattere d'urgenza, in quanto, al già noto dissesto interno delle murature d'ambito, contrastato negli anni passati con opere di puntellazione, si aggiunge la necessità di una nuova struttura di copertura.

Il 25 ottobre 2010, infatti, violente raffiche di vento, per effetto della morfologia plano volumetrica dell'isolato e della sua ubicazione in rapporto al lungolago, hanno generato una intensa depressione locale e hanno divelto il manto di copertura in lamiera preverniciata che era stato ancorato alle orditure lignee preesistenti, anch'esse divelte unitamente al manto soprastante.

L'indagine effettuata, sia riguardante il rilievo geometrico che il quadro fessurativo, evidenziano disconnessioni verticali della muratura, con la conseguente perdita del comportamento scatolare del manufatto. Inoltre i degradi materici della compagine muraria, amplificati dagli agenti meteorici, hanno portato a decoesioni locali degli elementi costituenti la muratura con conseguenti indebolimenti e riduzioni delle sezioni resistenti.

Al fine di riportare in sicurezza la torre, gli interventi progettati si propongono di ripristinare il comportamento scatolare alla struttura, riomogeneizzare la compagine muraria e garantirne una miglior risposta alle azioni orizzontali (vento e sisma).

Nota

Gli interventi di consolidamento proposti sono quelli relativi al progetto esecutivo redatto dal Prof. Ing. Lorenzo Jurina con cui gli autori del presente documento, hanno collaborato all'iter progettuale di ricerca ed elaborazione dei dati tra Ottobre 2010 e Aprile 2011.

5.4.1. Interventi di consolidamento

Gli interventi previsti sono:

- ampliamento fondazionale

  L'ampliamento fondazionale con la realizzazione di un "vespaio armato", che garantisca una miglior distribuzione dei carichi verticali su una superficie fondale di maggiore area, ed inoltre che possa legare tra loro i paramenti murari e fornire una miglior salubrità degli ambienti, grazie alla ventilazione dell'intercapedine tra terreno e pavimentazione;

- contenimento delle spinte orizzontali della volta

  Il contenimento delle spinte orizzontali della volta del primo piano e il consolidamento della stessa nei confronti dei carichi verticali, mediante la realizzazione di un diaframma orizzontale in c.a. collaborante con la muratura, che permetta una miglior distribuzione del carico verticale sulla volta e al tempo stesso consenta di legare tra loro i paramenti murari a livello di piano estradossale della volta, contenendo eventuali deformazioni orizzontali della scatola muraria;

- cerchiatura della struttura

  La cerchiatura della struttura a due livelli corrispondenti agli antichi impalcati, mediante la realizzazione di nuovi impalcati lignei. La ricostruzione dei nuovi impalcati prevede la posa di un profilo metallico perimetrale ("L" 150x150x14) con la duplice funzione di cerchiare la struttura, mediante un collegamento diffuso dei profilo alla compagine muraria, e di offrire un piano di appoggio per i pannelli lignei che formano l'impalcato di calpestio. I pannelli adottati sono in legno multistrato di spessore 143 mm. Essi hanno funzione strutturale e non necessitano di ulteriori elementi di sostegno. Vincolando i pannelli tra loro e al profilo perimetrale, essi formano un piano con comportamento a lastra-piastra; inoltre, grazie al loro spessore offrono una buona risposta ai carichi orizzontali, creando un diaframma sufficientemente rigido in grado di opporsi alle sollecitazioni orizzontali, garantendo il trasferimento delle forze di taglio da una muratura a quella opposta. L'ancoraggio dei nuovi solai alla struttura verticale avverrà riutilizzando le buche esistenti nella muratura, che erano sede delle travi degli antichi solai, gettando in esse dei "nasi" in c.a. collegati al profilo perimetrale. Ad integrazione dei nasi si prevede la realizzazione di ancoraggi puntuali mediante connettori murari. La particolare composizione degli elementi costituenti gli impalcati consente di ottenere un canale impiantistico lungo il perimetro della torre, che consente una buona flessibilità funzionale degli ambienti, la cui destinazione d'uso non è ancora stata assegnata, e garantisce la preservazione della

struttura da eventuali "scassi" impiantistici legati alla distribuzione architettonica. Gli elementi aggiunti ai profili a "L" che fungono da appoggi per i solai in pannelli multistrato richiedono che i pannelli stessi siano dotati di tagli puntuali che creino lo spazio per l'inserimento di costole di irrigidimento.

- ricostruzione della copertura

  La ricostruzione della copertura, utilizzando la medesima tecnologia degli impalcati interpiano, ovvero posando un profilo metallico perimetrale, ben vincolato in verticale alle murature, con funzione di cerchiatura, e la realizzazione di un piano in pannelli lignei multistrato a formare un diaframma rigido di posa del manto di copertura. Tenendo in considerazione il futuro riutilizzo della struttura, si prevede la coibentazione della copertura stessa per garantire il livello di confort necessario all'abitabilità degli ambienti. Il manto di copertura è previsto in coppi, per ridare alla torre l'originario aspetto. Tenendo in considerazione le potenziali avverse condizioni del vento che agisce sulla struttura, si prevede di dotare ogni singolo coppo di relativo fermacoppo.

Si è previsto di utilizzare, per gli appoggi dei nuovi solai, le buche che ospitavano le travature di quelli antichi, affidando loro il medesimo compito.
Questa scelta ha richiesto il rilievo preciso delle buche esistenti nelle murature interne della torre, in modo che non si rendano necessari successivi scassi nella muratura. Ci si propone infatti, in tutto il progetto, con un atteggiamento conservativo e non invasivo nei confronti del manufatto.

5.4.2. Interventi di consolidamento nel vano scale

Per garantire la sicurezza strutturale dell'intero complesso e ridare fruibilità agli ambienti. si prevede di intervenire anche sul vano scale che conduce ai vari livelli della torre.
Gli interventi previsti sono:

- ampliamento fondazionale

  L'ampliamento fondazionale con la realizzazione di un "vespaio armato", che garantisca una distribuzione dei carichi verticali su una superficie fondale maggiore e consenta di poter legare tra loro i paramenti murari; questo tipo di intervento consentirà di ripristinare il livello di pavimentazione originario, sarà tuttavia necessario provvedere allo sbancamento di parte del giardino esterno poiché nel tempo l'accumularsi di terra nella zona prossima all'apertura verso l'esterno del vano scala

ha creato un dislivello tra l'intero e il giardino stesso. Allo stato di fatto è possibile definire il volume di terra da rimuovere in modo *qualitativo* pari a 8 m^3, frutto di una superficie di 80 m^2 e uno spessore del terreno stimato medio di 10 cm;

- "riscatolarizzazione" della struttura

  La "riscatolarizzazione" della struttura mediante tre livelli di cerchiatura, corrispondenti a tre livelli della torre. Le cerchiature previste sono costituite da barre inghisate negli spigoli del vano in muratura, con tenditori per il tensionamento e l'attivazione del sistema. Le barre verranno posate perimetralmente lungo le murature del vano scale e saranno lasciate a vista, in modo da garantire il massimo rispetto della struttura esistente, senza realizzare scassi murari, e permettere la riconoscibilità dell'intervento e la piena reversibilità;

- sostituzione della copertura

  La sostituzione della copertura, che viene ricostruita utilizzando la medesima tecnologia della torre, ovvero posando un profilo metallico perimetrale, ben vincolato alle murature in direzione verticale, con funzione di cerchiatura, e la successiva realizzazione di un piano continuo in pannelli lignei multistrato, a formare un diaframma rigido su cui viene poi posato il manto di copertura. Come per la copertura della torre, il manto di copertura è previsto in coppi, per ridare un aspetto coerente con gli edifici limitrofi, e si prevede di dotare ogni singolo coppo di relativo fermacoppo;

- consolidamento delle rampe

  Consolidamento delle rampe mediante apprensione. Il consolidamento delle rampe e dei pianerottoli lapidei esistenti è previsto che avvenga mediante l'introduzione di nuovi vincoli di appoggio. I nuovi appoggi sono forniti da mensole, costituite da lame in acciaio ammorsate nella muratura, e da 8 barre (ϕ 24) discendenti dalla copertura dove sono ancorate a profili metallici (4x2UPN 140) che a loro volta appoggiano sulle murature perimetrali del vano scale.

Oltre agli interventi citati si prevede di rinforzare le pareti degradate mediante iniezioni di consolidamento della muratura per sigillare le principali fessure. L'operazione verrà eseguita realizzando piccole perforazioni nella muratura, in corrispondenza dei giunti di malta, al cui interno verrà iniettato un legante colloidale, a indurimento lento e a ritiro compensato, con proprietà chimico-fisiche compatibili con la muratura esistente. Il legante, caratterizzato da

un'elevata fluidità e coesività, avrà lo scopo di garantire il riempimento omogeneo delle porosità e dei vuoti presenti all'interno della struttura muraria.

Nelle zone interessate da fessurazioni importanti e di grande ampiezza si è previsto di utilizzare la tecnica denominata "Reticolatus", proposta dal prof. A. Borri dell'Università degli Studi di Perugia. Tale tecnica prevede il rinforzo delle murature in conci di pietra irregolari mediante una maglia di sottili trefoli metallici che li collegano girando attorno ad essi e legandoli mutuamente, al fine di incrementarne la resistenza a compressione, a taglio e a flessione.

5.4.3. Descrizione delle tecniche di intervento

Vespaio armato

Il consolidamento delle fondazioni consiste nella creazione di un diaframma continuo in grado di collegare tutte le pareti. Il metodo denominato "Vespaio Armato", consente l'irrigidimento del primo orizzontamento, offrendo benefici sia statici sia termo-igrometrici. L'efficacia strutturale è garantita dalla realizzazione di una piastra alleggerita ben collegata alle fondazioni esistenti che distribuisce le sollecitazioni esercitate sul terreno e impone all'intero edificio di deformarsi uniformemente.

Il sistema di vespaio armato strutturale è costituito da due solette in calcestruzzo armato con rete elettrosaldata, distanziate tra loro da casseri a perdere per vespaio aerato, tipo "Iglù". Le due solette sono collegate puntualmente da connettori metallici sagomati, localizzati all'incrocio dei cupolini, e annegati nel getto di c.a. delle due solette. L'unione tra il nuovo elemento orizzontale e le murature esistenti è realizzata con un cordolo in c.a., perimetrale rispetto ai vespai strutturali, collegato alle fondazioni mediante connettori metallici. I benefici termo igrometrici sono offerti dalla presenza di una camera d'aria interposta tra le due solette collaboranti, collegata all'esterno con opportune tubazioni che ne consentono la ventilazione e l'espulsione dell'aria umida proveniente dal terreno.

Cerchiature del vano scale

La cerchiatura prevista per il vano scale è costituita da un sistema che andrà ad affiancare gli elementi strutturali esistenti e verrà lasciato a vista. Il sistema è caratterizzato da quattro catene perimetrali, ciascuna composta da tre spezzoni, i quali avranno le estremità filettate. Il primo e il terzo spezzone di ciascuna catena, saranno costituiti da barre piegate, con un'estremità inserita in fori precedentemente eseguiti nella muratura, con un angolo di 30° rispetto alla perpendicolare, e inghisate nella muratura. Il secondo spezzone di catena,

costituito da una barra dritta centrale, verrà unito ai due laterali mediante tenditori. Al fine di garantire l'unione è necessario che l'accoppiamento degli spezzoni avvenga tra filettatura destrogira e sinistrogira.

Reticolatus

Il "Reticolatus" è una tecnica di rinforzo per murature irregolari, principalmente in pietrame, in grado di salvaguardare il mantenimento delle caratteristiche di faccia a vista. La tecnica consiste nell'inserimento nei giunti di malta di una maglia continua costituita da sottili trefoli in acciaio i cui nodi sono fissati mediante barre metalliche trasversali al paramento murario.

Il risultato finale è quello di una muratura armata per la quale si possono ottenere, incrementi della resistenza a compressione, a taglio e a flessione ed anche un efficace collegamento trasversale tra i paramenti della muratura. Inoltre questa tecnica di rinforzo è efficace nei confronti sia di sollecitazioni dinamiche di tipo sismico, sia di azioni statiche verticali e risulta sostanzialmente reversibile, poco invasiva ed in grado di integrare la muratura e non di sostituirla. La tecnica è compatibile con la conservazione materica del manufatto e durevole.

Il miglioramento non riguarda solo le caratteristiche meccaniche della muratura su cui si interviene, ma interessa l'interafabbrica muraria poiché lo "scheletro armato" della magliacontinua inserita nella muratura oltre a rinforzare il pannellomurario, va a collegare tra loro i diversi elementi murari contiguicostituendo quindi un sistema completo dirinforzo.

Impalcati in pannelli di multistrato incrociato

Gli impalcati del secondo e terzo livello e quello di copertura si prevede vengano realizzati in pannelli di compensato multistrato, (composti per un 99,4% da legno e per un 0,6 % da colla).

I pannelli in multistrato incrociato sono un prodotto finito e compatto in legno, autoportanti, in grado di sopportare i carichi verticali di esercizio, e presentano caratteristiche isolanti di grande rilievo. Inoltre, questi pannelli garantiscono una protezione antincendio ed un buon isolamento acustico.

5.4.4. Materiali

Acciaio per carpenteria metallica: S275

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{tk}	430	N/mm^2	*Tensione di rottura acciaio per carpenteria metallica S275*
f_{yk}	275	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio per carpenteria metallica S275*
γ_M	1,05	-	*Coefficiente di sicurezza materiale DM 14.01.2008*
f_{yd}	262	N/mm^2	*Resistenza di progetto*
E	210000	N/mm^2	*Modulo elastico*
υ	0,3		*Coefficiente di Poisson*
α	$12x10^{-6}$	$°C^{-1}$	*Coefficiente di dilatazione termica*
ρ	78,5	kN/m^3	*Peso Proprio*

Bulloni di classe 8.8

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{tk}	800	N/mm^2	*Tensione di rottura*
f_{yk}	649	N/mm^2	*Tensione di snervamento*
γ_{M2}	1,25	-	*Coefficiente di sicurezza materiale DM 14.01.2008*
f_{yd}	519	N/mm^2	*Resistenza di progetto*
f_{vd}	300	N/mm^2	*Resistenza di taglio*

Pannelli multistrato incrociato in larice

Dati		U.M.	*Descrizione*
$f_{m,0,k}$	18,0	N/mm^2	*Resistenza caratteristica a flessione*
$f_{t,0,k}$	9,8	N/mm^2	*Resistenza caratteristica a trazione*
$f_{c,0,k}$	21,0	N/mm^2	*Resistenza caratteristica a compressione*
$f_{v,0,k}$	0,7	N/mm^2	*Resistenza caratteristica a taglio*
σ_B	7,5	N/mm^2	*Tensione flessionale elastica*
$E_{0,mean}$	11000	N/mm^2	*Modulo elastico medio parallelo alle fibre*
G_{mean}	60	N/mm^2	*Modulo di taglio*
ρ	5,9	kN/m^3	*Peso Proprio*

I valori delle resistenze ultime del legno, classe di servizio 1, sono stati valutati come:

$$X_d = \frac{k_{\mathrm{mod}} \times f_k}{\gamma_m}$$

Per carichi permanenti le resistenze di progetto sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
γ_M	1,4	-	*Coefficiente di sicurezza materiale DM 14.01.2008*
k_{mod}	0,6	-	*Coefficiente per carichi permanenti*
$f_{m,0,d}$	7,71	N/mm^2	*Resistenza di progetto a flessione*
$f_{t,0,d}$	4,20	N/mm^2	*Resistenza di progetto a trazione*
$f_{c,0,d}$	9,00	N/mm^2	*Resistenza di progetto a compressione*
$f_{v,0,d}$	0,30	N/mm^2	*Resistenza di progetto a taglio*

Per carichi accidentali di media durata le resistenze di progetto sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
γ_M	1,4	-	*Coefficiente di sicurezza materiale DM 14.01.2008*
k_{mod}	0,8	-	*Coefficiente per carichi accidentali di media durata*
$f_{m,0,d}$	10,29	N/mm^2	*Resistenza di progetto a flessione*
$f_{t,0,d}$	5,60	N/mm^2	*Resistenza di progetto a trazione*
$f_{c,0,d}$	12,00	N/mm^2	*Resistenza di progetto a compressione*
$f_{v,0,d}$	0,40	N/mm^2	*Resistenza di progetto a taglio*

Per le verifiche di esercizio si usano i seguenti valori dei moduli elastici:

Dati		U.M.	*Descrizione*
E_d	11000	N/mm^2	*Modulo elastico di progetto - verifiche istantanee*
k_{def}	0,8	-	*Coefficiente deformativo a lungo periodo - classe di servizio 1*
$E_{mean,\ fin}$	6111	N/mm^2	*Modulo elastico di progetto - verifiche a lungo periodo*
$G_{mean,\ fin}$	33	N/mm^2	*Modulo elastico di progetto - verifiche a lungo periodo*

Come limite massimo d'inflessione istantaneo si assume L/300; come limite massimo d'inflessione a tempo infinito (tenendo quindi conto anche della viscosità dei materiali) si è assunto L/200 in accordo con CNR-DT206.

5.4.5. Analisi dei carichi

I sovraccarichi permanenti impiegati nelle verifiche sono i seguenti:

Dati		U.M.	*Descrizione*
p_{sol}	2,50	kN/m^2	*Sovraccarico permanente solai*
p_{cop}	1,00	kN/m^2	*Sovraccarico permanente copertura*

Il sovraccarico accidentale sui solai impiegato nelle verifiche è il seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
q_k	3,00	kN/m^2	*Ambienti suscettibili ad affollamento (cat. C1)*

Il sovraccarico accidentale *neve* impiegato nelle verifiche è valutato come segue:

Dati		U.M.	*Descrizione*
a_s	201	m	*Quota s.l.m.*
q_{sk}	1,496	kN/m^2	*Sovraccarico caratteristico DM 14.01.2008 (3.3.8)*
i	< 30	m	*Inclinazione falda*
μ	0,80	-	*Coefficiente di forma*
q_s	1,20	kN/m^2	*Sovraccarico della neve DM 14.01.2008 (3.3.7)*

Il sovraccarico accidentale *vento* impiegato nelle verifiche è valutato come segue:

Dati		U.M.	*Descrizione*
Zona	1	-	*a_s< 500 m s.l.m.; dist. mare > 30 km*
Rugosità	A	-	*Classe di rugosità*
Categoria	V	-	*Categoria di esposizione*
ρ	1,25	kg/m^3	*Densità dell'aria*

v_b	25,000	m/s	*Velocità di riferimento*
q_b	390,6	N/m^2	*Pressione cinetica di riferimento*

I coefficienti di calcolo dell'azione del vento per le diverse combinazioni sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
c_e	1,48	-	*Coefficiente di esposizione z < 12,00 m*
c_e	1,79	-	*Coefficiente di esposizione z = 18,48 m*
α	23	°	*Inclinazione della falda*
c_p	0,8	-	*Elementi sopravento $\alpha \geq 60°$*
c_p	-0,31	-	*Elementi sopravento $20° < \alpha < 60°$*
c_p	-0,40	-	*Elementi sottovento $0° < \alpha < 20°$*

Combinazione di vento 1:

Dati		U.M.	*Descrizione*
q_b	0,39	kN/m^2	*Pressione cinetica di riferimento*
c_e	1,48	-	*Coefficiente di esposizione z < 12,00 m*
c_p	-0,40	-	*Elementi sottovento $0° < \alpha < 20°$*
c_d	1,0	-	*Coefficiente dinamico*
q_v	-0,23	kN/m^2	*Azione del vento 1*

Combinazione di vento 2:

Dati		U.M.	*Descrizione*
q_b	0,39	kN/m^2	*Pressione cinetica di riferimento*
c_e	1,48	-	*Coefficiente di esposizione z < 12,00 m*
c_p	0,8	-	*Elementi sopravento $\alpha \geq 60°$*
c_d	1,0	-	*Coefficiente dinamico*
q_v	0,46	kN/m^2	*Azione del vento 2*

Combinazione di vento 3:

Dati		U.M.	*Descrizione*
q_b	0,39	kN/m^2	*Pressione cinetica di riferimento*
c_e	1,79	-	*Coefficiente di esposizione z = 18,48 m*
c_p	-0,31	-	*Elementi sopravento $20° < \alpha < 60°$*
c_d	1,0	-	*Coefficiente dinamico*
q_v	-0,22	kN/m^2	*Azione del vento 3*

I sovraccarichi permanenti e accidentali sulle scale sono i seguenti:

Dati		U.M.	*Descrizione*
p_k	1,00	kN/m^2	*Sovraccarico permanente scale*
q_k	4,00	kN/m^2	*Accidentale: ambienti suscettibili ad affollamento (cat. C2)*

5.4.5.1. Azione sismica

Il Comune di Como risulta ricadere, secondo la zonizzazione presente nell'Ordinanza n°3274 del 20/03/2003, nella zona 4 e quindi con bassa pericolosità sismica.

Inoltre, secondo le nuove norme tecniche, la costruzione presenta le seguenti caratteristiche:

- tipo di costruzione 2 (cap. 2.4.1): opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale;
- classe d'uso II (cap. 2.4.2): costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali.

In ragione del tipo di costruzione, le azioni sismiche sono state valutate con l'analisi statica equivalente, considerando la torre come manufatto indipendente.

5.4.6. Combinazioni di carico

Le azioni sulle strutture devono essere cumulate in modo da determinare condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli.

I coefficienti utilizzati nei calcoli sono riportati di seguito.

Combinazione per lo stato limite ultimo con sisma:

$F_d = E + G_{k1} + G_{k2} + \Sigma(\psi_{2i} x Q_{ik})$

Dati		U.M.	*Descrizione*
γ_{Qi}	1,00	-	
ψ_2	0,60	-	*Per carichi variabili ambienti suscettibili ad affollamento*
ψ_2	0,00	-	*Per carichi variabili tipo neve e vento*

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:$G_{k1} + G_{k2} + \Sigma(\psi_{2i} x Q_{ik})$

Combinazione per lo stato limite ultimo senza sisma:

$F_d = \gamma_{gi} x G_{ki} + \gamma_q x [Q_{1k} + \Sigma(\psi_{0i} x Q_{ik})]$

γ_{Q1}	1,30	-	*Pesi propri elementi strutturali*
γ_{Q2}	1,50	-	*Pesi propri elementi non strutturali*
γ_Q	1,50	-	*Per azioni variabili*
ψ_0	1,00	-	*Per carico variabile principale*
ψ_0	0,70	-	*Per carichi variabili ambienti suscettibili ad affollamento*
ψ_0	0,50	-	*Per carico tipo vento*
ψ_0	0,50	-	*Per carico tipo neve*

Combinazione per lo stato limite d'esercizio: combinazione RARA

$F_d = G_{k1} + G_{k2} + Q_{1k} + \Sigma(\psi_{0i} x Q_{ik})$

Dati		U.M.	*Descrizione*
γ_{Qi}	1,00	-	
ψ_0	1,00	-	*Per carico variabile principale*
ψ_0	0,70	-	*Per carichi variabili ambienti suscettibili ad affollamento*
ψ_0	0,50	-	*Per carico tipo vento*
ψ_0	0,50	-	*Per carico tipo neve*

Combinazione per lo stato limite d'esercizio: combinazione FREQUENTE

$F_d = G_{k1} + G_{k2} + \Sigma(\psi_{1i} x Q_{ik})$

Dati		U.M.	*Descrizione*
γ_{Qi}	1,00	-	
ψ_1	0,70	-	*Per carichi variabili ambienti suscettibili ad affollamento*
ψ_1	0,20	-	*Per carichi variabili tipo neve e vento*

Combinazione per lo stato limite d'esercizio: combinazione QUASI PERMANENTE

$F_d = G_{k1} + G_{k2} + \Sigma(\psi_{2i} x Q_{ik})$

Dati		U.M.	*Descrizione*
γ_{Qi}	1,00	-	
ψ_2	0,60	-	*Per carichi variabili ambienti suscettibili ad affollamento*
ψ_2	0,00	-	*Per carichi variabili tipo neve e vento*

5.4.7. Verifiche: nuovi solai in legno

Il nuovo solaio in legno sarà realizzato con pannelli di legno multistrato incrociato *XLAM* sp. 143 mm appoggiato a profili d'acciaio L150x150x14. Tali profili saranno a loro volta ancorati alla muratura tramite barre d'acciaio saldate sul profilo e annegate negli scassi murari presenti nella muratura. L'armatura sarà resa solidale con un getto in conglomerato cementizio che genererà una vera e propria mensola in cemento armato, detti "nasi", di appoggio per il nuovo solaio. Seguono le verifiche degli elementi resistenti del nuovo solaio.

5.4.7.1. Verifiche impalcato in pannelli lignei multistrato incrociato

Lo schema statico del pannello maggiormente sollecitato è quello una trave in semplice appoggio su una luce massima di 4,20 m soggetta ad un carico distribuito somma dei pesi propri della struttura e dei sovraccarichi permanenti e accidentali portati.
Le caratteristiche geometriche e meccaniche del pannello sono le seguenti:

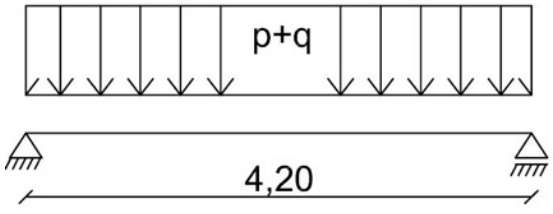


Figura 5.12 - Torre Pantera: Schema di calcolo dell'impalcato e posa dei pannelli lignei multistrato incrociato

Dati		U.M.	*Descrizione*
L	4,200	m	*Luce massima del pannello*
h	0,143	m	*Altezza del pannello*
b	1,000	m	*Larghezza del pannello*
A_0	1430	cm^2	*Sezione del pannello*
A_{netto}	990	cm^2	*Sezione netta*
I_{netto}	22157	cm^4	*Momento d'inerzia legno netto*
W_{netto}	3099	cm^3	*Modulo resistente legno netto*

La combinazione di carico allo stato limite ultimo sull'impalcato è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
b	1,000	m	*Larghezza del pannello*
p_k	0,84	kN/m	*Peso proprio solaio*
p_{sol}	2,50	kN/m	*Sovraccarico permanente solai*
q_k	3,00	kN/m	*Ambienti suscettibili ad affollamento (cat. C1)*
γ_{Q1}	1,30	-	*Pesi propri elementi strutturali*
γ_{Q2}	1,50	-	*Pesi propri elementi non strutturali*
γ_Q	1,50	-	*Per azioni variabili*
p_{AD}	9,35	kN/m	*Carico agente SLU*

La verifica al momento flettente agente SLU è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
M_{AD}	20,61	kNm	*Momento agente trave semplice appoggio*
M_{RD}	31,87	kNm	*Momento resistente*

$M_{Rd} > M_{ad}$

La verifica al taglio agente allo SLU è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
V_{AD}	19,63	kN	*Taglio agente all'appoggio*
τ_{AD}	0,2	N/mm^2	*Tensione di taglio agente*
$f_{v,0,d}$	0,4	N/mm^2	*Resistenza di progetto a taglio*

$f_{v,0,d} > \tau_{AD}$

La combinazione di carico allo stato limite d'esercizio sull'impalcato è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
b	1,000	m	*Larghezza del pannello*
p_k	0,84	kN/m	*Peso proprio*
p_{sol}	2,50	kN/m	*Sovraccarico permanente solai*
q_k	3,00	kN/m	*Ambienti suscettibili ad affollamento (cat. C1)*
p_{Ak}	6,34	kN/m	*Carico agente SLE*

La verifica flessionale del pannello allo SLE in combinazione RARA è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
M_{AK}	13,99	kNm	*Momento agente trave semplice appoggio combinazione rara*
σ_{AK}	4,5	N/mm^2	*Tensione flessionale agente*
σ_B	7,5	N/mm^2	*Tensione flessionale elastica M/W*

$\sigma_B > \sigma_{AK}$

La freccia istantanea dovuta alla totalità dei carichi è la seguente:

$f_{tot} = (5/384)(q\ L^4)/(E_{0,mean} I)$

Dati		U.M.	*Descrizione*
$E_{0,mean}$	11000	N/mm^2	*Modulo elastico medio parallelo alle fibre*
f_{tot}	10,55	mm	*Freccia istantanea dovuta alla totalità dei carichi*
L/300	14,00	mm	*Freccia istantanea limite*

$L/300 > f_{tot}$

La freccia viscosa dovuta alla totalità dei carichi è pari a:

$f_{tot} = f_{p,visc} + f_{a,visc} = (5/384)(p\ L^4)/(E_{mean,fin}\ I) + [(5/384)(a\ L^4)/(E_{0,mean} I)](1+\psi_2 K_{def})$

Dati		U.M.	*Descrizione*
$E_{mean,\ fin}$	6111	N/mm^2	*Modulo elastico di progetto - verifiche a lungo periodo*
$f_{p,\ visc}$	10,01	mm	*Freccia viscosa dovuta ai permanenti portati*
$E_{0,mean}$	11000	N/mm^2	*Modulo elastico medio parallelo alle fibre*
ψ_2	0,60	-	*Per carichi variabili ambienti suscettibili ad affollamento*
k_{def}	0,8	-	*Coefficiente deformativo a lungo periodo - classe di servizio 1*
$f_{q,\ visc}$	7,38	mm	*Freccia viscosa dovuta ai carichi accidentali*
f_{tot}	17,39	mm	*Freccia viscosa dovuta alla totalità dei carichi*
L/200	21,00	mm	*Freccia viscosa limite*

$L/200 > f_{tot}$

La verifica flessionale del pannello allo SLE in combinazione QUASI PERMANENTE è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
M_{AK}	11,34	kNm	*Momento agente trave semplice appoggio combinazione q.p.*
σ_{AK}	3,7	N/mm^2	*Tensione flessionale agente*
σ_B	7,5	N/mm^2	*Tensione massima a flessione M/W*

$\sigma_B > \sigma_{AK}$

Verifica: appoggio dell'impalcato sul profilo metallico L150x150x14 mm

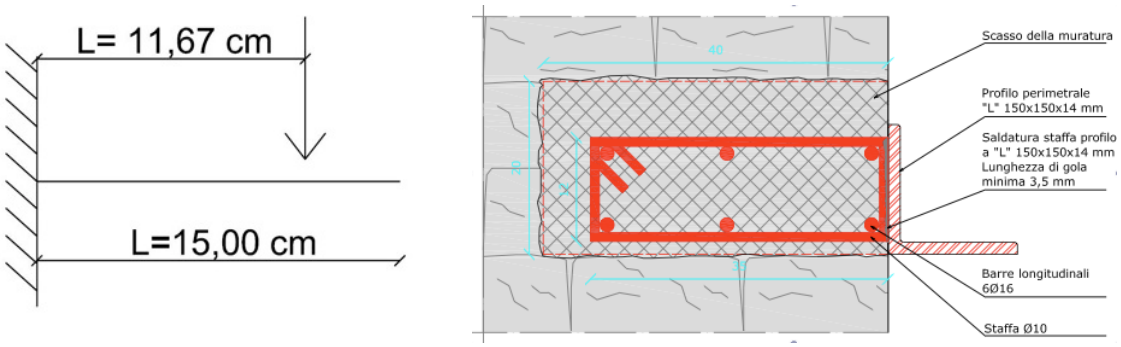


Figura 5.13 - Torre Pantera: Schema di appoggio dell'impalcato ligneo sul profilo L 150x150x14

Lo schema statico dell'ala inferiore del profilo è quello di una mensola, la verifica viene effettuata per una sezione di lunghezza unitaria su cui agisce l'azione tagliante valutata precedentemente. La verifica dell'ala dell'angolare è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
L	0,117	m	*Luce appoggio pannello - appoggio L*
V_{AD}	19,63	kN/m	*Taglio agente all'appoggio dal pannello per metro lineare*
M_{AD}	2,29	kNm/m	*Momento agente all'incastro*
t	0,014	m	*Spessore del profilo a L*
W_{pl}	49000	mm^3	*Modulo resistente dell'ala per metro lineare*
f_{yd}	262	N/mm^2	*Resistenza di progetto*
M_{RD}	12,83	kNm/m	*Momento resistente*

$M_{Rd} > M_{ad}$

Verifica della saldatura del profilo L150x150x14 alle barre annegate nella muratura

In riferimento alla figura 5.13 si propone la verifica della saldatura effettuata suddividendo l'azione trasmessa nella tensione parallela e nella tensione perpendicolare alla saldatura, confrontando la sovrapposizione di tali effetti con la resistenza dell'acciaio.

Dati		U.M.	*Descrizione*
V_{AD}	19,63	kN/m	*Taglio agente all'appoggio*
a_{wl}	0,70	-	*Coefficiente correttivo della resistenza della saldatura*
f_{yd}	262	N/mm^2	*Resistenza di progetto*
h	120,0	mm	*Lunghezza di saldatura*
a	3,54	mm	*Lunghezza di gola*
br	0,117	m	*Luce appoggio pannello - appoggio L*
$n_{PERP.}$	134,98	N/mm^2	*Tensione normale massima sulla saldatura*
$t_{PARAL.}$	23,13	N/mm^2	*Tensione parallela massima sulla saldatura*
f_{AD}	136,94	N/mm^2	*Tensione agente nella saldatura*
f_{RD}	183,3	N/mm^2	*Tensione resistente nella saldatura*

$f_{Rd} > f_{ad}$

Verifica a compressione della muratura in corrispondenza delle mensole in cemento armato

In riferimento alla figura 5.13 si propone la verifica a compressione della muratura per effetto dell'azione di appoggio delle mensole che sorreggono i nuovi solai.

La resistenza di progetto della muratura è valutata considerando un fattore di confidenza pari a 1,35 e abbattendo del 50% la resistenza a compressione della pietra arenari del paramento esterno della muratura a sacco che sosterrà i carichi.

Dati		U.M.	*Descrizione*
$f_{k\ PIETRA}$	15	N/mm^2	*Resistenza a compressione pietra arenaria*
$f_{k\ MURATURA}$	7,5	N/mm^2	*Resistenza muratura*
FC	1,35	-	*Fattore di confidenza*
f_k	5,56	N/mm^2	*Resistenza muratura*
γ_M	3,0	-	*Coefficiente di sicurezza materiale DM 14.01.2008*
f_d	1,85	N/mm^2	*Resistenza di progetto muratura*

La verifica a compressione è effettuata considerando una superficie dell'appoggio di 200x200 mm molto inferiore rispetto a quella realmente realizzata.

Dati		U.M.	*Descrizione*
a	200,0	mm	*Larghezza di appoggio*
b	200,00	mm	*Lunghezza di appoggio*
V_{AD}	19,63	kN	*Taglio agente all'appoggio dal solaio*
f_{AD}	0,49	N/mm^2	*Compressione agente all'appoggio sulla muratura*
f_d	1,85	N/mm^2	*Resistenza di progetto muratura*

$f_d > f_{ad}$

5.4.8. Verifiche: volta a botte

La volta posta al primo piano è priva di catena e quindi genera sulla muratura verticale una forza orizzontale. Per calcolare tale forza si è utilizzato il programma Arco dell'Ing. Gelfi. Di seguito se ne riportano i passi principali.

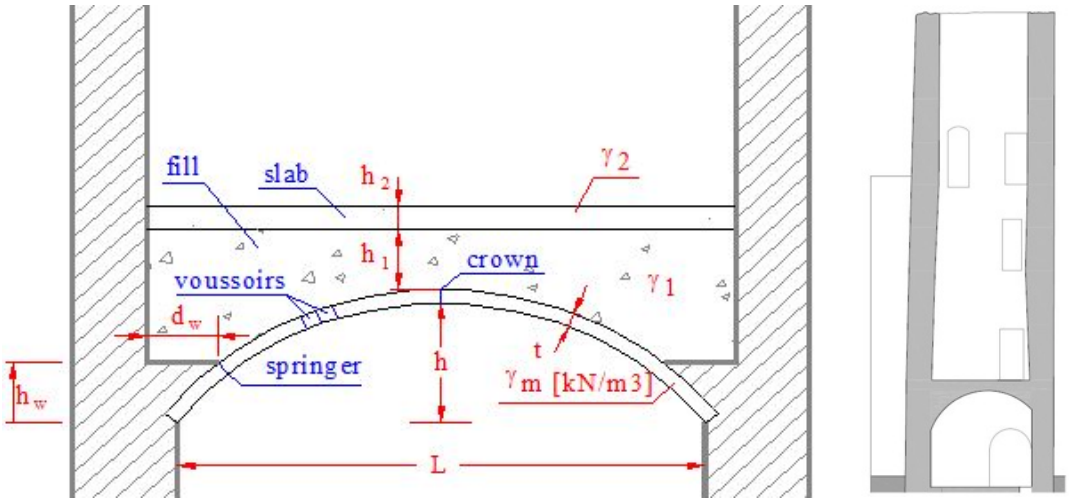


Figura 5.14 Torre Pantera: Schema della volta e sezione della torre

La geometria della volta, in riferimento alla fig. 5.13 è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
L	3,5	m	*Luce della volta*
t	0,4	m	*Spessore dei conci resistenti*
h	1,5	m	*Altezza dell'imbotte*
n°	40,0	-	*Numero di conci che generano l'arco*
h1	0,2	m	*Altezza del riempimento in mezzeria*
h2	0,2	m	*Altezza del pavimento*
γ_M	27,0	kN/m^3	*Peso specifico dei conci*
γ_1	18,0	kN/m^3	*Peso specifico del riempimento*
γ_2	20,0	kN/m^3	*Peso specifico del Pavimento*
d_w	0,0	m	*Larghezza del rene*
h_w	0,0	m	*Altezza del rene*
l	1,0	m	*Profondità della volta – considerato uno sviluppo unitario*

In figura 5.14 sono riportate le azioni agenti nella volta e il risultato della curva delle pressioni nell'arco valutate con il software. La verifica è soddisfatta quando la curva delle pressioni giace all'interno della sezione dell'arco, ricordando che la rottura avviene per la formazione di cerniere intradossali ed estradossali alternate. I valori delle compressioni risultano inferiori ai 0,2 MPa quando la resistenza della pietra può essere considerata dell'ordine dei 5 MPa. Le azioni interne sono valutate considerando i pesi propri e un sovraccarico accidentale di 3 kN/m^2 relativo agli ambienti suscettibili ad affollamento (cat. C1).[59]

[59] NTC 08 – DM 14.01.08

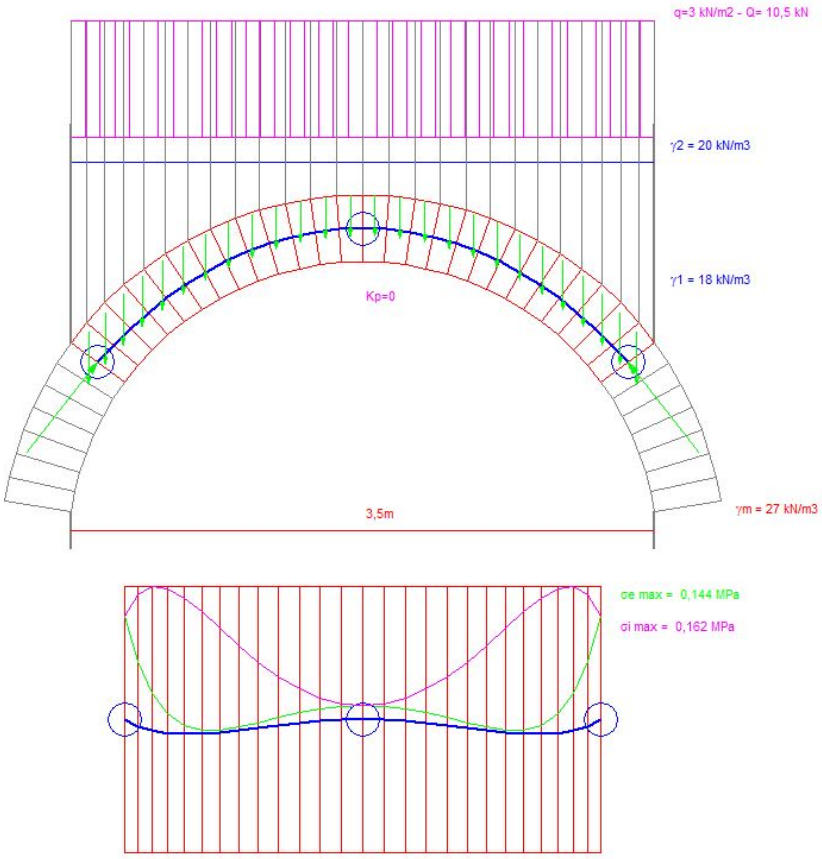


Figura 5.15 - Torre Pantera: Azioni nella volta e curva delle pressioni valutate con il software ARCO

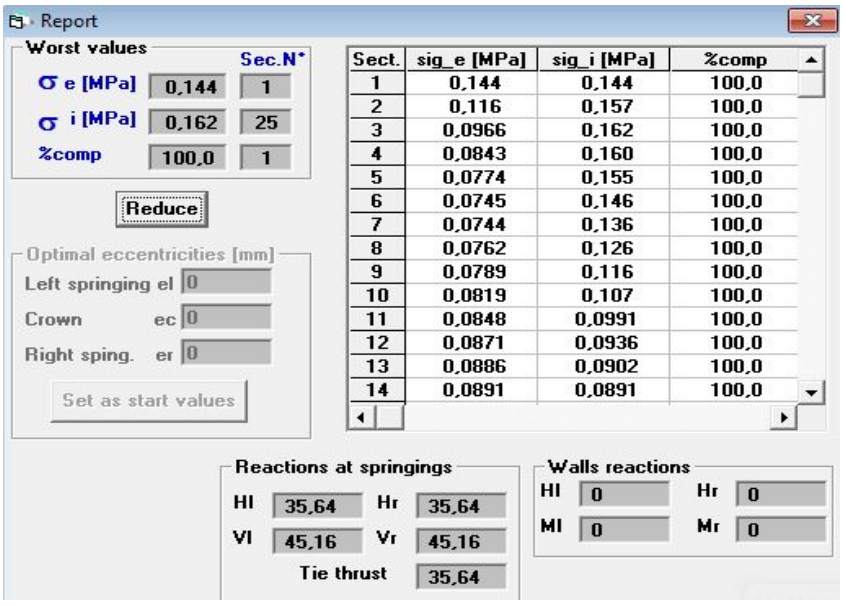


Figura 5.16 - Torre Pantera: Azioni interne nella volta valutate con il software ARCO

L'azione orizzontale agente sulla muratura è pari a 35,64 kN.

Si procede con una verifica di eccentricità dei carichi sulla muratura per effetto della spinta orizzontale della volta.

Si considera la sovrapposizione degli effetti dei carichi gravitazionali della muratura, peso proprio, e dell'azione orizzontale agente per la presenza della volta per valutare se il muro è in grado di sostenere a gravità la spinta che riceve.

Dati		U.M.	*Descrizione*
L	15,5	m	*Altezza della muratura*
t	1,0	m	*Spessore della muratura*
h	1,0	m	*Lunghezza della sezione considerata*
γ_M	18,0	kN/m^3	*Peso specifico muratura*
P	279,0	kN	*Peso della muratura*
V_r	45,16	kN	*Azione verticale della volta*
H_r	35,64	kN	*Azione orizzontale della volta*
N	324,2	kN	*Azione agente nella muratura N=P+V*
b	1,0	m	*Distanza appoggio arco-centro muratura*
M	35,6	kNm	*Momento agente alla base del paramento M = H_r b*
e	109,9	mm	*Eccentricità dell'azione agente nella muratura e= M/N*
u	166,7	mm	*Dimensione nocciolo centrale d'inerzia*

Il centro di pressione è interno al nocciolo centrale d'inerzia infatti si ha:

u = 1000/6 = 166 mm > 109,9 mm

Pertanto la spinta fornita dalla volta è contrastata, per gravità, dal peso della parete verticale contro cui si appoggia.

5.4.9. Verifiche: cerchiatura dei vani

I nuovi solai sono costituiti perimetralmente da profili metallici a L 150x150x14 mm aventi la funzione, oltre che di trasmettere alla muratura i carichi verticali del solaio, di cerchiare la torre e quindi di resistere ai carichi orizzontali, sisma e vento. In corrispondenza dei solai dei piani secondo e terzo, il profilo perimetrale a L 150x150x14 assolve quindi, oltre che al compito di sostenere i solai lignei, anche quello di garantire la scatolarità della torre.

5.4.9.1. Determinazione delle forze sismiche

Per la parete lato Piazza G. Verdi è stata calcolata la forza sismica con il metodo dell' "analisi lineare statica" che consiste nel sostituire forze statiche equivalenti alle forze di inerzia indotte dall'azione sismica.

I requisiti che la costruzione deve soddisfare per poter utilizzare di tale metodo sono:

- regolarità in altezza;
- periodo del modo di vibrare principale T_1 minore di 2,5xT_C o T_D.

Per costruzioni che non superino i 40 m di altezza e la cui massa sia approssimativamente uniformemente distribuita lungo l'altezza, T_1 può essere stimato con l'espressione seguente:

$T_1 = C_1 \ H^{3/4}$

con H altezza della costruzione in metri e $C_1 = 0{,}050$ per costruzioni in muratura.

Dati		U.M.	Descrizione
T_1	0,45	s	*Periodo del primo modo di vibrare calcolata con* $T_1 = C_1 \ H^{3/4}$
C_l	0,05	-	*Coefficiente per costruzioni con struttura in muratura*
H	18,68	m	*Altezza della Torre*

Con riferimento al calcolo effettuato al paragrafo 5.2.2.3 si riporta i risultati del calcolo dello spettro di risposta elastico della componente orizzontale:

Dati		U.M.	Descrizione
$S_e(T_1)$	0,19	-	*Ordinata dello spettro di risposta elastico della componente orizzontale*

Il valore del fattore di struttura q, da utilizzare per ciascuna direzione dell'azione sismica, è calcolato con la seguente espressione:$q = q_0 x K_R$

Dati		U.M.	Descrizione
α_u/α_1	1,80		*Costruzioni in muratura ordinaria a due o più piani*
q_0	3,6		$2\ \alpha_u/\alpha_1$
K_r	1		*Fattore riduttivo relativo alla regolarità in altezza della costruzione*
q	3,6		*Fattore di struttura*
$S_D(T_1)$	0,051	-	*Ordinata dello spettro di risposta di progetto della componente orizzontale*

Tali forze sismiche, secondo quanto prescritto dalle NTC2008, si valutano con la seguente espressione:$F_h = S_D(T_1)\ W\lambda/g$

dove

$S_d(T_1)$ = è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto pari a: 0,051;

λ = è un coefficiente che nel caso in esame è pari a 1,0;

W = è la quotaparte del peso della costruzione che compete alla copertura.

Si ricorda che l'analisi lineare statica è sostanzialmente un'analisi dinamica semplificata, ex statica equivalente, dove per la struttura non si effettua l'analisi dinamica per determinare i modi di vibrare naturali, ma si ipotizza un modo di vibrare principale del manufatto caratterizzato da un periodo T_1 calcolato in maniera approssimata secondo quanto prescritto dalle nuove NTC2008.

Si definiscono di seguito i carichi agenti e la geometria del problema:

Dati		U.M.	*Descrizione*
γ	18,0	kN/m^3	*Peso specifico muratura a sacco*
$h_{MURATURA\ 1}$	3,64	m	*Altezza del tratto di muratura 1*
$h_{MURATURA\ 2}$	3,56	m	*Altezza del tratto di muratura 2*
$h_{MURATURA\ 3}$	2,77	m	*Altezza del tratto di muratura 3*
$h_{MURATURA\ 4}$	2,48	m	*Altezza del tratto di muratura 4*
$h_{MURATURA\ 5}$	1,35	m	*Altezza del tratto di muratura 5*
p_k	0,84	kN/m	*Peso proprio solaio*
p_{sol}	2,50	kN/m	*Sovraccarico permanente solai*
p_{cop}	1,00	kN/m	*Sovraccarico permanente copertura*
q_k	3,00	kN/m	*Ambienti suscettibili ad affollamento (cat. C1)*
q_s	1,20	kN/m^2	*Sovraccarico della neve DM 14.01.2008 (3.3.7)*
L	3,5	m	*Luce della volta*
L	4,2	m	*Luce dei solai*

Si definiscono di seguito le masse sismiche ripartite alle diverse quote di piano secondo la combinazione sismica considerando uno sviluppo geometrico unitario dell'azione.

Piano quota +3.43

Dati		U.M.	*Descrizione*
W_{VOLTA}	34,66	kN/m	*Peso della volta per metro lineare di sviluppo*
$W_{MURATURA\ 1}$	65,43	kN/m	*Peso della muratura per metro lineare di sviluppo*
$W_{ACCIDENTALI}$	5,25	kN/m	*Carichi accidentali*
ψ_2	0,60	-	*Per carichi variabili ambienti suscettibili ad affollamento*
$W_{TOT\ 1}$	103,24	kN/m	*Massa sismica piano quota +3.43 per metro lineare*

Piano quota +7.27

Dati		U.M.	*Descrizione*
W_{SOLAIO}	7,02	kN/m	*Peso del solaio per metro lineare di sviluppo*
$W_{MURATURA\ 2}$	64,08	kN/m	*Peso della muratura per metro lineare di sviluppo*
$W_{ACCIDENTALI}$	6,30	kN/m	*Carichi accidentali*
ψ_2	0,60	-	*Per carichi variabili ambienti suscettibili ad affollamento*
$W_{TOT\ 2}$	74,88	kN/m	*Massa sismica piano quota +7.27 per metro lineare*

Piano quota +10.55

Dati		U.M.	*Descrizione*
W_{SOLAIO}	7,02	kN/m	*Peso del solaio per metro lineare di sviluppo*
$W_{MURATURA\ 3}$	49,77	kN/m	*Peso della muratura per metro lineare di sviluppo*
$W_{ACCIDENTALI}$	6,30	kN/m	*Carichi accidentali*
ψ_2	0,60	-	*Per carichi variabili ambienti suscettibili ad affollamento*
$W_{TOT\ 3}$	60,57	kN/m	*Massa sismica piano quota +10.55 per metro lineare*

Piano quota +12.80

Dati		U.M.	*Descrizione*
W_{SOLAIO}	7,02	kN/m	*Peso del solaio per metro lineare di sviluppo*
$W_{MURATURA\ 4}$	44,55	kN/m	*Peso della muratura per metro lineare di sviluppo*

$W_{ACCIDENTALI}$	6,30	kN/m	*Carichi accidentali*
ψ_2	0,60	-	*Per carichi variabili ambienti suscettibili ad affollamento*
$W_{TOT\ 4}$	55,35	kN/m	*Massa sismica piano quota +12.80 per metro lineare*

Piano copertura +15.50

Dati		U.M.	*Descrizione*
W_{SOLAIO}	3,87	kN/m	*Peso del solaio per metro lineare di sviluppo*
$W_{MURATURA\ 5}$	24,30	kN/m	*Peso della muratura per metro lineare di sviluppo*
$W_{ACCIDENTALI}$	2,51	kN/m	*Carichi accidentali*
ψ_2	0,00	-	*Per carichi variabili tipo neve e vento*
$W_{TOT\ 5}$	28,17	kN/m	*Massa sismica piano quota +15.50 per metro lineare*

Si valutano di seguito i coefficienti di distribuzione dell'azione sismica con la formula:

$\gamma_i = z_i \Sigma(W_i)/\Sigma(z_j W_j)$

Dati		U.M.	*Descrizione*
$W_{TOT\ 1}$	103,24	kN/m	*Massa sismica 1*
$W_{TOT\ 2}$	74,88	kN/m	*Massa sismica 2*
$W_{TOT\ 3}$	60,57	kN/m	*Massa sismica 3*
$W_{TOT\ 4}$	55,35	kN/m	*Massa sismica 4*
$W_{TOT\ 5}$	28,17	kN/m	*Massa sismica 5*
z_1	3,43	m	*Quota massa sismica 1*
z_2	7,27	m	*Quota massa sismica 2*
z_3	10,55	m	*Quota massa sismica 3*
z_4	12,80	m	*Quota massa sismica 4*
z_5	15,50	m	*Quota massa sismica 5*
$z_1 W_1$	354,11	kNm/m	*Prodotto massa quota*
$z_2 W_2$	544,39	kNm/m	*Prodotto massa quota*
$z_3 W_3$	639,03	kNm/m	*Prodotto massa quota*
$z_4 W_4$	708,50	kNm/m	*Prodotto massa quota*
$z_5 W_5$	436,66	kNm/m	*Prodotto massa quota*
$\Sigma z_i W_i$	2682,70	kNm/m	*Somma prodotti massa quota*
ΣW_i	322,22	kN/m	*Somma masse sismiche*
γ_1	0,41	-	*Coefficiente di distribuzione della massa sismica 1*
γ_2	0,87	-	*Coefficiente di distribuzione della massa sismica 2*
γ_3	1,27	-	*Coefficiente di distribuzione della massa sismica 3*
γ_4	1,54	-	*Coefficiente di distribuzione della massa sismica 4*
γ_5	1,86	-	*Coefficiente di distribuzione della massa sismica 5*

Si definiscono le azioni sismiche orizzontali la formula: $F_{hi} = \gamma_i W_i$

Dati		U.M.	*Descrizione*
F_{h1}	2,17	kN/m	*Azione sismica orizzontale 1*
F_{h2}	3,33	kN/m	*Azione sismica orizzontale 2*
F_{h3}	3,91	kN/m	*Azione sismica orizzontale 3*
F_{h4}	4,34	kN/m	*Azione sismica orizzontale 4*
F_{h5}	2,67	kN/m	*Azione sismica orizzontale 5*
T_{SISMA}	16,43	kN/m	*Azione sismica totale = ΣF_{hi}*

L'azione del vento è pari a:

Dati		U.M.	*Descrizione*
q_v	-0,231	kN/m^2	*Azione del vento 1*
H	3,56	m	*Area d'influenza del vento sulla parete*
T_{VENTO}	0,823	kN/m	*Azione del vento sulla parete - valore assoluto*

Pertanto la verifica all'azione sismica soddisfa la verifica al vento poiché tutte le azioni sismiche i-esime risultano maggiori.

Verifica della cerchiatura di profili a L150x150x40 all'azione sismica

Dati		U.M.	*Descrizione*
F_{h4}	4,34	kN/m	*Azione sismica orizzontale 4 - MAX corrispondente al piano +12.80*
l	13,00	m	*Lunghezza parete*
V_{ad}	28,21	kN	*Azione agente nella cerchiatura = F_h l/2*
A	4030	mm^2	*Sezione resistente profilo L150x150x14*
f_s	7,00	N/mm^2	*Tensione di trazione agente nel profilo = V/A*
f_{yd}	262	N/mm^2	*Resistenza di progetto*

$f_{yd}>f_s$

L'azione è trasmessa dalla muratura al profilo tramite i nasi in c.a. e tramite i connettori murari, per i quali è prescritta una profondità di 60 cm al fine di avere una buona adesione del sistema malta-connettore con la muratura della torre.

Verifica del tiro nella cerchiatura

Per garantire un corretto funzionamento della cerchiatura viene impresso un tiro derivante da un allungamento durante il serraggio del collegamento di 2mm.

Dati		U.M.	*Descrizione*
Δ_L	2,00	mm	*Tiro da esercitare nelle cerchiature*
L	3,12	m	*Lunghezza parete Est*
ε	0,0006	-	*Deformazione del profilo per effetto del tiro della cerchiatura*
E	210000	N/mm^2	*Modulo elastico*
σ	135	N/mm^2	*Tensione agente per effetto del tiro della cerchiatura*
f_{yd}	262	N/mm^2	*Resistenza di progetto profilo L*
f_{yd}	519	N/mm^2	*Resistenza di progetto bulloni 8.8*

$f_{yd}>\sigma$

5.4.10. Verifiche: appensione scala

Il consolidamento delle rampe delle scale consiste nell'appensione della scala a tiranti d'acciaio che scendono dalla copertura. In sommità i tiranti sono ancorati ad una coppia di profili UPN 140. Al piede i tiranti sorreggono da un estremità dei piatti d'acciaio ancorati alla muratura all'altra estremità che sostengono le rampe. Lo schema statico delpiatto (80x10 mm) è assimilabile a quello una trave in semplice appoggio su una luce massima di 1,25 m caricata dal carico distribuito competente a 3 gradini.

La geometria del piatto e parametri meccanici sono i seguenti:

Dati		U.M.	*Descrizione*
h	80,00	mm	*Altezza del piatto di appoggio della rampa*
b	10,00	mm	*Spessore del piatto di appoggio della rampa*
l	1,250	m	*Luce della trave con schema in semplice appoggio*
A	800	mm^2	*Sezione del piatto*
I	426667	mm^4	*Momento d'inerzia del piatto*
W_{pl}	16000	mm^3	*Modulo resistente plastico del piatto*
ρ	78,5	kN/m^3	*Peso Proprio*

I carichi a cui è soggetto il piatto è il seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
p_k	0,06	kN/m	*Peso proprio piatto*
p	0,310	m	*Pedata*
a	0,170	m	*Alzata*
n_P	3,000	-	*Numero pedate per piatto*
α	29,0	°	*Inclinazione rampa*
γ	20,0	kN/m^3	*Peso specifico sovraccarico scala*
p_{sol}	3,62	kN/m	*Sovraccarico scala*
q_k	3,72	kN/m	*Ambienti suscettibili ad affollamento (cat. C1)*
γ_{Q1}	1,30	-	*Pesi propri elementi strutturali*
γ_{Q2}	1,50	-	*Pesi propri elementi non strutturali*
γ_Q	1,50	-	*Per azioni variabili*
Pak	7,40	kN/m	*Carico agente SLE*
p_{AD}	11,08	kN/m	*Carico agente SLU*

La verifica a momento flettente allo SLU per il piatto è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
l	1,250	m	*Luce della trave con schema in semplice appoggio*
M_{AD}	2,16	kNm	*Momento agente trave semplice appoggio*
M_{RD}	4,19	kNm	*Momento resistente*

$M_{RD}>M_{AD}$

La verifica a taglio allo SLU per il piatto è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
V_{AD}	6,93	kN	*Taglio agente all'appoggio*
τ_{AD}	13,0	N/mm^2	*Tensione di taglio agente*

f_{vd}	300	N/mm^2	*Resistenza di taglio*

$f_{vd}>\tau_{AD}$

La freccia dovuta alla totalità dei carichi è pari a:$f_{tot} = (5/384)(q\ L^4)/(EI)$

La freccia dovuta ai carichi accidentali è pari a:$f_{acc} = (5/384)(a\ L^4)/(EI)$

Dati		U.M.	*Descrizione*
E	210000	N/mm^2	*Modulo elastico*
f_{tot}	2,62	mm	*Freccia istantanea dovuta alla totalità dei carichi*
L/300	4,17	mm	*Freccia istantanea limite*
f_{acc}	1,32	mm	*Freccia istantanea dovuta ai carichi accidentali*
L/400	3,13	mm	*Freccia istantanea limite*

$L/300 > f_{tot}; L/400 > f_{acc}$

Verifica dei tiranti verticali

Il tirante maggiormente sollecitato dai 3 piani di scale è quello posto negli spigoli della tromba delle scale che sostiene anche il pianerottolo;esso è sottoposto a all'azione del peso proprio del piatto, dei sovraccarichi permanenti e dei sovraccarichi accidentali suddiviso per metà area d'influenza delle scale. L'azione assiale in esercizio e allo stato limite ultimo è pari a:

Dati		U.M.	*Descrizione*
n	3	-	*Numero di rampe sostenute*
l	1,25	m	*Larghezza rampa*
i	1,90	m	*Interasse tiranti*
V_{ak}	26,36	kN	*Carico sul tirante SLE (peso proprio,permanenti,accidentali)*
V_{ad}	39,49	kN	*Carico sul tirante SLU(peso proprio,permanenti,accidentali)*

Il tirante è una barra in acciaio ϕ24, la cui sezione resistente è di 452 mm^2, per cui le verifiche tensionali forniscono i seguenti valori:

Dati		U.M.	*Descrizione*
σ_{Ak}	58	N/mm^2	*Tensione agente SLE*
σ_S	190,0	N/mm^2	*Tensione elastica SLE*

$\sigma_s>\sigma_{Ak}$

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_s	87	mm^2	*Tensione agente SLU*
f_{yd}	262	N/mm^2	*Resistenza di progetto*

$f_{yd}>f_s$

Verifica delle travi in copertura

Ogni coppia di tiranti sarà vincolata in sommità a due profili metallici UPN140 con saldati due piatti 130x10 mm a chiusura. Lo schema di calcolo è quello di una trave in semplice appoggio caricata da due forze concentrate poste a 1,30 m dalle estremità. La luce di calcolo totale della trave è pari a 3,40 m.

La geometria della coppia di UPN 140 con i piatti saldati e i parametri meccanici sono i seguenti:

Dati		U.M.	*Descrizione*
A	6680	mm^2	*Sezione della coppia di UPN 140*
I	15761667	mm^4	*Momento d'inerzia della coppia di UPN 140*
W_{pl}	229133	mm^3	*Modulo resistente plastico della coppia di UPN 140*
b	10	mm	*Base piatto saldato all'UPN 140*
h	130	mm	*Altezza piatto saldato all'UPN 140*
A_P	2600	mm^2	*Area dei due piatti saldati all'UPN 140*

I carichi in esercizio e allo stato limite, legati al tirante ed al peso proprio della trave sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
G	0,52	kN/m	*Peso del profilo UPN 140*
γ_{Q1}	1,30	-	*Pesi propri elementi strutturali*
L	3,40	m	*Luce della UPN 140*
V_{ad}	39,49	kN	*Carico dal tirante SLU*
V_{ak}	26,36	kN	*Carico sul tirante SLE*
d	1,30	m	*Distanza del tirante dall'appoggio*

La verifica della coppia di UPN 140 a momento flettente allo stato limite ultimo è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
M_{ad}	52,32	kNm	*Momento agente su UPN 140 (tirante + peso proprio)*
M_{RD}	60,01	kNm	*Momento resistente*

$M_{RD} > M_{AD}$

La verifica della coppia di UPN 140 a taglio allo stato limite ultimo è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
V_{AD}	40,65	kN	*Taglio agente all'appoggio*
τ_{AD}	23	N/mm^2	*Tensione di taglio agente*
f_{vd}	300	N/mm^2	*Resistenza di taglio*

$f_{vd} > \tau_{AD}$

La freccia dovuta alla totalità dei carichi è pari a:

$f_{tot} = (5/384)(q\ L^4)/(EI) + (V\ d\ (3\ L^2 - 4\ d^2)\ /(24\ EI)$

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{tot}	10,40	mm	*Freccia istantanea dovuta alla totalità dei carichi*
L/300	11,33	mm	*Freccia istantanea limite*

$L/300 > f_{tot}$

La freccia dovuta al sovraccarico accidentale è pari a:

$f_{tot} = (V_{ACC}\ d\ (3\ L^2 - 4\ d^2)\ /(24\ EI)$

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{acc}	6,51	mm	*Freccia istantanea dovuta ai carichi accidentali*
L/400	8,50	mm	*Freccia istantanea limite*

$L/400 > f_{acc}$

Verifica della muratura in corrispondenza dell'appoggio della coppia di UPN 140

Per la verifica di compressione della muratura da parte dei profili UPN 140 di appensione della scala si fa riferimento ai seguenti valori di resistenza:

Dati		U.M.	*Descrizione*
$f_{k\ PIETRA}$	15	N/mm^2	*Resistenza a compressione pietra arenaria*
$f_{k\ MURATURA}$	7,5	N/mm^2	*Resistenza muratura*
FC	1,35	-	*Fattore di confidenza*
f_k	5,56	N/mm^2	*Resistenza muratura*
γ_M	3,0	-	*Coefficiente di sicurezza materiale DM 14.01.2008*
f_d	1,85	N/mm^2	*Resistenza di progetto muratura*

Si considera come area di trasmissione della reazione vincolare di appoggio una superficie rettangolare di lati 150x180 mm, pari alla dimensione del profilo a L 150x150x14 e della larghezza del doppio profilo UPN 140 e dello spazio che intercorre tra i 2: 60+60+60.

La verifica sulla muratura è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
a	150,0	mm	*Larghezza di appoggio*
b	180,00	mm	*Lunghezza di appoggio*
V_{AD}	40,65	kN	*Taglio agente all'appoggio della trave*
f_{AD}	1,51	N/mm^2	*Compressione agente all'appoggio sulla muratura*
f_d	1,85	N/mm^2	*Resistenza di progetto muratura*

$f_d > f_{AD}$

5.4.11. Verifiche: nuova copertura

La nuova copertura sarà realizzata tramite pannelli in legno multistrato sui quali viene posato il nuovo manto di copertura in coppi. Lo schema statico del pannello è una trave in semplice appoggio su una luce massima di 4,20 m caricata dal carico distribuito.

La geometria del problema e i parametri geometrici del pannello in legno multistrato sono i seguenti:

Dati		U.M.	*Descrizione*
L	4,200	m	*Luce massima del pannello*
h	0,143	m	*Altezza del pannello*
b	1,000	m	*Larghezza del pannello*
A_0	1430	cm^2	*Sezione del pannello*
A_{netto}	990	cm^2	*Sezione netta*
I_{netto}	22157	cm^4	*Momento d'inerzia legno netto*
W_{netto}	3099	cm^3	*Modulo resistente legno netto*

I carichi agenti sulla copertura per effetto della combinazione allo stato limite ultimo sono i seguenti:

Dati		U.M.	*Descrizione*
b	1,000	m	*Larghezza del pannello*
α	23,00	°	*Inclinazione falda*

p_k	0,92	kN/m	*Peso proprio copertura*
p_{cop}	1,09	kN/m	*Sovraccarico permanente copertura*
q_s	1,20	kN/m	*Sovraccarico della neve*
γ_{Q1}	1,30	-	*Pesi propri elementi strutturali*
γ_{Q2}	1,50	-	*Pesi propri elementi non strutturali*
γ_Q	1,50	-	*Per azioni variabili*
p_{AD}	4,62	kN/m	*Carico agente SLU*

La verifica al momento flettente allo stato limite ultimo è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
M_{AD}	10,18	kNm	*Momento agente trave semplice appoggio*
M_{RD}	31,87	kNm	*Momento resistente*

$M_{RD}>M_{AD}$

La verifica al taglio allo SLU è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
V_{AD}	9,69	kN	*Taglio agente all'appoggio*
τ_{AD}	0,1	N/mm^2	*Tensione di taglio agente*
$f_{v,0,d}$	0,4	N/mm^2	*Resistenza di progetto a taglio pannelli in legno*

$f_{vd}>\tau_{AD}$

I carichi agenti sulla copertura allo stato limite d'esercizio sono i seguenti:

Dati		U.M.	*Descrizione*
b	1,000	m	*Larghezza del pannello*
p_k	0,92	kN/m	*Peso proprio copertura*
p_{cop}	1,09	kN/m	*Sovraccarico permanente copertura*
q_s	1,20	kN/m	*Sovraccarico della neve*
p_{Ak}	3,20	kN/m	*Carico agente SLU*

La verifica flessionale del pannello nella c*ombinazione rara* è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
M_{AK}	7,06	kNm	*Momento agente trave semplice appoggio combinazione rara*
σ_{AK}	2,3	N/mm^2	*Tensione di taglio agente*
σ_B	7,5	N/mm^2	*Tensione massima a flessione*

$\sigma_B>\sigma_{AK}$

La freccia istantanea dovuta alla totalità dei carichi è la seguente:

$f_{tot} = (5/384)(q\ L^4)/(E_{0,mean}I)$

Dati		U.M.	*Descrizione*
$E_{0,mean}$	11000	N/mm^2	*Modulo elastico medio parallelo alle fibre*
f_{tot}	5,32	mm	*Freccia istantanea dovuta alla totalità dei carichi*
L/300	14,00	mm	*Freccia istantanea limite*

$L/300 > f_{tot}$

La freccia viscosa dovuta alla totalità dei carichi è pari a:

$f_{tot}= f_{p,visc} + f_{a,visc}= (5/384)(p\ L^4)/(E_{mean,fin}\ I)+ [(5/384)(a\ L^4)/(E_{0,mean}I)](1+\psi_2 K_{def})$

Dati		U.M.	*Descrizione*
$E_{mean,\ fin}$	6111	N/mm^2	*Modulo elastico di progetto - verifiche a lungo periodo*
$f_{p,\ visc}$	5,99	mm	*Freccia viscosa dovuta ai permanenti portati*
$E_{0,mean}$	11000	N/mm^2	*Modulo elastico medio parallelo alle fibre*
ψ_2	0,00	-	*Per carichi variabili tipo neve e vento*
k_{def}	0,8	-	*Coefficiente deformativo a lungo periodo - classe di servizio 1*
$f_{q,\ visc}$	1,99	mm	*Freccia viscosa dovuta ai carichi accidentali*
f_{tot}	7,98	mm	*Freccia viscosa dovuta alla totalità dei carichi*
L/200	21,00	mm	*Freccia viscosa limite*

$L/200 > f_{tot}$

La verifica flessionale del pannello nella c*ombinazione quasi permanente* è la seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
M_{AK}	4,42	kNm	*Momento agente trave semplice appoggio combinazione q.p.*
σ_{AK}	1,4	N/mm^2	*Tensione flessionale agente*
σ_B	7,5	N/mm^2	*Tensione flessionale elastica*

$\sigma_B > \sigma_{AK}$

Verifica all'estrazione delle barre di ancoraggio della copertura

Visto il recente episodio di sollevamento e distacco della copertura si è ritenuto utile valutare l'effettiva resistenza dei connettori murari che sono stati posti in copertura nei confronti di azioni di estrazione degli stessi.

Tale azione è stata tradotta in un valore di pressione del vento limite oltre la quale non è possibile garantire la resistenza in opera del manto di copertura.

La resistenza tangenziale di ancoraggio della malta alla muratura è valutata nel modo seguente:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{Ck}	4,5	N/mm^2	*Resistenza caratteristica a compressione della malta*
f_{vk}	0,87	N/mm^2	*Resistenza caratteristica a taglio $\tau=\sigma$ x0,06 +0,6*
γ_M	3,00	-	*Coefficiente di sicurezza materiale DM 14.01.2008*
f_{vd}	0,29	N/mm^2	*Resistenza tangenziale di progetto della malta*

Si considera come area di contatto un foro cilindrico profondo 100 cm e di raggio 30 mm con un'area di contatto pari a 188495,56 mm^2. Considerando la luce dei pannelli pari a 5,30 m e l'interasse tra gli stessi di 1,25 m si definisce la pressione di estrazione limite del vento:

Dati		U.M.	*Descrizione*
ϕ	60	mm	*Diametro cilindro di contatto*
h	1000	mm	*Profondità di ancoraggio*
n	2	-	*Numero connettori*
F_{RD}	109,3	kN	*Resistenza di estrazione della barra*
b	1,3	m	*Interasse coppia di connettori*
l	5,3	m	*Luce della copertura*
A	6,6	m^2	*Area d'influenza del pannello connesso*
P_{lim}	33,0	kN/m^2	*Depressione del vento limite che comporta estrazione*

$P_{LIM} > q_v$

5.4.12. Computo metrico estimativo Torre Pantera

Segue il computo metrico estimativo degli interventi di consolidamento che si effettueranno nella Torre Pantera elaborato con l'impiego del software PriMus con riferimento al listino: *Prezzi informativi dell'edilizia RECUPERO RISTRUTTURAZIONE E MANUTENZIONE II semestre 2010, DEI,Roma, 2010.*

Nr.	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI			Quantità	IMPORTI		
		par. ug.	lung.	larg.	H/Peso		unitario	TOTALE
1	Puntello metallico regolabile articolato alle estremità, con altezza fino a 3,6 m dal piano di appoggio, e sovrastante prima orditura costituita da morali di abete, per il sostegno provvisorio di pannelli prefabbricati o strutture metalliche: costo di utilizzo dell'attrezzatura per un mese							
	M I S U R A Z I O N I:							
	SCALA: integrazione opere provvisionali	4,00			50,000	200,00		
	SOMMANO cadauno					200,00	€ 0,68	€ 136,00
2	Puntello metallico regolabile articolato alle estremità, con altezza fino a 3,6 m dal piano di appoggio, e sovrastante prima orditura costituita da morali di abete, per il sostegno provvisorio di pannelli prefabbricati o strutture metalliche: per ogni montaggio e smontaggio dell'attrezzatura							
	M I S U R A Z I O N I:							
	SCALA: integrazione opere provvisionali	1,00			50,000	50,00		
	SOMMANO cadauno					50,00	€ 5,21	€ 260,50
3	Ponteggi a telaio con altezze anche oltre i 20 m prodotto da azienda in possesso di autorizzazione ministeriale ed eseguito con l'impiego di tubi di diametro 48 mm e spessore pari a 2,9 mm, in acciaio zincato o verniciato, compresi progetto e relazione tecnica (quando necessari), pezzi speciali, doppio parapetto, protezioni usuali eseguite secondo le norme di sicurezza vigenti in materia, mantovane, ancoraggi ed ogni altro onere e magistero per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte con esclusione dei piani di lavoro da contabilizzarsi a parte. Valutate a mq di proiezione verticale della facciata: montaggio comprensivo di trasporto, approvvigionamento, scarico avvicinamento e tiro in alto dei materiali, per i primi 30 giorni							
	M I S U R A Z I O N I:							
	PONTEGGIO esterno		20,00		19,000	380,00		
	PONTEGGIO interno		21,00		16,000	336,00		
	SOMMANO m2					716,00	€ 9,19	€ 6.580,04
4	Ponteggi a telaio con altezze anche oltre i 20 m prodotto da azienda in possesso di autorizzazione ministeriale ed eseguito con l'impiego di tubi di diametro 48 mm e spessore pari a 2,9 mm, in acciaio zincato o verniciato, compresi progetto e relazione tecnica (quando necessari), pezzi speciali, doppio parapetto, protezioni usuali eseguite secondo le norme di sicurezza vigenti in materia, mantovane, ancoraggi ed ogni altro onere e magistero per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte con esclusione dei piani di lavoro da contabilizzarsi a parte. Valutate a mq di proiezione verticale della facciata: noleggio per ogni mese o frazione di mese successivo (non inferiore a 25 giorni) alla funzionalità operativa, comprendente il controllo degli ancoraggi, la manutenzione ordinaria e quanto altro occorrente per il mantenimento della sicurezza delle opere finite							
	M I S U R A Z I O N I:							
	PONTEGGIO esterno: 3 mesi	3,00	20,00		19,000	1140,00		
	PONTEGGIO interno: 2 mesi	2,00	21,00		16,000	672,00		
	SOMMANO m2					1812,00	€ 1,46	€ 2.645,52
5	Ponteggi a telaio con altezze anche oltre i 20 m prodotto da azienda in possesso di autorizzazione ministeriale ed eseguito con l'impiego di tubi di diametro 48 mm e spessore pari a 2,9 mm, in acciaio zincato o verniciato, compresi progetto e relazione tecnica (quando necessari), pezzi speciali, doppio parapetto, protezioni usuali eseguite secondo le norme di sicurezza vigenti in materia, mantovane, ancoraggi ed ogni altro onere e magistero per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte con esclusione dei piani di lavoro da contabilizzarsi a parte. Valutate a mq di proiezione verticale della facciata: smontaggio a fine lavoro compreso calo in basso, accantonamento provvisorio, carico e trasporto di allontanamento dal cantiere							
	M I S U R A Z I O N I:							
	PONTEGGIO esterno		20,00		19,000	380,00		
	PONTEGGIO interno		21,00		16,000	336,00		
	SOMMANO m2					716,00	€ 4,15	€ 2.971,40
6	Piano di lavoro per ponteggi costituito da tavole metalliche prefabbricate od in legno di abete, spessore 50 mm, e tavola fermapiede valutato a mq di proiezione verticale della facciata: per i primi 30 giorni, compreso ogni onere e magistero di							

	approvvigionamento, montaggio, manutenzione, smontaggio e ritiro dal cantiere a fine lavori						
	M I S U R A Z I O N I:						
	PONTEGGIO esterno		20,00	19,000	380,00		
	PONTEGGIO interno		21,00	16,000	336,00		
	SOMMANO m2				716,00	€ 2,65	€ 1.897,40
7	Piano di lavoro per ponteggi costituito da tavole metalliche prefabbricate od in legno di abete, spessore 50 mm, e tavola fermapiede valutato a mq di proiezione verticale della facciata: per ogni mese o frazione di mese successivo (non inferiore a 25 giorni)						
	M I S U R A Z I O N I:						
	PONTEGGIO esterno: 3 mesi	3,00	20,00	19,000	1140,00		
	PONTEGGIO interno: 2 mesi	2,00	21,00	16,000	672,00		
	SOMMANO m2				1812,00	€ 0,76	€ 1.377,12
8	Rete in fibra sintetica, per la protezione delle impalcature edili in vista, posta in opera compreso lo smontaggio a fine lavori						
	M I S U R A Z I O N I:						
	PONTEGGIO esterno		20,00	19,000	380,00		
	SOMMANO m2				380,00	€ 3,18	€ 1.208,40
9	Scavo a sezione obbligata, in terre di qualsiasi natura e compattezza, con esclusione di quelle rocciose tufacee e argillose, compresa l'estrazione a bordo scavo: per profondità fino a 2 m						
	M I S U R A Z I O N I:						
	VESPAIO ARMATO TORRE: scavo interno	25,00		0,700	17,50		
	VESPAIO ARMATO VANO SCALE: scavo interno	16,50		0,700	11,55		
	SOMMANO m3				29,05	€ 51,44	€ 1.494,33
10	Compenso allo scavo se effettuato in ambienti sotterranei, chiusi e con luce artificiale						
	M I S U R A Z I O N I:						
	VESPAIO ARMATO TORRE: scavo interno	25,00		0,700	17,50		
	VESPAIO ARMATO VANO SCALE: scavo interno	16,50		0,700	11,55		
	SOMMANO m3				29,05	€ 11,43	€ 332,04
11	Magrone di sottofondazione eseguito mediante getto di conglomerato cementizio preconfezionato a dosaggio con cemento 32.5 R, per operazioni di media-grande entità, eseguito secondo le prescrizioni tecniche previste, compresa la fornitura del materiale in cantiere, il suo spargimento, la vibrazione e quant'altro necessario per dare un'opera eseguita a perfetta regola d'arte, esclusi i soli ponteggi, casseforme e l'acciaio di armatura con i seguenti dosaggi:						
	M I S U R A Z I O N I:						
	VESPAIO ARMATO TORRE: magrone di fondazione: dosaggio 250 kg/mc		25,000	0,100	2,50		
	VESPAIO ARMATO VANO SCALE		16,500	0,100	1,65		
	SOMMANO m3				4,15	€ 103,89	€ 431,14
12	Tessuto non tessuto macroforato in polipropilene, dello spessore di 0,6 mm, in rotoli da 25 m, altezza 1 m						
	M I S U R A Z I O N I:						
	Strato protettivo delle murature a contatto con i getti in cls per il consolidamento delle fondazioni: membrana impermeabile traspirane al vapore		40,00	1,000	40,00		
	SOMMANO m2				40,00	€ 3,91	€ 156,40
13	Cassero a perdere per la realizzazione di vespai areati costituito da elementi modulari prefabbricati in polipropilene riciclato autoportante, impermeabile: base quadrata, delle dimensioni di 50 x 50 cm: altezza 40 cm						
	M I S U R A Z I O N I:						
	VESPAIO ARMATO TORRE: casseri a perdere		25,000		25,00		
	VESPAIO ARMATO VANO SCALE: casseri a perdere		16,500		16,50		
	SOMMANO m2				41,50	€ 13,16	€ 546,14
14	Demolizione di pavimento in mattoni, marmette, ecc., compreso il sottofondo dello spessore fino a 5 cm, anche con eventuale recupero parziale del materiale						
	M I S U R A Z I O N I:						
	VOLTA P1: rimozione pavimentazione	25,00			25,00		
	SOMMANO m2				25,00	€ 10,00	€ 250,00
15	Demolizione di sottofondo in malta di calce						
	M I S U R A Z I O N I:						
	VOLTA P1: rimozione sottofondo	25,00		0,300	7,50		

	SOMMANO m3				7,50	€ 42,86	€ 321,45
16	rimozione dei materiali di riempimento dei rinfianchi delle volte effettuata con particolare cautela comprese la movimentazione del materiale negli ambienti in oggetto e l'evidenziazione delle lesioni presenti sull'estradosso della volta tramite accurata pulizia della superficie dello stesso						
	M I S U R A Z I O N I:						
	VOLTA P1: parziale rimozione del riempimento dei rinfianchi per realizzazione connettori e cappa collaborante	25,00		0,300	7,50		
	SOMMANO m3				7,50	€ 88,59	€ 664,43
17	Carotaggio eseguito con carotatrici con motore elettrico o ad aria compressa, per prelievo campioni, perforazione di strutture edili, per prove di laboratorio, collaudi, controlli, restauri, incatenamenti, areazioni, deumidificazioni, posa in opera di impianti, pluviali, scarichi: su pietrame calcareo o siliceo: diametro foro 110 ÷ 150 mm						
	M I S U R A Z I O N I:						
	VESPAIO ARMATO: fori per tubi di aerazione diam. 150	6,00	1,50		9,00		
	SCALA: fori per mensole di appensione diam. 150	48,00	0,25		12,00		
	SOMMANO m				21,00	€ 324,68	€ 6.818,28
18	Perforazioni di muratura di qualsiasi genere con trapano elettrico per inserimento di barre, tiranti metallici e simili, compreso ogni onere e magistero di approntamento del macchinario e consumi per fori di lunghezza fino a 1,5 m e diametro pari a 11 ÷ 20 mm: su muratura in pietrame calcareo o siliceo						
	M I S U R A Z I O N I:						
	VESPAIO ARMATO TORRE: perforazioni diam. 28 per connettori perimetrali	65,00	0,50		32,50		
	VESPAIO ARMATO TORRE: perforazioni diam. 28 per connettori perimetrali (maggiorazione 15% per dimensione foro, uso di acqua, salvaguardia ambiente circostante e difficoltà lavorazione)	65,00	0,50	0,150	4,88		
	VESPAIO ARMATO VANO SCALE: perforazioni diam. 28 per connettori perimetrali	50,00	0,50		25,00		
	VESPAIO ARMATO VANO SCALE: perforazioni diam. 28 per connettori perimetrali (maggiorazione 15% per dimensione foro, uso di acqua, salvaguardia ambiente circostante e difficoltà lavorazione)	50,00	0,50	0,150	3,75		
	CAPPA collaborante con volta P1: perforazioni diam. 22 per connettori estredosso volte	150,00	0,20		30,00		
	CAPPA collaborante con volta P1: perforazioni diam. 22 per connettori estredosso volte (maggiorazione 15% per dimensione foro, uso di acqua, salvaguardia ambiente circostante e difficoltà lavorazione)	150,00	0,20	0,150	4,50		
	CAPPA collaborante con volta P1: perforazioni diam. 28 per connettori perimetrali	40,00	0,60		24,00		
	CAPPA collaborante con volta P1: perforazioni diam. 28 per connettori perimetrali (maggiorazione 15% per dimensione foro, uso di acqua, salvaguardia ambiente circostante e difficoltà lavorazione)	40,00	0,60	0,150	3,60		
	SOLAIO P2: perforazioni diam. 28 per connettori perimetrali	40,00	0,60		24,00		
	SOLAIO P2: perforazioni diam. 28 per connettori perimetrali (maggiorazione 15% per dimesione foro, uso di acqua, salvaguardia ambiente circostante e difficoltà lavorazione)	40,00	0,60	0,150	3,60		
	SOLAIO P3: perforazioni diam. 28 per connettori perimetrali	40,00	0,60		24,00		
	SOLAIO P3: perforazioni diam. 28 per connettori perimetrali (maggiorazione 15%	40,00	0,60	0,150	3,60		

	per dimensione foro, uso di acqua, salvaguardia ambiente circostante e difficoltà lavorazione)							
	COPERTURA TORRE: connettori murari: perforazioni diam. 32	55,00	1,00			55,00		
	COPERTURA TORRE: connettori murari: perforazioni diam. 32 (maggiorazione 15% per dimensione foro, uso di acqua, salvaguardia ambiente circostante e difficoltà lavorazione)	55,00	1,00		0,150	8,25		
	COPERTURA SCALA: connettori murari: perforazioni diam. 32	40,00	1,00			40,00		
	COPERTURA SCALA: connettori murari: perforazioni diam. 32 (maggiorazione 15% per dimensione foro, uso di acqua, salvaguardia ambiente circostante e difficoltà lavorazione)	40,00	1,00		0,150	6,00		
	CUCITURE TORRE-SCALA: connettori murari perf. diam. 36	18,00	2,50			45,00		
	CUCITURE TORRE-SCALA: connettori murari perf. diam. 36 (maggiorazione 15% per dimensione foro, uso di acqua, salvaguardia ambiente circostante e difficoltà lavorazione)	18,00	2,50		0,150	6,75		
	CERCHIATURE SCALA: connettori murari perf. diam. 36	3,00	1,50			4,50		
	CERCHIATURE SCALA: connettori murari perf. diam. 36 (maggiorazione 15% per dimensione foro, uso di acqua, salvaguardia ambiente circostante e difficoltà lavorazione)	3,00	1,50		0,150	0,68		
	SOMMANO m					349,61	€ 61,09	€ 21.357,67
19	Perforazione di strutture lignee con sonda elettrica a rotazione, con diametro fino a 20 mm, compreso lo spurgo del foro con aria compressa							
	M I S U R A Z I O N I:							
	SOLAIO P2	70,00	0,12			8,40		
	SOLAIO P3	70,00	0,12			8,40		
	COPERTURA SCALA	150,00	0,20			30,00		
	SOMMANO m					46,80	€ 10,05	€ 470,34
20	Conglomerato cementizio preconfezionato a resistenza caratteristica e classe di esposizione XC1, dimensione massima degli inerti pari a 31,5 mm, classe di lavorabilità (slump) S4 (fluida), rapporto A/C <= 0,60; gettato in opera, per operazioni di media-grande entità, secondo le prescrizioni tecniche previste, compresa la fornitura del materiale in cantiere, il suo spargimento, la vibrazione e quant'altro necessario per dare un'opera realizzata a perfetta opera d'arte, esclusi i soli ponteggi, casseforme e l'acciaio di armatura: per fondazione di muri di sostegno, di sottoscarpa, di controripa: C 25/30 (Rck 30 N/mmq)							
	M I S U R A Z I O N I:							
	VESPAIO ARMATO TORRE: solette	2,00		25,000	0,100	5,00		
	VESPAIO ARMATO TORRE: cordoli perimetrali			5,750	0,600	3,45		
	NICCHIE SOLAI P2	12,00	0,60	0,200	0,200	0,29		
	NICCHIE SOLAI P3	12,00	0,60	0,200	0,200	0,29		
	NICCHIE VANO SCALA	4,00	0,20	0,200	0,400	0,06		
	VESPAIO ARMATO VANO SCALE: solette	2,00		16,500	0,100	3,30		
	VESPAIO ARMATO VANO SCALE: cordoli perimetrali		16,50	0,300	0,600	2,97		
	SOMMANO m3					15,36	€ 176,30	€ 2.707,97
21	Conglomerato cementizio preconfezionato a resistenza caratteristica e classe di esposizione XC1, dimensione massima degli inerti pari a 31,5 mm, classe di lavorabilità (slump) S4 (fluida), rapporto A/C <= 0,60; gettato in opera, per operazioni di media-grande entità, secondo le prescrizioni tecniche previste, compresa la fornitura del materiale in cantiere, il suo spargimento, la vibrazione e quant'altro necessario per dare un'opera realizzata a perfetta opera d'arte, esclusi i soli ponteggi, casseforme e l'acciaio di armatura: per solette di spessore < 150 mm: C 25/30 (Rck 30 N/mmq)							
	M I S U R A Z I O N I:							
	CAPPA collaborante con volta P1			25,000	0,150	3,75		
	SOMMANO m3					3,75	€ 210,00	€ 787,50

22	Tubi di pvc rigido per condotte di scarico di acque pluviali di rifiuto, in barre da 3 m: diametro esterno 160 mm							
	M I S U R A Z I O N I:							
	VESPAIO: tubi di aerazione	12,00	2,00		2,000	48,00		
	VESPAIO: raccordi vari tubi di aerazione	12,00	4,00		0,300	14,40		
	SOMMANO m					62,40	€ 4,69	€ 292,66
23	Acciaio in barre per armature di conglomerato cementizio prelavorato e pretagliato a misura, sagomato e posto in opera a regola d'arte, compreso ogni sfrido, legature, ecc; nonché tutti gli oneri relativi ai controlli di legge; del tipo B450C prodotto da azienda in possesso di attestato di qualificazione rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP., in barre: per strutture complesse (100 ÷ 150 kg di acciaio per mc di calcestruzzo)							
	M I S U R A Z I O N I:							
	VESPAIO ARMATO TORRE: cordoli perimetrali: incidenza 105 kg/mc			3,450	105,000	362,25		
	VESPAIO ARMATO TORRE: connettori solette: barre fi14 l=80, 1 ogni 0,5 mq	2,00	0,12	25,000	7,850	47,10		
	VESPAIO ARMATO TORRE: connettori perimetrali fi 16 l media 160 cm	65,00	1,60	0,200	7,850	163,28		
	VESPAIO ARMATO VANO SCALE: cordoli perimetrali: incidenza 105 kg/mc			3,000	105,000	315,00		
	VESPAIO ARMATO VANO SCALE: connettori solette: barre fi14 l=80, 1 ogni 0,5 mq	2,00	0,12	16,500	7,850	31,09		
	VESPAIO ARMATO VANO SCALE: connettori perimetrali fi 16 l media 160 cm	50,00	1,60	0,200	7,850	125,60		
	MENSOLE SOLAI P2 incidenza 100 kg/mc			0,290	100,000	29,00		
	MENSOLE SOLAI P3 incidenza 100 kg/mc			0,064	100,000	6,40		
	MENSOLE COPERTURA SCALA incidenza 100kg/mc			0,290	100,000	29,00		
	CAPPA collaborante connettori fi 14 l media 60 cm	150,00	0,12	0,600	7,850	84,78		
	SOLAIO P3: connettori murari fi16 (33)	40,00	1,00	0,200	7,850	62,80		
	SOLAIO P2: connettori murari fi16 (33)	40,00	1,00	0,200	7,850	62,80		
	COPERTURA TORRE: connettori murari fi 24 (36)	55,00	1,00	0,450	7,850	194,29		
	COPERTURA SCALA: connettori murari fi 24 (19)	40,00	1,00	0,450	7,850	141,30		
	CAPPA collaborante con volta P1: connettori perimetrali fi 16	40,00	1,40	0,200	7,850	87,92		
	CUCITURE TORRE-SCALA: connettori murari fi 26	20,00	2,50	0,530	7,850	208,03		
	SOMMANO kg					1950,64	€ 1,68	€ 3.277,08
24	Zincatura di prodotti in acciaio con trattamento di protezione contro la corrosione mediante immersione in vasche contenenti zinco fuso alla temperatura di circa 450 °C previo decapaggio, lavaggio, ecc. e quanto altro necessario per ottenere un prodotto finito secondo norma UNI EN ISO 1461							
	M I S U R A Z I O N I:							
	CUCITURE TORRE-SCALA: connettori murari fi 26	20,00	2,50	0,530	7,850	208,03		
	CAPPA collaborante con volta P1: connettori perimetrali fi 16	40,00	1,40	0,200	7,850	87,92		
	CERCHIATURE SCALA: 3 livelli: barre di appensione fi 24	3,00	13,00	0,450	7,850	137,77		
	COPERTURA SCALA profili di appensione UPN 140	8,00	5,00		16,000	640,00		
	SCALA: barre di appensione fi 24	8,00	19,00	0,450	7,850	536,94		
	COPERTURA TORRE profili perimetrali 100x100x6		32,00		31,600	1011,20		
	COPERTURA SCALA profili perimetrali 100x100x6		23,00		31,600	726,80		
	SOMMANO kg					3348,66	€ 0,56	€ 1.875,25
25	Rete elettrosaldata a maglia quadra in acciaio di qualità B450C, prodotto da azienda in possesso di attestato di qualificazione rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP., per armature di conglomerati cementizi, prelavorata e pretagliata a misura, posta in opera a regola d'arte, compreso ogni sfrido, legature, distanziatori, ecc., diametro tondino 5 ÷ 12 mm							
	M I S U R A Z I O N I:							
	VESPAIO ARMATO TORRE: rete per soletta: incidenza 8.5 kg/mq	2,00		25,000	8,500	425,00		
	VESPAIO ARMATO VANO SCALE: rete per soletta: incidenza 8.5 kg/mq	2,00		16,500	8,500	280,50		

	CAPPA collaborante con volta			25,000	8,500	212,50		
	SOMMANO kg					918,00	€ 1,57	€ 1.441,26
26	Carpenteria metallica per strutture semplici di solai e simili costituita in travi di ferro (profilati) di qualsiasi tipo, incluso pezzi speciali (piastre, squadre, tiranti, ecc.), sfridi, saldature, fori, mano di antiruggine, muratura delle testate nelle apposite sedi e movimentazione del materiale in cantiere: travi di altezza fino a 220 mm: con fornitura delle travi							
	M I S U R A Z I O N I:							
	Tutti gli elementi si intendono protetti con vernice ferro micacea se non zincati							
	P2 profili perimetrali a "L" 150x150x14		21,00		31,600	663,60		
	P3 profili perimetrali a "L" 150x150x14		21,00		31,600	663,60		
	COPERTURA TORRE profili perimetrali 150x150x14		26,00		31,600	821,60		
	COPERTURA SCALA profili perimetrali 150x150x14		23,00		31,600	726,80		
	COPERTURA SCALA profili di appensione UPN 140 (30m)	8,00	3,75		16,000	480,00		
	ARCHITRAVI profili HEA 140	6,00	1,40	2,000	24,700	414,96		
	SOMMANO kg					3770,56	€ 3,12	€ 11.764,15
27	Carpenteria metallica per solai composti, rampanti e ripiani di scale, sbalzi e simili costituita in travi di ferro (profilati) di qualsiasi tipo, incluso pezzi speciali (piastre, squadre, tiranti ecc), sfridi, saldature, fori, mano di antiruggine, murature delle testate nelle apposite sedi e movimentazione del materiale di cantiere: travi di altezza fino a 220 mm: con fornitura delle travi							
	M I S U R A Z I O N I:							
	Tutti gli elementi si intendono protetti con vernice ferro micacea se non zincati							
	SCALA mensole di consolidamento	48,00			0,013	0,62		
	P1 piastre composte di irrigidimento	20,00		0,400	7,850	62,80		
	P2 piastre composte di irrigidimento	20,00		0,400	7,850	62,80		
	COPERTURA TORRE piastre composte di irrigidimento	20,00		0,400	7,850	62,80		
	COPERTURA SCALA piastre composte di irrigidimento	20,00		0,400	7,850	62,80		
	SCALA: barre di appensione fi 24	8,00	19,00	0,450	7,850	536,94		
	CERCHIATURE SCALA: 3 livelli: barre di appensione fi 24	3,00	13,00	0,450	7,850	137,77		
	CERCHIATURE SCALA piastre di contrasto	12,00		3,840	7,850	361,73		
	SOMMANO kg					1288,26	€ 4,59	€ 5.913,11
28	Multistrato incrociato BBS, con funzione strutturale, dello spessore di 143 mm, in pannelli modulari da 125 cm. Ivi compreso qualunque sfrido necessario per il completamento dell'opera.							
	M I S U R A Z I O N I:							
	SOLAIO P2	25,00				25,00		
	SOLAIO P3	25,00				25,00		
	COPERTURA TORRE	62,00				62,00		
	COPERTURA SCALA	35,00				35,00		
	SOMMANO m2					147,00	€ 133,00	€ 19.551,00
29	Coibentazione termica in estradosso di strutture inclinate, già preparate con orditura in legno, eseguita con pannelli di materiale isolante in: poliuretano espanso con rivestimento superiore ed inferiore in fibra minerale saturata, conduttività termica 0,028 W/mK, predisposto con controlistelli in legno per il fissaggio dell'orditura di tegole e coppi: spessore 80 mm							
	M I S U R A Z I O N I:							
	COPERTURA TORRE	62,00				62,00		
	COPERTURA SCALA	35,00				35,00		
	SOMMANO m2					97,00	€ 28,04	€ 2.719,88
30	Rimozione totale di manto di copertura a tetto comprendente tegole marsigliesi o coppi e canali e piccola orditura in legno compreso smontaggio di converse, canali di gronda, cernita del materiale riutilizzabile, pulitura ed avvicinamento al luogo di deposito provvisorio; escluso il solo calo in basso							
	M I S U R A Z I O N I:							
	COPERTURA SCALE	35,00				35,00		
	SOMMANO m2					35,00	€ 14,59	€ 510,65
31	Manto di tetto realizzato con canale e coppo, disposto su piani predisposti, compreso murature accessorie di colmi, diagonali, filari saltuari e rasatura perimetrale: con completa fornitura di materiale nuovo fatto a macchina							
	M I S U R A Z I O N I:							
	COPERTURA TORRE: coppi con fermacoppo	62,00				62,00		

	per ogni singolo coppo						
	COPERTURA TORRE: coppi con fermacoppo per ogni singolo coppo. sovrapprezzo 10% per lavorazione	62,00		0,100	6,20		
	COPERTURA SCALA: coppi con fermacoppo per ogni singolo coppo	35,00			35,00		
	COPERTURA SCALA: coppi con fermacoppo per ogni singolo coppo: sovrapprezzo 10% per lavorazione	35,00		0,100	3,50		
	SOMMANO m2				106,70	€ 43,62	€ 4.654,25
32	Griglia di ventilazione e di protezione contro la nidificazione e l'inserimento di piccoli animali, in acciaio preverniciato spessore 15/10, con profilo sagomato, in opera mediante inchiodatura lungo la linea di gronda per coperture in: coppi, passo 230 mm						
	M I S U R A Z I O N I:						
	COPERTURA TORRE	15,00			15,00		
	COPERTURA SCALA	15,00			15,00		
	SOMMANO m				30,00	€ 12,37	€ 371,10
33	Canali di gronda, converse e scossaline montate in opera compreso pezzi speciali ed ogni altro onere e magistero per dare l'opera finita a regola d'arte con esclusione delle sole cicogne di sostegno per i canali di gronda: sviluppo fino a cm 33: in rame da 8/10						
	M I S U R A Z I O N I:						
	COPERTURA TORRE	32,00		1,200	38,40		
	COPERTURA SCALA	20,00		1,200	24,00		
	SOMMANO m				62,40	€ 47,39	€ 2.957,14
34	Cicogne per sostegno di canali di gronda, montate in opera compreso fissaggio al supporto ed ogni altro onere e magistero per dare l'opera finita a regola d'arte: in rame o acciaio inox						
	M I S U R A Z I O N I:						
	COPERTURA TORRE	7,00			7,00		
	COPERTURA SCALA	7,00			7,00		
	SOMMANO cadauno				14,00	€ 5,45	€ 76,30
35	Discendenti montati in opera compreso pezzi speciali ed ogni altro onere e magistero per dare l'opera finita a regola d'arte con esclusione dei soli collari di sostegno: diametro fino a 150 mm: in rame da 8/10						
	M I S U R A Z I O N I:						
	COPERTURA TORRE	16,00			16,00		
	COPERTURA SCALA	16,00			16,00		
	SOMMANO m				32,00	€ 63,38	€ 2.028,16
36	Collari per sostegno di discendenti, montate in opera compreso fissaggio al supporto ed ogni altro onere e magistero per dare l'opera finita a regola d'arte: in rame o acciaio inox						
	M I S U R A Z I O N I:						
	COPERTURA TORRE	10,00			10,00		
	COPERTURA SCALA	10,00			10,00		
	SOMMANO cadauno				20,00	€ 5,03	€ 100,60
37	Malta cementizia premiscelata, polimero-modificata, superfluida, espansiva, a ritiro compensato, a rischio fessurativo nullo, con elevate resistenze meccaniche a breve termine, per ancoraggi a durabilità garantita di elementi metallici in strutture in calcestruzzo, conforme ai requisiti prestazionali richiesti dalla UNI EN 1504-6 (prodotti per ancoraggio) e dalla UNI EN 1504-3 per malte strutturali di classe R4 di tipo CC e PCC						
	M I S U R A Z I O N I:						
	VESPAIO ARMATO TORRE: malta per inghisaggio connettori: incidenza 1.5 dmc/ml	65,00	0,50	1,500	48,75		
	VESPAIO ARMATO VANO SCALE: malta per inghisaggio connettori: incidenza 1.5 dmc/ml	50,00	0,50	1,500	37,50		
	CAPPA collaborante con volta P1: malta per inghisaggio connettori estradossali: incidenza 1.5 dmc/ml	150,00	0,20	1,500	45,00		
	CAPPA collaborante con volta P1: malta per inghisaggio connettori perimetrali: incidenza 1.5 dmc/ml	40,00	0,60	1,500	36,00		
	SOLAIO P2: malta per inghisaggio connettori perimetrali: incidenza 1.5 dmc/ml	40,00	0,60	1,500	36,00		
	SOLAIO P3: malta per inghisaggio connettori perimetrali: incidenza 1.5 dmc/ml	40,00	0,60	1,500	36,00		
	COPERTURA TORRE: malta per inghisaggio	55,00	1,00	1,500	82,50		

	connettori murario: incidenza 1.5 dmc/ml							
	COPERTURA TORRE: malta per inghisaggio connettori murario: incidenza 1.5 dmc/ml	40,00	1,00		1,500	60,00		
	CUCITURE TORRE-SCALA: connettori murari perforazioni diam. 36: incidenza 1.5 dmc/ml	18,00	2,50		1,500	67,50		
	CERCHIATURE SCALA: connettori murari perf. diam. 36: incidenza 1.5 dmc/ml	3,00	1,50		1,500	6,75		
	SOMMANO dmc					456,00	€ 4,68	€ 2.134,08
38	Rigenerazione delle malte degradate mediante esecuzione di fori e successiva introduzione di malta idraulica premiscelata composta da leganti idraulici ad alta resistenza meccanica e a basso contenuto di sali solubili, quarzi finissimi, pozzolana, additivi fluidificanti, ritentivi ed aeranti, iniettata in tubetti portagomma opportunamente inseriti. Valutata a foro di iniezione							
	M I S U R A Z I O N I:							
	Volta P1: iniezioni maglia 40x40 cm	180,00				180,00		
	MURATURE: iniezioni maglia 40x40 cm	380,00	2,50	2,500	0,300	712,50		
	SOMMANO cadauno					892,50	€ 11,49	€ 10.254,83
39	Reticolatus. Rinforzo di murature irregolari mediante l'inserimento nei giunti di malta di una maglia continua costituita da sottili trefoli in acciaio zincato-galvanizzato, i cui nodi sono fissati mediante barre metalliche trasversali al paramento murario. Si intende completo di materiali: filo zincato-galvanizzato, barrette metalliche di fissaggio e malta idraulica di ripristino, compatibile con le esistenze. Ivi compreso le lavorazioni di scarifica dei giunti di malta fino a 3-4 cm, le perforazioni per le barre di fissaggio, la posa delle barre di fissaggio, la posa dei trefoli in acciaioe la ristilatura dei giunti. Ivi compreso ogni onere e magistero per dare l'opera finita a regola d'arte.							
	M I S U R A Z I O N I:							
	RETICOLATUS: rinforzo delle murature nelle zone interne fessurate	315,00			0,250	78,75		
	SOMMANO m2					78,75	€ 180,00	€ 14.175,00
40	Ripresa di murature mediante sostituzione parziale del materiale con metodo scuci-cuci, comprendente demolizione in breccia nella zona di intervento, ricostruzione della muratura e sua forzatura mediante inserimento di cunei di legno da sostituire a ritiro avvenuto con elementi murari allettati con malta abbastanza fluida, compresa la fornitura del materiale ed ogni onere e magistero per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte secondo le seguenti tipologie di murature: ricostruzione della muratura in pietrame: pietrame calcareo							
	M I S U R A Z I O N I:							
	Consolidamento di 8 APERTURE: sarcitura muraria	8,00	1,00	1,000	0,500	4,00		
	CONSOLIDAMENTO COPERTURE: regolarizzazione muratura e completamento	55,00		0,500	0,200	5,50		
	SOMMANO m3					9,50	€ 637,24	€ 6.053,78
41	Impianto elettrico completo di cavi, tubi di protezione, dispositivo di messa a terra, punti luce, frutti ed ogni onere e magistero per dare l'opera eseguita a regola d'arte. Materiale conforme alla normativa vigente, fornitura e posa.							
	M I S U R A Z I O N I:							
	IMPIANTO ELETTRICO	1,00				1,00		
	SOMMANO a corpo					1,00	€ 2.000,00	€ 2.000,00
42	Trasporto a discarica controllata di materiali di risulta, provenienti da demolizioni, con autocarro di portata fino a 50 q, compresi carico, viaggio di andata e ritorno e scarico con esclusione degli oneri di discarica							
	M I S U R A Z I O N I:							
	VOLTA P1: rimozione sottofondo	25,00			0,300	7,50		
	SCALA: intonaco rimosso	350,00		0,050	0,300	5,25		
	VESPAIO ARMATO TORRE: scavo	25,00			0,700	17,50		
	VESPAIO ARMATO VANO SCALE: scavo interno	16,50			0,700	11,55		
	VOLTA P1: rimozione pavimentazione	25,00			0,100	2,50		
	VOLTA P1: rimozione sottofondo per 10 cm	25,00			0,100	2,50		
	VOLTA P1: parziale rimozione del riempimento dei rinfianchi per realizzazione connettori e cappa collaborante	25,00			0,300	7,50		
	COPERTURA SCALE	35,00			0,200	7,00		
	SOMMANO m3					61,30	€ 45,46	€ 2.786,70
43	Compenso alle discariche autorizzate per conferimento di materiale di risulta proveniente da demolizioni: rifiuti assimilabili agli urbani (calcinacci, terre, laterizi, ecc.)							
	M I S U R A Z I O N I:							
	SCALA: intonaco rimosso	350,00		0,050	0,300	5,25		

	VESPAIO ARMATO TORRE: scavo	25,00	0,700	17,50		
	VESPAIO ARMATO VANO SCALE: scavo interno	16,50	0,700	11,55		
	VOLTA P1: rimozione pavimentazione	25,00	0,100	2,50		
	VOLTA P1: rimozione sottofondo per 10 cm	25,00	0,100	2,50		
	VOLTA P1: rimozione sottofondo	25,00	0,300	7,50		
	VOLTA P1: parziale rimozione del riempimento dei rinfianchi per realizzazione connettori e cappa collaborante	25,00	0,300	7,50		
	COPERTURA SCALE	35,00	0,200	7,00		
	SOMMANO m3			61,30	€ 9,41	€ 576,83
	T O T A L E euro					€ 148.927,88

Il prezzo totale degli interventi è di € 148.927,88 da cui sono esclusi oneri per la sicurezza e le movimentazioni aeree nell'ambito del cantiere. Per quanto riguarda l'occupazione di suolo, la Torre Pantera dispone di un giardino con cancello di pertinenza privata che può definire giù un area di cantiere a tutti gli effetti. Bisognerà fare un attenta analisi delle criticità dato il contesto in cui si trova (Duomo di Como).

Calcolo della durata con incidenza percentuale della manodopera.

TORRE PANTERA						
DURATA DELL'INTERVENTO						
CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE						
COD. LAV.	PREZZO	UTILE	SPESE	COSTO T.	% INC MANODOPERA (*)	MANODOPERA
MP	€ 148.927,88	€ 14.892,79	€ 20.105,26	€ 113.929,83	40,00%	€ 45.571,93
					Costo complessivo manodopera tolti oneri e spese	€ 45.571,93
					Costo orario manodopera specializzata	€ 29,37
					Costo orario manodopera I livello	€ 22,71
					Costo medio orario manodopera	€ 26,04
					Ore giornata lavorativa	8
					Costo giornata lavorativa	€ 208,33
					Uomini Giorno	219

(*) D.M. 11/12/1978

Si valuta di seguito il prezzo i realizzazione dell'elemento tecnico copertura per Torre Pantera.

La chiusura superiore sarà realizzata con uno strato di supporto in pannelli di legno incollato multistrato e uno strato isolante accoppiato. L'isolamento termico della copertura a falde dovrà essere realizzato utilizzando un sistema di isolamento sottotegola costituito da pannello monolitico strutturale, componibile, portante ed isolante, realizzato con schiuma poliuretanica rigida a celle chiuse (spessore 60 mm). Il rivestimento del pannello è costituito da una lamina in alluminio goffrato sia all'intradosso che all'estradosso. Il profilo metallico, rivestito con lega alluminio – zinco - silicio (*aluzinc*) con altezza 3 cm, è integrato nel pannello e presenta dei fori che consentono lo smaltimento dell'acqua e la micro ventilazione di aria dalla gronda al colmo. È dotato di una nervatura longitudinale, sulla parte piana di appoggio al pannello in

poliuretano, che ostacola l'eventuale risalita capillare dell'acqua. Il correntino è inoltre provvisto di fori, nella zona piana di appoggio della tegola, per l'utilizzo di accessori quali il listello parapassero o la linguetta metallica per il fissaggio meccanico delle tegole.

COMPUTO METRICO PER VOCI DI LAVORO COPERTURA

MANUTENZIONE STRAORDINARIA		REALIZZAZIONE DI NUOVA COPERTURA			M.S.8	
COD.	LAVORAZIONE	DESCRIZIONE	Q.tà	U.M.	P.U.	P.T.
1	Struttura perimetrale in acciaio	Carpenteria metallica limitata a parti di edifici per travature per solai,coperture, ossature, rampe e ripiani scale, pensiline, balconi e simili, inopera imbullonata o saldata. Acciaio del tipo Fe 360. Compresi i profilatidi qualsiasi tipo, sezione e dimensione, piastre, squadre, tiranti, bulloni,fori, fissaggi; mano di antiruggine; trasporti e sollevamenti; opere di sostegno e protezione, esclusi oneri per demolizioni e ripristini di operemurarie. Per strutture formate da travature semplici forate e imbullonate	31,6 kg/m x (5,8+8,6) x 2/ (5,8 x 8,6) = 18,24	kg/m^2	3,11€	56,73€
2	Legno lamellare	Fornitura e posa in opera di pannelli di legno lamellare multistrato incollato sp. 143 mm compresa ogni lavorazione, tasselli di ancoraggio in acciaio, sfrido e assistenza muraria	1	m^2/m^2	93,52€	93,52€
3	Isolante con listellatura	Fornitura e posa in opera di isolamento termico per coperture con ventilazione, costituito da pannello prefabbricato in schiuma rigida di poliuretano espanso a cellule chiuse. Estradosso rivestito da lamina in alluminio e dotata di profilo angolare a trave reticolare in Aluzinc; passo universale sottomanto per tegole e coppi. Compresi: tagli e relative sigillature, adattamenti, fissaggi di qualsiasi tipo a qualsiasi struttura, raccordi, assistenza muraria, piani di lavoro. Sp. 80 mm	1	m^2/m^2	35,84€	35,84€
4	Manto di tegole	Fornitura e posa in opera di manto di copertura con tegole a canale o coppi in ragione di n. 32 al m^2,compresi colmi, pezzi speciali, sigillature con malta, esclusi i listelli portategole	1	m^2/m^2	22,08€	22,08€
5	Lattoneria	Fornitura e posa in opera di canali di gronda completi di cicogne o tiranti; converse, scossaline, copertine. Tutti lavorati con sagome e sviluppi normali, in opera, comprese le assistenze murarie e accessori di fissaggio. Esclusi i pezzi speciali di canali di gronda, pluviali, lattonerie speciali; in: lastra di rame - spess. 0,6 mm (peso specifico = 8,92 kg/dm^3)	8920 kg/m^3 x (5,8+8,6) x 2 x (0,0006x 0,6)/ (5,8 x 8,6) = 1,85	kg/m^2	10,76€	19,90€
				Prezzo unitario elemento tecnico per m^2 di copertura		228,07€

La nuova copertura avrà un costo di 228,07 €/m^2.

6.

Proposte di recupero e rifunzionalizzazione

6. Proposte di recupero e rifunzionalizzazione

6.1. Introduzione

Le Torri oggetto del presente elaborato non svolgono ad oggi alcuna funzione specifica e sono considerati dalla cittadinanza una presenza del paesaggio urbano.

A fronte delle considerazioni e delle proposte d'intervento presentate ai capitoli precedenti, si avanza di seguito una serie di progetti di rifunzionalizzazione che renderebbero gli edifici fruibili e potrebbero rilanciare l'immagine medievale della città.

Lo studio delle rifunzionalizzazioni si è concentrato sui due edifici, Porta Torre e Torre Pantera, che hanno evidenziato le maggiori potenzialità. I due edifici sono situati in posizioni strategiche che possono dare luogo a importanti progetti di rifunzionalizzazione.

Porta Torre è considerata dalla cittadinanza come una monumentale porta di accesso al centro cittadino ed è vissuta come un importante monumento attraverso il quale transitano

Figura 6.1 - Porta Torre - Il prospetto nord della Torre, attraverso i fornici si vede la struttura della scala

Figura 6.2 - Porta Torre - La scala vista dai pedoni che attraversano Porta Torre

Figura 6.3 - Porta Torre - Panorama del ballatoio di sommità della scala

migliaia di persone ogni giorno. La proposta di rifunzionalizzazione è guidata dall'idea che il centro cittadino rappresenti una delle zone di maggior pregio di Como e, l'introduzione di una scala all'interno di Porta Torre, permetterebbe di osseravare dall'alto tutta quest'area della città.

Il progetto di rifunzionalizzazione di Porta Torre nasce dalla volontà di garantire al pubblico un rapporto più diretto e ravvicinato con il monumento, permettendo al cittadino comasco e al turista di riscoprire la presenza fisica della torre e di "toccarla con mano". Al tempo stesso si è voluto contribuire a rendere maggiormente accessibili le pareti interne della torre, facilitando quindi i controlli e gli interventi di manutenzione da svolgere periodicamente.

L'intervento consiste nella realizzazione di una nuova struttura, completamente autonoma rispetto alla torre e in nessun punto ancorata ad essa, che permette al pubblico e agli addetti alla manutenzione di salire all'interno della torre e di giungere in sommità. La scala che consente questo percorso verticale è stata ideata come una vera e propria scultura in acciaio, con il duplice intento di porla in contrasto rispetto all'antico edificio in cui si colloca, attraverso la forma e la scelta dei materiali, e di creare un oggetto che attiri il pubblico e renda maggiormente interessante la salita. La scala si sviluppa con una forma sinuosa che si intreccia attorno a quattro grandi pilastri, richiamando alla mente la leggerezza di un lungo nastro. Quest'immagine è accentuata dal trattamento scelto per i due parapetti: uno pieno, opaco, in acciaio Cor-Ten; l'altro quasi trasparente, costituito da una ringhiera in acciaio zincato. Il nastro di Cor-Ten parte da terra, dall'arco ovest della facciata sud, e va ad abbracciare i pilastri, ad uno ad uno, fino ad arrivare in cima, dove compie un giro di ronda attorno al perimetro interno delle mura. Le rampe rettilinee s'interrompono in corrispondenza dei pilastri, dove si trasformano in pianerottoli semi circolari che fasciano il pilastro ancorandosi ad esso.

La partenza del percorso è stata collocata intenzionalmente all'interno di uno dei due archi della facciata sud, e quasi al di fuori della torre, per invitare alla salita e per segnalare all'esterno la presenza dell'intervento. Le prime due rampe di scala sono addossate al muro interno ovest, così da non intralciare il passaggio dei pedoni, dei ciclisti e delle eventuali vetture che possono sfruttare il passaggio sotto l'arco a est. Porta Torre si colloca infatti in una posizione strategica che collega il centro storico con la città esterna alle mura, ed è attraversata da un flusso continuo di persone, biciclette, e motocicli.

L'idea iniziale prevedeva di ricreare parzialmente i solai originari all'interno della torre, sfruttando le buche pontaie ancora presenti per sorreggere queste porzioni di piani. Tuttavia nello sviluppo del percorso progettuale è prevalsa la volontà di non toccare l'edificio antico, e

di accostarvisi soltanto. Si sono semplicemente “allungati” alcuni pianerottoli, così da offrire un momento di riposo lungo la salita e da ricordare la presenza dei quattro livelli originari.

In sommità è stata creata una passerella rettangolare che ricalca il perimetro interno delle mura della Torre, distanziandosi da esso di 30 cm, e ribassata di quasi 40 cm. I due parapetti sono gli stessi della scala: quello esterno è una ringhiera, più trasparente, quello interno è invece pieno, in Cor-Ten. Il livello ribassato della passerella e la posizione interna del parapetto pieno, rendono l’intervento del tutto invisibile da livello terra, se non, come dimostrato da 185 m di distanza, così che non viene per nulla alterato l’aspetto esterno d’insieme della torre. La passerella in sommità è leggermente più larga della scala, così da permettere la sosta per osservare il panorama che si apre sulla città. Porta Torre è alta 34,38 m, e dalla sua sommità si gode quindi di una bella vista sul centro storico e sulle colline che lo circondano.

I quattro pilastri inclinati sorreggono la scala grazie a delle mensole disposte a raggiera e posizionate al di sotto di ogni pianerottolo. L’attacco a terra della struttura portante è collocato in maniera da non ostruire il passaggio dei pedoni, dei ciclisti e dei motociclisti ed eventuali vetture occasionali. Il passaggio al di sotto della Torre non è infatti generalmente carrabile, ma vetture di pubblico servizio hanno il permesso di attraversarlo ed è quindi necessario prevederne il transito. In sommità i pilastri si dispongono invece secondo uno schema più regolare, che assicura una maggiore rigidità d’insieme e che offre i necessari appoggi per la passerella.

La scelta dei materiali, in linea con la volontà di contrapporre nettamente il nuovo intervento all’edificio antico, è ricaduta sull’acciaio zincato e Cor-Ten. L’acciaio è stato preferito anche perchè ha permesso di utilizzare elementi leggeri, con spessori ridotti, e di lunga durata, resistenti alle intemperie alle quali l’intervento è soggetto.

Torre Gattoni rappresenta uno spazio coperto in cui è possibile istituire un percorso museale che prenda spunto da quelle che sono state le vicende storiche che hanno influenzato la vita recente dell’edificio. Nel settecento la Torre era adibita a laboratorio di osservazione dei fenomeni elettrici dal canonico Gattoni, da cui il nome, e nel secolo scorso, ha ospitato la prima centralina elettrica di Como, della quale restano i trasformatori, veri e propri monumenti dell’archeologia industriale. Prendendo spunto da quanto esiste ancora all’interno della Torre si vuole allestire un nuovo spazio museale.

Torre San Vitale è un edificio completamente inaccessibile privo di qualsiasi ingresso e privo conseguentemente di qualsiasi possibilità, allo stato attuale, di utilizzo. Il presente elaborato è

stato condizionato, proprio per quello che riguarda lo studio dell'edificio dall'impossibilità di avere conoscenza diretta dell'interno.
La rifunzionalizzazione è legata alla vicinanza con il Museo Civico Paolo Giovio e alla possibilità di creare una nuova ala espositiva.
Torre Pantera si trova in una condizione di estremo degrado e la rifunzionalizzazione degli ambienti potrebbe essere una soluzione che permetterebbe di riqualificare l'intero complesso.
La richiesta che il Comune ha avanzato nel mese di ottobre 2010 prevede la semplice riqualificazione della Torre senza prendere in considerazione l'edificio con esso comunicante. Il presente documento presenta il progetto complessivo in grado di ricreare un ampio spazio ad uso uffici usufruibile dall'Assessorato al Turismo e dall'Agenzia di Promozione Turistica.

6.2. Porta Torre

Porta Torre si trova in una posizione estremamente centrale rispetto al tessuto urbano cittadino. A oggi non è possibile accedere a nessuna parte dell'edificio essendo lo stesso privo di solai e di copertura. Nel presente capitolo è proposta la messa in opera di una scala che permetta alla cittadinanza di salire per tutti i 34 metri di altezza del monumento e permetta di beneficiare dello stupendo panorama della città di Como.
La scala è costituita da 4 pilastri che salgono obliqui per tutta l'altezza andandosi ad avvicinare e allontanare reciprocamente man mano che si sale di quota. I pilastri che al livello strada sono posti sul lato sud sorreggono la pensilina di sommità sul lato nord e i corrispondenti pilastri posti a terra sul lato nord in sommità sono sul fronte sud. Questa scelta architettonica ha permesso di prevedere uno sviluppo della rampa caratterizzato da una serie di pianerottoli che si appoggiano di volta in volta a un pilastro differente andando a sviluppare una scala con geometrie sempre nuove e una variabilità di forme che ne caratterizzano l'aspetto.
Le rampe sono sostenute da due travi continue collocate alle estremità laterali degli scalini: su un lato è presente una trave tubolare in acciaio Cor-Ten di dimensioni 180x80x8 mm mentre sull'altro è presente un profilo in acciaio pieno di dimensioni 180x30 mm.
I gradini sono costituiti da profili d'acciaio a "L" 30x30x4 mm che permettoni una facile disposizione della pedata in lamiera stirata. L'insieme delle travi è reso solidale tramite la messa in opera ogni 30 cm di profili pieni in acciaio di spessore 30 cm e altezza 17 cm che costituiscono le alzate degli scalini.

Figura 6.4 - Porta Torre - Esploso della parte superiore della rampa

Figura 6.5 - Porta Torre - Vista della parte inferiore della rampa

La trave in Cor-Ten è inoltre dotata nella sua parte superiore di una lama, realizzata nello stesso materiale, che costituisce il parapetto. Questa lama in Cor-Ten, è interrotta ogni cica 150 cm così da impedire lo svergolamento dell'elemento trave. Dal lato del cosciale, ovvero il lato della trave piena in acciaio ordinario, il parapetto è realizzato con tubolari in acciaio e cavi in acciaio. Entrambi i parapetti sono dimensionati per resistere alle spinte orizzontali tipiche di uno spazio pubblico soggetto a grande affollamento.

Figura 6.6 - Porta Torre - Vista delle mensole che costituiscono gli appoggi dei pianerottoli e delle rampe

I pianerottoli sono sorretti da una serie di mensole che, poste in opera a raggera, sono vincolate a una corona a sua volta vincolata al pilastro. Le mensole sono in grado di sorreggere i carichi che provengono dalle travi e hanno la duplice funzione di irrigidire l'intero sistema costituito da rampe e pianerottoli, andando a impedire i cinematismi di cui il sistema sarebbe oggetto se privo di tali irrigidimenti.

La sommità è costituita da una struttura simile a quella che caratterizza le rampe ma è realizzata con l'aggiunta di una serie di irrigidimenti che rendono quest'elemento in grado di assorbire le azioni

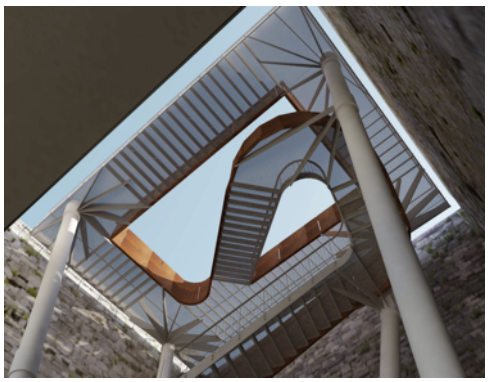


Figura 6.7 - Porta Torre - Vista degli irrigidimenti della passerella di copertura

orizzontali derivanti dai pilastri. Questa soluzione riesce a limitare quelle che sono le deformazioni dell'intera struttura.

6.2.1. Il modello strutturale - Scala

Al fine di dimensionare le parti che compongono la struttura si è realizzato un modello tridimensionale avvalendosi del programma SAP 2000 Vers. 14.

Il modello è realizzato associando a ogni profilo le corrispondenti caratteristiche geometriche e meccaniche proprie dei materiali con cui sono costituiti.

Nello specifico il modello rappresentato in figura è realizzato andando a definire gli elementi trave, collegati tra loro da una piastra che simula il comportamento degli scalini, e andando ad applicare direttamente sugli stessi i carichi strutturali, permanenti e variabili di tutti gli elementi che compongono la rampa: i carichi variabili sono legati all'affollamento[60] e alla neve[61], i permanenti portati sono la pedata degli scalini, le ringhiere che poggiano direttamente sulle travi mentre i permanenti strutturali sono gli irrigidimenti che costituiscono l'alzata degli scalini e le travi stesse.

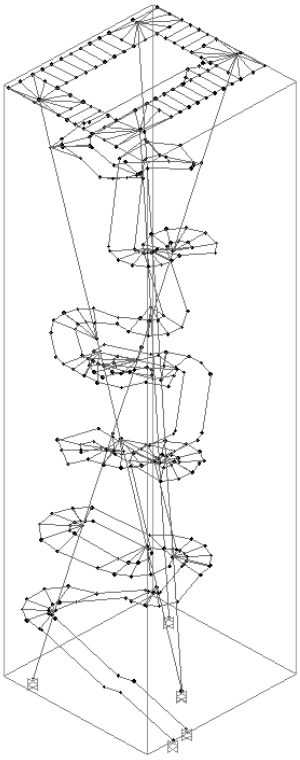


Figura 6.8 - Porta Torre - Rappresentazione delle geometrie del modello

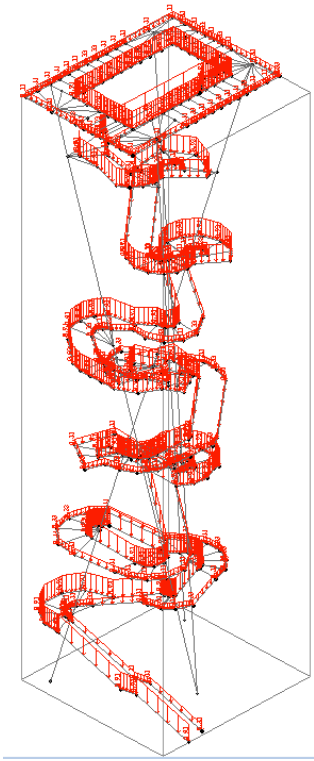
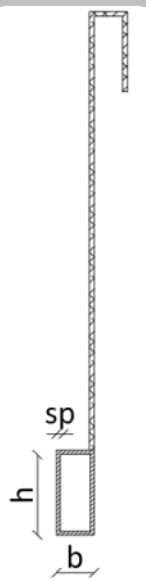
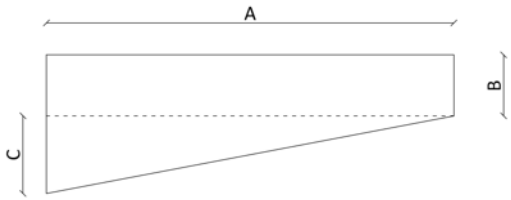


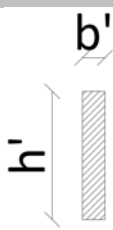
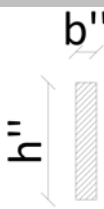
Figura 6.9 - Porta Torre - Rappresentazione dell'applicazione dei carichi al modello

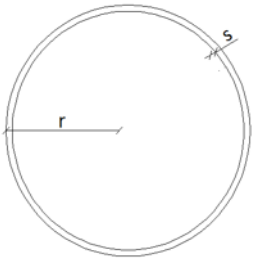
[60] Tabella 3.1.II delle NTC 08 – Cat. C2

[61] Capitolo 3.4 NTC 08

Elenco degli elementi strutturali

Trave				Mensola			
							
b	8	cm	Altezza dell'elemento	A	Var.	cm	*Dim. in figura*
h	18	cm	Base dell'elemento	B	28	cm	*Dim. in figura*
sp	0,8	cm	Spessore dell'elemento	C	22	cm	*Dim. in figura*
				B+C	50	cm	*Dim. in figura*
				S	3	cm	*Dim. in figura*

Cosciale				Irrigidimenti			
							
h'	18	cm	Altezza dell'elemento	h''	17	cm	Altezza dell'elemento
b'	3	cm	Base dell'elemento	b''	3	cm	Base dell'elemento

Pilastro			
			
r	20	cm	*Raggio esterno*
s	4	cm	*Spessore*

Al solo fine di illustrare la metodologia di realizzazione del Modello si propongono di seguito alcune immagini inquadrate sulla prima rampa della scala.

Partendo da un modello geometrico si sono inseriti tutti i profili degli elementi strutturali che compongono la scala: in giallo è disegnata la parte inferiore, della trave in Cor-Ten, ovvero quella resistente, in blu è rappresentato il profilo del cosciale mentre in rosso si possono vedere le parti inferiori dei pilastri.

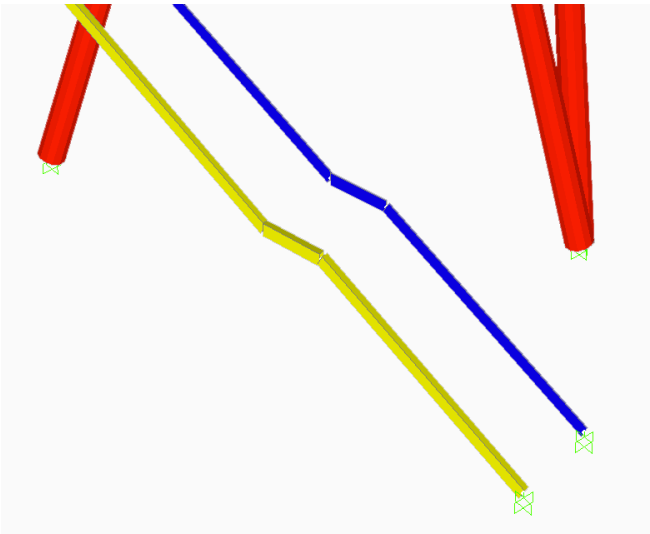


Figura 6.10 - Porta Torre - Immagine del modello in Sap 2000 rappresentante la parte inferiore della scala

Al fine di simulare la presenza dei gradini, che hanno il ruolo di irrigidire tutto il sistema, andando a introdurre un ritegno alle deformazioni, impedendo lo sbandamento nel piano delle singole travi, si introduce una piastra che impone spostamenti uguali alle due travi laterali. Tale piastra è evidente nell'immagine successiva:

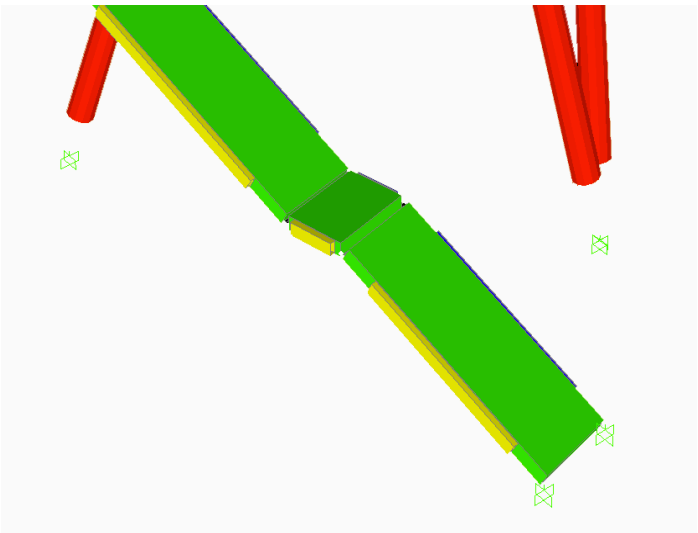


Figura 6.11 - Porta Torre - Immagine del modello in Sap 2000: la parte inferiore della scala con in evidenza la piastra che sostituisce i gradini

Nell'immagine precedente sono evidenti i vincoli a terra, le piccole croci tridimensionali verdi, che rappresentano gli incastri della struttura a terra.

Una volta terminato il modello dal punto di vista geometrico e delle proprietà meccaniche si è inserito il carico. I valori dei carichi sono state concentrate sulle sole travi laterali, andando a realizzare la piastra in un materiale fittizio di peso nullo. In questo modo si è potuto realizzare un modello semplificato di più facile interpretazione.

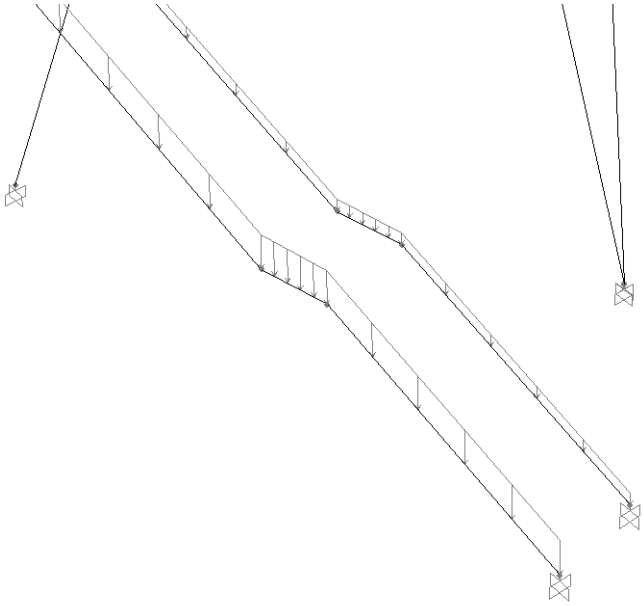


Figura 6.12 - Porta Torre - Immagine del modello in Sap 2000 rappresentante l'applicazione dei carichi alla parte inferiore della scala

I carichi applicati, come meglio specificato in seguito sono i carichi strutturali, i carichi permanenti portati e i carichi accidentali.

La modellazione così realizzata ha permesso di elaborare un modello in cui fossero restituiti tutti i valori di momento, torsione, taglio e azione assiale agente nelle strutture. In primo luogo il modello ha restituito i valori delle reazioni vincolari al piede:

I valori si reazioni vincolari a terra sono riportati al paragrafo 6.2.5.1.

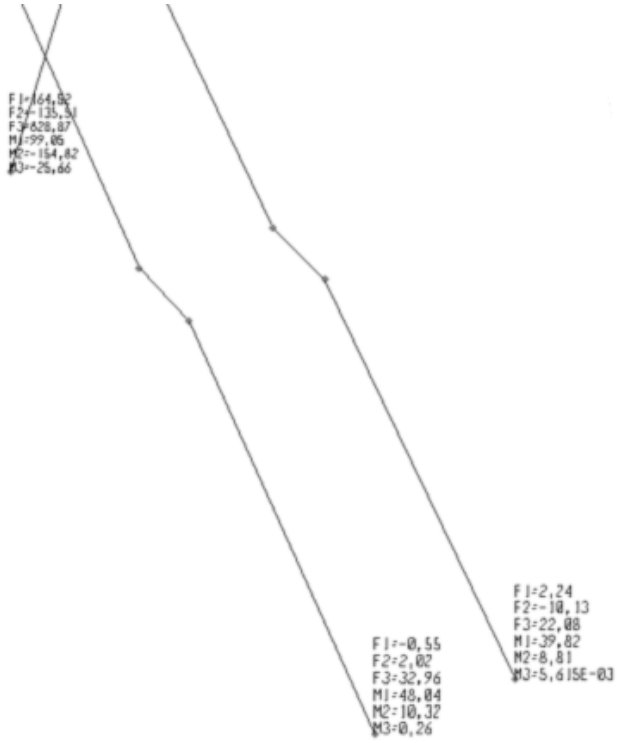


Figura 6.13 - Porta Torre - Immagine del modello in Sap 2000 rappresentante le reazioni vincolari della prima rampa e del pilastro maggiormente caricato

Nelle immagini successive si riportano i grafici di alcune delle azioni agenti nella parte bassa della scala:

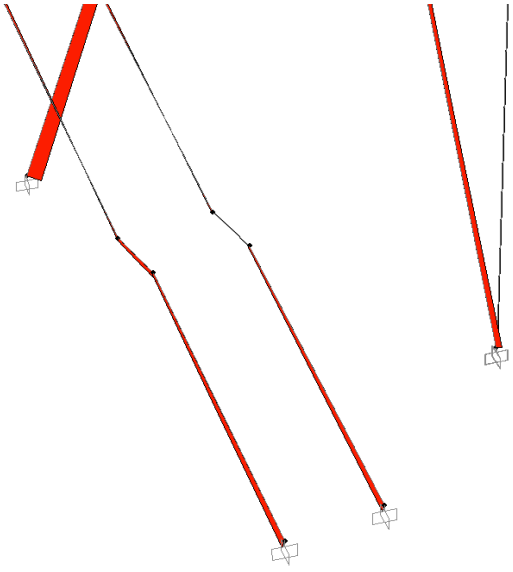


Figura 6.14 - Porta Torre - Diagramma degli sforzi di azione assiale agente nei pilastri e nelle travi della rampa. In rosso indica valori di compressione. A causa della visione di scorcio non è possibile fare un raffronto diretto della sollecitazione essendo in realtà quella del pilastro molto maggiore di quella della rampa fig. 6.10

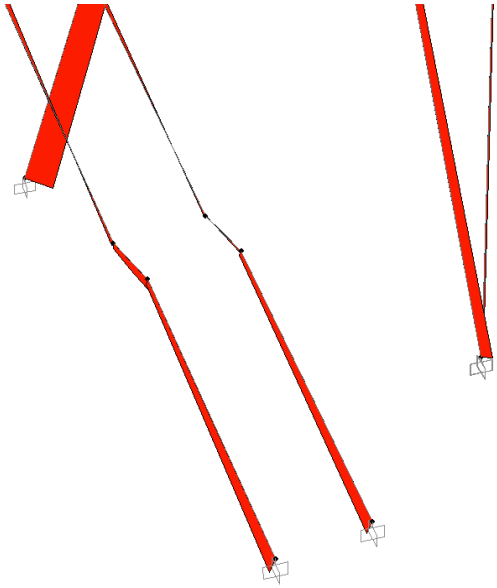


Figura 6.15 - Porta Torre - Diagramma degli sforzi di taglio. In questo caso i grafici rappresentano il taglio in direzione tale da inflettere le travi in senso verticale. L'azione interessa le travi che sono sollecitate da carichi distribuiti lungo tutta la lunghezza e interessa anche i pilastri a causa dei carichi eccentrici rispetto al suo asse

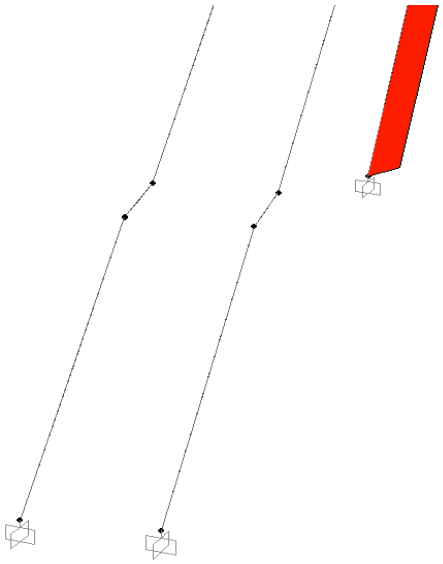


Figura 6.16 - Porta Torre - Diagramma degli sforzi di taglio. In questo caso i grafici rappresentano il taglio in direzione tale da inflettere le travi in senso orizzontale. Si evidenzia che le travi non sono soggette a tale azione mentre il pilastro, ricevendo carichi eccentrici rispetto al suo asse, è fortemente sollecitato

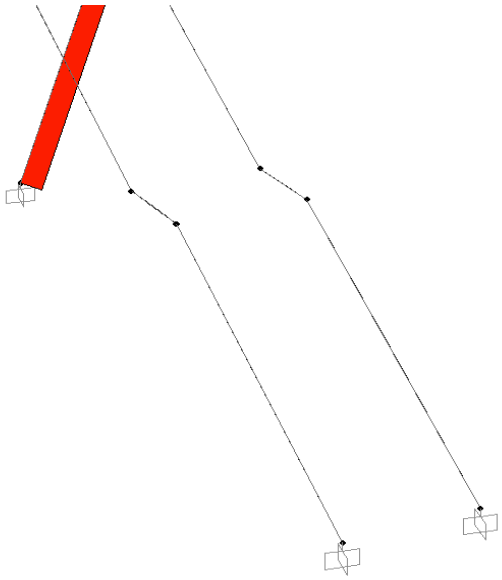


Figura 6.17 - Porta Torre - Diagramma degli sforzi di torsione. Anche in questo caso i pilastri sono molto sollecitati mentre le travi sono sostanzialmente non soggette a torsione

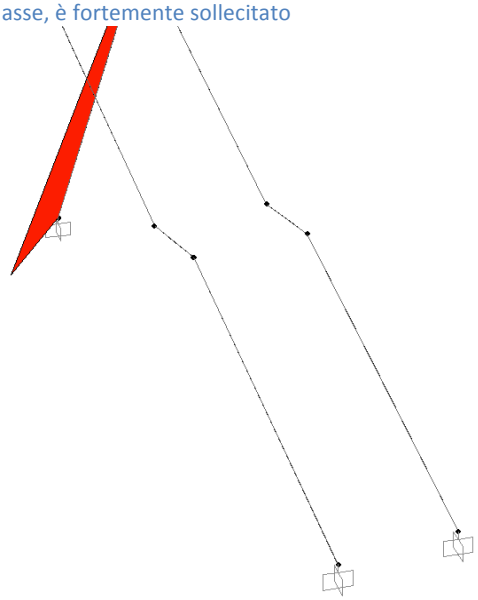


Figura 6.18 - Porta Torre - Diagramma dei momenti che sollecitano la trave in senso orizzontale ovvero in direzione perpendicolare al carico. L'introduzione della piastra riduce il momento a che sollecita le travi. Il pilastro è sollecitato a causa dell'eccentricità del carico a esso applicato

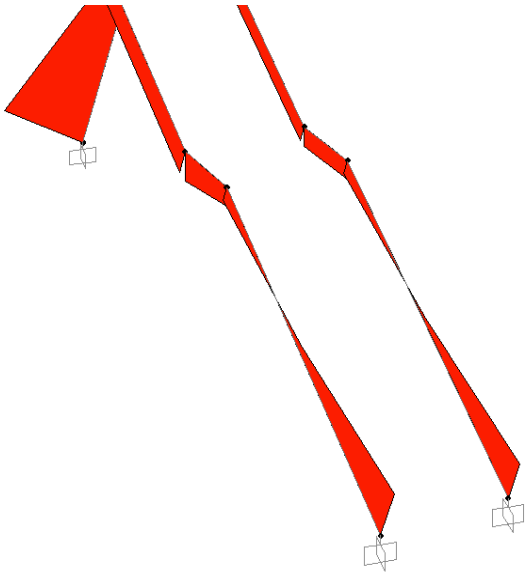


Figura 6.19 - Porta Torre - Diagramma dei momenti che sollecitano la trave in senso verticale ovvero in direzione parallela al carico. Il pilastro è sollecitato a causa dell'eccentricità del carico a esso applicato

6.2.2. I carichi applicati - Scala

I carichi applicati sono conformi a quanto riportato al capitolo 2.5.3 delle NTC 08, concernente le combinazioni delle azioni: $p = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1}$ [62]. Nella tabella sottostante si riporta l'elenco dei carichi introdotti nel modello di calcolo:

Elemento	Pilastro	
Carico		kN/m
Per. strutturali	G_1	3,55
Strutturale portato	G_2	0,00
Variabili	Q_{k1}	0,00

Elemento	Irrigidimenti	
Carico		kN/m
Per.strutturali	G_1	0,001
Strutturale portato	G_2	0,00
Variabili	Q_{k1}	0,00

Elemento	Cosciale	
Carico		kN/m
Per. strutturali	G_1	0,63
Strutturale portato	G_2	0,33
Variabili	Q_{k1}	2,40
Variabili Sommità	Q_{k1}	2,40

Elemento	Trave	
Carico		kN/m
Per. strutturali	G_1	0,51
Strutturale portato	G_2	0,93
Variabili	Q_{k1}	2,40
Variabili Sommità	Q_{k1}	2,40

Elemento	Mensole	
Carico		kN/m
Per.strutturali	G_1	1,10
Strutturale portato	G_2	0,00
Variabili	Q_{k1}	0,00

Il calcolo è condotto con riferimento ai coefficienti riportati di seguito e si riferisce a degli interassi che sono quelli riassunti di seguito:

Coeff. Tab 2.6.I		
γ_{G1}	1,3	[-]
γ_{G2}	1,5	[-]
γ_{Q1}	1,5	[-]

Interasse		
Pedata	30	cm
Gradino	120	cm
Pesserella sommità	160	cm

I permanenti strutturali sono frutto dell'applicazione dei seguenti carichi distribuiti:

Permaneni strutturali				
Elemento	Peso			
Irrigidimenti - Alzata	10,68	kg/m	0,11	kN
L 30x30x4	1,78	kg/m	0,02	kN

[62] Formula 2.5.1 NTC 08

Trave 180x80x8	30,65	kg/m	0,31	kN
Trave 180x30	42,39	kg/m	0,42	kN

I carichi variabili sono i seguenti:

Carichi Variabili		
Affollamento[63]	4,00	kN/m^2
Neve[64]	1,20	kN/m^2

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva utilizzata per definire il carico della neve:

Neve		
m_i (0° < a < 30°)	0,80	-
q_{sk}	1,50	kN/m^2
C_e	1,00	-
C_t	1,00	-
q_s	1,20	kN/m^2

6.2.3. Risultati del modello - Azioni interne - Scala

Il programma di calcolo Sap 2000 è stato utilizzato con lo scopo di determinare i valori massimi di azione interna di tutti gli elementi. In particolare si sono suddivise le parti strutturali in: trave, indicando con questo termine la trave della scala in Cor-Ten, cosciale, indicando la rimanente trave della rampa, le mensole, gli irrigidimenti e i pilastri. Per ogni gruppo di elementi definiti si è valutato quale fosse l'elemento più sollecitato nei confronti di: azione assiale, taglio e momento nelle 2 direzioni e torsione.

Di seguito si riportano i valori massimi, positivi e negativi, di tutti gli elementi, le verifiche saranno condotte solo su tali elementi essendo implicita la verifica per gli elementi di uguale sezione e minor sollecitazione.

Travi							
Azione Max	Nome Elemento	P	V2	V3	T	M2	M3
		kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
P Traz.	7	31,69	8,09	0,004	-0,05	0,036	-4,41
P Comp.	57	-17,74	10,68	-9,12	0,71	0,65	0,21
V2 Pos.	51	17,69	**56,95**	7,93	0,96	-0,96	23,13
V2 Neg.	565	-17,15	-19,36	0,91	1,34	1,98	-13,16
V3 Pos.	56	14,05	38,54	20,11	-3,63	-1,27	21,93
V3 Neg.	186	2,25	-12,93	-11,47	0,58	-7,40	-8,10

[63] Tabella 3.1.II delle NTC 08 – Cat. C2

[64] Capitolo 3.4 NTC 08

T Pos.	274	-3,98	27,77	0,02	**6,21**	0,04	13,00
T Neg.	274	-3,97	16,10	0,009	-4,24	0,02	4,99
M2 Pos.	186	-1,52	-6,49	-11,47	0,58	7,39	4,42
M2 Neg.	186	2,25	-12,93	-11,47	0,58	**-7,40**	-8,10
M3 Pos.	51	17,69	52,68	7,93	0,96	3,95	**57,17**
M3 Neg	565	-17,15	-19,36	0,91	1,34	1,98	-13,16

La trave è quella che dall'ultimo pianerottolo porta alla sommità ed è lunga 5,70 m.

Cosciali

Azione Max	Nome Elemento	P	V2	V3	T	M2	M3
		kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
P Traz.	359	45,98	1,16	1,01	0,01	0,06	-0,33
P Comp.	202	-32,52	1,83	-0,18	0,00	-0,02	0,42
V2 Pos.	276	13,61	**92,82**	2,38	-1,27	0,01	-7,24
V2 Neg.	441	-12,43	-16,86	0,20	-0,07	0,19	-10,70
V3 Pos.	276	13,61	92,32	2,38	-1,27	0,24	1,67
V3 Neg.	276	17,89	-17,93	-1,00	0,37	-0,21	-5,56
T Pos.	276	17,89	-17,93	-1,00	0,37	-0,21	-5,56
T Neg.	276	13,61	92,32	2,38	**-1,27**	0,24	1,67
M2 Pos.	276	13,61	92,32	2,38	**-1,27**	0,24	1,67
M2 Neg.	191	0,99	0,49	-0,34	0,02	-0,22	0,81
M3 Pos.	445	-12,31	0,68	-0,34	-0,03	-0,08	**11,46**
M3 Neg	441	-12,43	-16,86	0,20	-0,07	0,19	**-10,70**

Il cosciale più sollecitato si trova a circa 17 m di altezza, è lungo 4,64 m.

Da notare è che i valori massimi della trave e del cosciale non sono sempre corrispondenti, questo è dovuto alle diverse geometrie e in particolare nei punti in cui la trave è più sollecitata il cosciale è molto vicino ai pilastri e, conseguentemente, il carico viene direttamente scaricato sulle mensole. Tuttavia i valori medi hanno un andamento molto simile.

Mensole

Azione Max	Nome Elemento	P	V2	V3	T	M2	M3
		kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
P Traz.	87	173,74	-39,79	7,70	0,03	2,50	-30,91
P Comp.	89	**-115,42**	-31,19	10,27	0,10	-1,68	-15,42
V2 Pos.	206	1,39	**129,45**	4,55	0,34	-0,49	-33,43
V2 Neg.	384	24,49	-73,27	0,49	0,07	0,76	**-114,87**
V3 Pos.	401	-59,03	-47,64	58,28	0,34	10,42	-25,62
V3 Neg.	75	-7,25	-16,14	-13,85	-0,04	-3,80	24,39
T Pos.	609	47,98	-22,21	20,86	0,94	3,95	15,90
T Neg.	282	-34,81	-52,30	0,04	-0,45	0,43	-69,35
M2 Pos.	401	-59,03	-47,64	58,28	0,34	**10,42**	-25,62
M2 Neg.	401	-59,02	-47,44	58,28	0,34	-10,15	-8,84
M3 Pos.	48	-21,75	75,53	-0,06	-0,30	-0,05	43,97
M3 Neg	384	24,49	-73,27	0,49	0,07	0,76	**-114,87**

Irrigidimenti							
Azione Max	Nome Elemento	P	V2	V3	T	M2	M3
		kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
P Traz.	617	16,35	8,54	-0,03	0,00	-0,01	2,93
P Comp.	627	-16,83	-0,57	-0,04	0,00	-0,02	-1,70
V2 Pos.	615	-4,60	**17,38**	-0,08	0,00	0,02	-2,80
V2 Neg.	625	-1,23	-11,46	-0,05	0,00	-0,02	-4,97
V3 Pos.	128	0,07	-0,14	0,00	0,00	0,00	-0,07
V3 Neg.	615	-4,60	17,31	-0,08	0,00	-0,02	6,93
T Pos.	613	8,43	9,92	-0,01	0,01	0,00	6,02
T Neg.	616	-0,20	-0,76	-0,01	0,00	-0,01	-1,14
M2 Pos.	432	0,00	0,04	-0,04	0,00	0,03	0,01
M2 Neg.	432	0,00	-0,18	-0,04	0,00	-0,03	-0,11
M3 Pos.	615	-4,60	17,31	-0,08	0,00	-0,02	**6,93**
M3 Neg	624	-0,90	8,74	-0,05	0,00	0,03	-4,98

Da notare è che gli irrigidimenti più sollecitati sono quelli posti in copertura, questo è dovuto al fatto che sono di lunghezza maggiore, da 120 cm delle rampe si passa ad una lunghezza di 160 cm, in aggiunta si ha che il carico della neve è posizionato solo sulla copertura.

Pilastri							
Azione Max	Nome Elemento	P	V2	V3	T	M2	M3
		kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
P Traz.	-	-	-	-	-	-	-
P Comp.	35	**-899,39**	15,48	-4,46	-43,87	34,37	-89,93
V2 Pos.	477	-661,12	**68,54**	14,19	-37,91	41,81	25,68
V2 Neg.	92	-110,18	-51,84	-3,71	-5,25	-18,81	-87,63
V3 Pos.	476	-450,04	-9,73	35,63	-45,07	233,78	-66,58
V3 Neg.	91	-694,98	-4,73	-43,35	-26,40	-68,02	21,94
T Pos.	105	-196,41	-28,05	-23,63	11,59	-84,37	7,97
T Neg.	3	-562,33	-11,42	-9,85	-57,18	-43,10	-51,23
M2 Pos.	409	-507,26	10,91	-38,20	-48,07	**259,83**	-57,76
M2 Neg.	104	-229,48	24,40	32,72	-8,22	-119,11	42,45
M3 Pos.	105	-158,44	-16,54	-23,63	11,59	61,83	145,89
M3 Neg	95	-473,98	-23,45	7,39	-50,72	65,13	**-142,51**

In grassetto sono riportati i valori su cui sono effettuate le verifiche proposta al paragrafo seguente.

6.2.4. Verifiche - Scala

Prima di procedere con le verifiche delle parti che compongono la struttura si riportano i valori di resistenza dei materiali utilizzati nei calcoli presentati di seguito:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
E	210000	N/mm^2	*Modulo elastico acciaio*
G	79800	N/mm^2	*Modulo elasticità tangenziale acciaio*

Di seguito si riportano i coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità[65]:

Dati		U.M.	*Descrizione*
γ_{M0}	1,05	-	*Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4*
γ_{M1}	1,05	-	*Resistenza all'instabilità delle membrature*
γ_{M2}	1,25	-	*Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)*

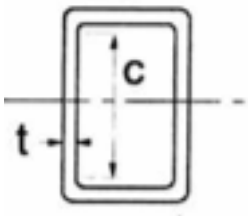
Si riportano di seguito i calcoli eseguiti con l'obiettivo di definire la sezione a cui appartengono i vari profili.

6.2.4.1. Verifiche delle sezioni - Scala

Trave

La trave è un profilo tubolare cavo di dimensioni riportate nella tabella dell'elenco degli elementi strutturali, soggetta a pressoflessione.

Dati		U.M.	*Descrizione*
c	16,40	cm	*Altezza interna elemento*
h	18,00	cm	*Altezza esterna elemento*
t=sp	0,80	cm	*Spessore elemento*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*



$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}}$$

$$\alpha = \frac{h-c}{2c}$$

$$\frac{c}{t} \le 36\frac{\varepsilon}{\alpha}$$

[65] Tabella 4.2.V NTC 08

Valori d calcolo:

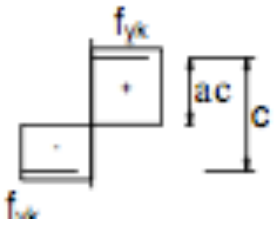
Dati		U.M.	*Descrizione*
ε	0,81	-	*Coeff. di calcolo*
α	0,05	-	*Coeff. di calcolo*
c/t	20,50	-	*Rapporto di calcolo*
36ε/α	600,45	-	*Rapporto di calcolo*

Applicando la formula $\frac{c}{t} \le 36\frac{\varepsilon}{\alpha}$ [66] la verifica risulta $20,50 \le 600,45$, quindi la sezione è di classe 1.

Cosciale

Il cosciale è un profilo rettangolare di dimensioni riportate nella tabella dell'elenco degli elementi strutturali, soggetta a pressoflessione.

Dati		U.M.	*Descrizione*
c	12,00	cm	*Altezza di calcolo*
h=h'	18,00	cm	*Altezza elemento*
t=b'	3,00	cm	*Spessore elemento*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*



$$c = \frac{2}{3}h$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}}$$

$$\alpha = \frac{h-c}{2c}$$

$$\frac{c}{t} \le 36\frac{\varepsilon}{\alpha}$$

Valori d calcolo:

Dati		U.M.	*Descrizione*
ε	0,81	-	*Coeff. di calcolo*
α	0,25	-	*Coeff. di calcolo*
c/t	4,00	-	*Rapporto di calcolo*
36ε/α	117,16	-	*Rapporto di calcolo*

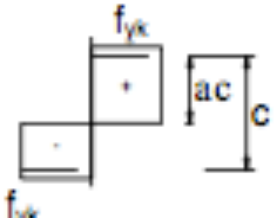
Applicando la formula $\frac{c}{t} \le 36\frac{\varepsilon}{\alpha}$ [67] la verifica risulta $4 \le 117,16$, quindi la sezione è di classe 1.

[66] Tabella 4.2.I NTC 08
[67] Tabella 4.2.I NTC 08

Mensola

La mensola è un profilo rettangolare di dimensione riportate nella tabella dell'elenco degli elementi strutturali, soggetta a pressoflessione.

Dati		U.M.	*Descrizione*
c	18,67	cm	*Altezza di calcolo*
h=B	28,00	cm	*Altezza elemento*
t=S	3,00	cm	*Spessore elemento*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*



$$c = \frac{2}{3}h$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}}$$

$$\alpha = \frac{h-c}{2c}$$

$$\frac{c}{t} \le 36\frac{\varepsilon}{\alpha}$$

Valori d calcolo:

Dati		U.M.	Descrizione
ε	0,81	-	*Coeff. di calcolo*
α	0,25	-	*Coeff. di calcolo*
c/t	6,22	-	*Rapporto di calcolo*
$36\varepsilon/\alpha$	117,16	-	*Rapporto di calcolo*

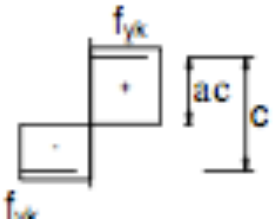
Applicando la formula $\frac{c}{t} \le 36\frac{\varepsilon}{\alpha}$ [68] la verifica risulta $6,22 \le 117,16$, quindi la sezione è di classe 1.

Irrigidimento

L'irrigidimento è un profilo rettangolare di dimensione riportate nella tabella dell'elenco degli elementi strutturali, soggetta a flessione.

Dati		U.M.	*Descrizione*
c	11,33	cm	*Altezza di calcolo*
h=h''	17,00	cm	*Altezza elemento*
t=b''	3,00	cm	*Spessore elemento*
	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*

[68] Tab.ella 4.2.I NTC 08



$$c = \frac{2}{3}h$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}}$$

$$\alpha = \frac{h-c}{2c}$$

$$\frac{c}{t} \le 36\frac{\varepsilon}{\alpha}$$

Valori d calcolo:

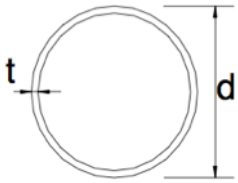
Dati		U.M.	*Descrizione*
ε	0,81	-	*Coeff. di calcolo*
α	0,25	-	*Coeff. di calcolo*
c/t	3,78	-	*Rapporto di calcolo*
36ε/α	117,16	-	*Rapporto di calcolo*

Applicando la form. $\frac{c}{t} \le 36\frac{\varepsilon}{\alpha}$ [69] la verifica risulta $3,78 \le 117,16$,quindi la sezione è di classe 1.

Pilastro

Il pilastro è un profilo circolare cavo di dimensione riportate nella tabella dell'elenco degli elementi strutturali, soggetta a pressoflessione.

Dati		U.M.	Descrizione
d	40,00	cm	*Diametro elemento*
t=s	4,00	cm	*Spessore elemento*
	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*



$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}}$$

$$\frac{d}{t} \le 50\varepsilon^2$$

Valori d calcolo:

Dati		U.M.	Descrizione
ε	0,81	-	*Coeff. di calcolo*
d/t	10,00	-	*Rapporto di calcolo*
50 ε^2	33,10	-	*Coeff. di calcolo*

Applicando la formula $\frac{d}{t} \le 50\varepsilon^2$ [70] la verifica risulta $10 \le 33,10$, quindi la sezione è di classe 1

[69] Tabella 4.2.I NTC 08

6.2.4.2. Verifiche di resistenza - Scala

Con il solo scopo di rendere le verifiche proposte in seguito di più semplice comprensione di propone in figura sottostante l'orientamento degli assi e delle azioni interne:

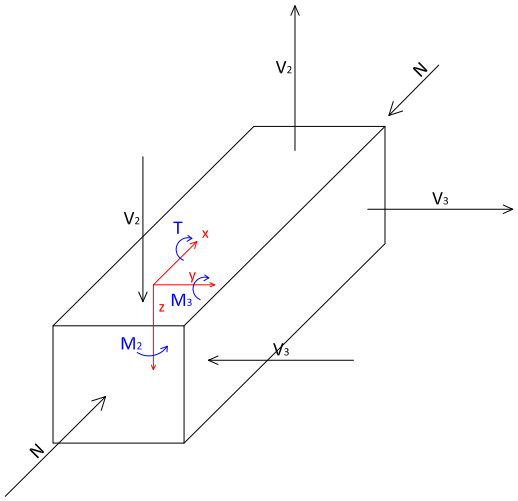


Figura 6.20 – Orientamento degli assi e delle forze agenti sulle sezioni

Trave

Pressoflessione biassiale

Si propone di seguito la verifica della trave per quello che riguarda la presso flessione biassiale alla quale è soggetta. I valori di azioni agenti sono i seguenti:

Valori Agenti			
Caso 1			
M_{3Ed}	57,17	kNm	*Momento agente attorno all'asse y*
M_{2Ed}	3,95	kNm	*Momento agente attorno all'asse z*
N_{Ed}	17,69	kN	*Compressione agente*
Caso 2			
M_{3Ed}	8,10	kNm	*Momento agente attorno all'asse y*
M_{2Ed}	7,40	kNm	*Momento agente attorno all'asse z*
N_{Ed}	2,25	kN	*Compressione agente*

I valori di calcolo sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
b	8	cm	*Larghezza della sezione della trave*

[70] Tabella 4.2.I NTC 08

h	18	cm	*Altezza sezione della trave*
sp	0,8	cm	*Spessore della sezione della trave*
b_{int}	6,4	cm	*Larghezza della sezione interana della trave*
h_{int}	16,4	cm	*Altezza sezione interna della trave*
$W_{pl,y}$	255916	mm^3	*Modulo plastico resistente lungo asse y*
$W_{pl,z}$	153651	mm^3	*Modulo plastico resistente lungo asse z*
A	3904	mm^3	*Area della sezione*
γ_{M0}	1,05	-	*Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4*

$$\frac{M_{3Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{2Ed}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \le 1$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{MO}}$$

$$W_{pl} = 1,5\frac{1}{6h}\left[bh^3 - \left(b_{\text{int}} h_{\text{int}}^3\right)\right]$$

$$N_{Rd} = \frac{Af_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Formule utilizzate

Le formule proposte conducono ai seguenti valori resistenti:

Valori Resistenti			
$M_{y,Rd}$	86,52	kNm	*Momento resistente attorno all'asse y*
$M_{z,Rd}$	51,94	kNm	*Momento resistente attorno all'asse z*
N_{Rd}	1319,92	kN	*Compressione agente*

La verifica è condotta tramite la formula: $\frac{M_{3Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{2Ed}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \le 1$ [71]

La verifica nel caso 1 risulta $0,75 \le 1$ quindi soddisfatta.

La verifica nel caso 2 risulta $0,23 \le 1$ quindi soddisfatta.

Taglio

Si propone di seguito la verifica della trave per quello che riguarda l'azione di taglio massimo a cui è soggetta. I valori di azioni agenti sono i seguenti:

Valori Agenti			
V_{Ed}	56,95	kN	*Taglio agente*
$T_{Ed,trave}$	0,96	kNm	*Torsione agente nella trave*
$T_{Ed,ring}$	3,60	kNm	*Torsione agente dovuta alla spinta sul parapetto*

[71] Circolare 2.02.2009 n. 617 C4.2.126

T_{Ed}	4,56	kNm	*Torsione agente*
τ_{Ed}	23,03	N/mm^2	*Tensione tangenziale massima*

Il valore di azione agente è frutto della somma dell'azione risultante dai carichi applicati direttamente sulla trave e dall'azione che le persone possono compiere appoggiandosi al parapetto. Tale azione è normata al capito 3.1.4.1 delle NTC 08 e viene valutata come di seguito riportato:

Spinta sul parapetto			
H_k	2,00	kN/m	*Carico orizzontale Tab. 3.1.II NTC 08*
L_{ring}	1,50	m	*Lunghezza della ringhiera*
h_{ring}	1,20	m	*Quota di applizazione del carico par 3.1.4.1 NTC 08*
$T_{Ed,ring}$	3,60	kNm	*Torsione agente dovuta alla spinta sul parapetto*

I valori di calcolo sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
b	8	cm	*Larghezza della sezione della trave*
h	18	cm	*Altezza sezione della trave*
sp	0,8	cm	*Spessore della sezione della trave*
A	3904	mm^2	*Area della sezione*
A_{vb}	1201	mm^2	*Area reagente per carico parallelo alla base del profilo*
A_{vh}	2702	mm^2	*Area reagente per carico parallelo all'altezza del profilo*
A_{veff}	1201	mm^2	*Area reagente minima*
A_{media}	12384	mm^2	*Area reagente per la torsione*
γ_{M0}	1,05	-	*Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4*

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\tau}} \le 1$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{veff} f_{yk}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

$$A_{vh} = \frac{Ah}{b+h}$$

$$A_{vb} = \frac{Ab}{b+h}$$

$$A_{media} = (b - sp)(h - sp)$$

$$V_{Rd,\tau} = \left[1 - \frac{\tau_{Ed}}{f_{yk}/\sqrt{3}\gamma_{M0}}\right] V_{Rd}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{T}{2A_{media}sp}$$

Formule utilizzate

Le formule proposte conducono ai seguenti valori resistenti:

Valori Resistenti			
$V_{rd,\tau}$	206,82	kN	*Taglio resistente ridotto per effetto della torsione*
V_{rd}	234,48	kN	*Taglio resistente*
Coeff.	0,88	-	*Coeff. riduttivo della torsione*

La verifica $\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\tau}} \leq 1$ [72] risulta $0,28 \leq 1$ quindi soddisfatta.

In osservanza a quanto riportato al paragrafo 4.2.31 NTC 08 essendo il taglio di calcolo inferiore a metà della resistenza di calcolo a taglio non è necessario effettuare verifiche di instabilità a taglio .

Torsione

Si propone di seguito la verifica di torsione della trave. I valori di azioni agenti sono i seguenti:

Valori Agenti			
$T_{Ed,trave}$	6,21	kNm	*Momento torcente agente trave*
$T_{Ed,ring}$	3,60	kNm	*Torsione agente dovuta alla spinta sul parapetto*
T_{Ed}	9,82	kNm	*Torsione agente*

Il valore di azione agente è frutto della somma dell'azione risultante dai carichi applicati direttamente sulla trave e dall'azione che le persone possono compiere appoggiandosi al parapetto. Tale azione è normata al capito 3.1.4.1 delle NTC 08 e viene valutata come di precendentemente riportato e vale 3,60 kNm.

I valori di calcolo sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
b	8	cm	*Larghezza della sezione della trave*
h	18	cm	*Altezza sezione della trave*
sp	0,8	cm	*Spessore della sezione della trave*
A_{media}	12384	mm^2	*Area reagente per la torsione*
$W_{pl,t}$	297216	mm^3	*Modulo plastico torsionale resistente trave*
W_t	198144	mm^3	*Modulo elastico torsionale resistente trave*
γ_{M0}	1,05		*Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4*

[72] Formula 4.2.17 NTC 08

$$\frac{T_{Ed}}{M_{t,Rd}} \leq 1$$
$$w_{pl,t} = 1,5 w_t$$
$$W_t = 2 A_{media} sp$$
$$A_{media} = (b - sp)(h - sp)$$
$$M_{t,Rd} = \frac{W_{pl,t} f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Formule utilizzate

Le formule proposte conducono ai seguenti valori resistenti:

Valori Resistenti			
$M_{t,Rd}$	100,49	kNm	*Momento torcente resistente*

La verifica $\frac{T_{Ed}}{M_{t,Rd}} \leq 1$ [73] risulta $0,10 \leq 1$ quindi soddisfatta.

Cosciale

Pressoflessione biassiale

Si propone di seguito la verifica del cosciale per quello che riguarda la presso flessione biassiale alla quale è soggetta. I valori di azioni agenti sono i seguenti:

Valori Agenti			
Caso 1			
M_{3Ed}	10,70	kNm	*Momento agente attorno all'asse y*
M_{2Ed}	0,19	kNm	*Momento agente attorno all'asse z*
N_{Ed}	12,43	kN	*Compressione agente*
Caso 2			
M_{3Ed}	11,46	kNm	*Momento agente attorno all'asse y*
M_{2Ed}	0,08	kNm	*Momento agente attorno all'asse z*
N_{Ed}	12,31	kN	*Compressione agente*

I valori di calcolo sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
b'	3	cm	*Larghezza della sezione della trave*
h'	18	cm	*Altezza sezione della trave*
$W_{pl,y}$	243000	mm^3	*Modulo plastico resistente lungo asse y*

[73] Formula 4.2.29 NTC 08

$W_{pl,z}$	40500	mm^3	*Modulo plastico resistente lungo asse z*
A	5400	mm^2	*Area della sezione*
γ_{M0}	1,05	-	*Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4*

$$\frac{M_{3Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{2Ed}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \le 1$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{MO}}$$

$$W_{pl} = 1,5\frac{bh^2}{6}$$

$$N_{Rd} = \frac{Af_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Formule utilizzate

Le formule proposte conducono ai seguenti valori resistenti:

Valori Resistenti			
$M_{y,Rd}$	82,16	kNm	*Momento resistente attorno all'asse y*
$M_{z,Rd}$	13,69	kNm	*Momento resistente attorno all'asse z*
N_{Rd}	1825,71	kN	*Compressione agente*

La verifica è condotta tramite la formula: $\frac{M_{3Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{2Ed}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \le 1$ [74]

La verifica nel caso 1 risulta $0,15 \le 1$ quindi soddisfatta.

La verifica nel caso 2 risulta $0,15 \le 1$ quindi soddisfatta.

Taglio

Si propone di seguito la verifica del cosciale per quello che riguarda l'azione di taglio massimo a cui è soggetta. I valori di azioni agenti sono i seguenti:

Valori Agenti			
Caso			
V_{Ed}	92,82	kN	*Taglio agente*
$T_{Ed,trave}$	1,27	kNm	*Torsione agente nella trave*
$T_{Ed,ring}$	3,60	kNm	*Torsione agente dovuta alla spinta sul parapetto*
T_{Ed}	4,87	kNm	*Torsione agente*
τ_{Ed}	99,30	N/mm^2	*Tensione tangenziale massima*

[74] Circolare 2.02.2009 n. 617 C4.2.126

Il valore di azione agente è frutto della somma dell'azione risultante dai carichi applicati direttamente sul cosciale e dall'azione che le persone possono compiere appoggiandosi al parapetto. Tale azione è normata al capito 3.1.4.1 delle NTC 08 e viene valutata come di precendentemente riportato e vale 3,60 kNm.

I valori di calcolo sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
b'	3	cm	*Larghezza della sezione della trave*
h'	18	cm	*Altezza sezione della trave*
A	5400	mm^2	*Area della sezione*
W_t	49091	mm^3	*Modulo elastico torsionale resistente trave*
γ_{M0}	1,05	-	*Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4*

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\tau}} \le 1$$

$$V_{Rd} = \frac{Af_{yk}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

$$A_v = A$$

$$V_{Rd,\tau} = V_{Rd}\sqrt{1 - \frac{\tau_{Ed}}{1,25 f_{yk}/\sqrt{3}\gamma_{M0}}}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{T_{Ed}}{W_t}$$

$$W_t = \frac{hb^2}{3 + 1,8\frac{b}{h}}$$

Formule utilizzate

Le formule proposte conducono ai seguenti valori resistenti:

Valori Resistenti			
$V_{rd,\tau}$	811,73	kN	*Taglio resistente ridotto per effetto della torsione*
V_{rd}	1054,08	kN	*Taglio resistente*
Coeff.	0,77	-	*Coeff. riduttivo della torsione*

La verifica $\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\tau}} \le 1$ risulta $0,11 \le 1$[75] quindi soddisfatta.

[75] Formula 4.2.17 NTC 08

In osservanza a quanto riportato al paragrafo 4.2.31 NTC 08 essendo il taglio di calcolo inferiore a metà della resistenza di calcolo a taglio non è necessario effettuare verifiche di instabilità a taglio .

Torsione

Si propone di seguito la verifica di torsione del cosciale. I valori di azioni agenti sono i seguenti:

Valori Agenti			
$T_{Ed,trave}$	1,27	kNm	*Momento torcente agente trave*
$T_{Ed,ring}$	3,60	kNm	*Torsione agente dovuta alla spinta sul parapetto*
T_{Ed}	4,87	kNm	*Torsione agente*

Il valore di azione agente è frutto della somma dell'azione risultante dai carichi applicati direttamente sulla trave e dall'azione che le persone possono compiere appoggiandosi al parapetto. Tale azione è normata al capito 3.1.4.1 delle NTC 08 e viene valutata come di precendentemente riportato e vale 3,60 kNm.

I valori di calcolo sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
b'	3	cm	*Larghezza della sezione della trave*
h'	18	cm	*Altezza sezione della trave*
$W_{pl,t}$	73636	mm^3	*Modulo plastico torsionale resistente trave*
W_t	49090	mm^3	*Modulo elastico torsionale resistente trave*
γ_{M0}	1,05	-	*Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4*

$$\frac{T_{Ed}}{M_{t,Rd}} \le 1$$

$$w_{pl,t} = 1,5 w_t$$

$$W_t = \frac{hb^2}{3 + 1,8\frac{b}{h}}$$

$$A_{media} = (b - sp)(h - sp)$$

$$M_{t,Rd} = \frac{W_{pl,t} f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Formule utilizzate

Le formule proposte conducono ai seguenti valori resistenti:

Valori Resistenti			
$M_{t,Rd}$	24,90	kNm	*Momento torcente resistente*

La verifica $\frac{T_{Ed}}{M_{t,Rd}} \leq 1$ [76] risulta $0,25 \leq 1$ quindi soddisfatta.

Mensola

Pressoflessione biassiale

Si propone di seguito la verifica della mensola per quello che riguarda la presso flessione biassiale alla quale è soggetta. I valori di azioni agenti sono i seguenti:

Valori Agenti			
Caso 1			
M_{3Ed}	25,62	kNm	*Momento agente attorno all'asse y*
M_{2Ed}	10,42	kNm	*Momento agente attorno all'asse z*
N_{Ed}	59,03	kN	*Compressione agente*
Caso 2			
M_{3Ed}	114,86	kNm	*Momento agente attorno all'asse y*
M_{2Ed}	0,76	kNm	*Momento agente attorno all'asse z*
N_{Ed}	24,49	kN	*Compressione agente*
Caso 3			
M_{3Ed}	15,42	kNm	*Momento agente attorno all'asse y*
M_{2Ed}	1,68	kNm	*Momento agente attorno all'asse z*
N_{Ed}	115,41	kN	*Compressione agente*

I valori di calcolo sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
S	3	cm	*Larghezza della sezione della trave*
B	28	cm	*Altezza sezione della trave*
$W_{pl,y}$	588000	mm^3	*Modulo plastico resistente lungo asse y*
$W_{pl,z}$	63000	mm^3	*Modulo plastico resistente lungo asse z*
A	8400	mm^2	*Area della sezione*
γ_{M0}	1,05	-	*Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4*

[76] Formula 4.2.29 NTC 08

$$\frac{M_{3Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{2Ed}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \le 1$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{MO}}$$

$$W_{pl} = 1,5\frac{bh^2}{6}$$

$$N_{Rd} = \frac{Af_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Formule utilizzate

Le formule proposte conducono ai seguenti valori resistenti:

Valori Resistenti			
$M_{y,Rd}$	198,80	kNm	*Momento resistente attorno all'asse y*
$M_{z,Rd}$	21,30	kNm	*Momento resistente attorno all'asse z*
N_{Rd}	2840,00	kN	*Compressione agente*

La verifica è condotta tramite la formula: $\frac{M_{3Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{2Ed}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \le 1$ [77]

La verifica nel caso 1 risulta $0,64 \le 1$ quindi soddisfatta.

La verifica nel caso 2 risulta $0,62 \le 1$ quindi soddisfatta.

La verifica nel caso 3 risulta $0,20 \le 1$ quindi soddisfatta.

Taglio.

Si propone di seguito la verifica della mensola per quello che riguarda l'azione di taglio massimo a cui è soggetta. I valori di azioni agenti sono i seguenti:

Valori Agenti			
Caso			
V_{Ed}	129,45	kN	*Taglio agente*
T_{Ed}	0,34	kNm	*Torsione agente*
τ_{Ed}	1,59	N/mm^2	*Tensione tangenziale massima*

I valori di calcolo sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
S	3	cm	*Larghezza della sezione della trave*
B	28	cm	*Altezza sezione della trave*
A	8400	mm^2	*Area della sezione*

[77] Circolare 2.02.2009 n.617 C4.2.126

W_t	78926	mm^3	*Modulo elastico torsionale resistente trave*
γ_{M0}	1,05	-	*Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4*

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\tau}} \le 1$$

$$V_{Rd} = \frac{Af_{yk}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

$$A_v = A$$

$$V_{Rd,\tau} = V_{Rd}\sqrt{1 - \frac{\tau_{Ed}}{1,25 f_{yk}/\sqrt{3}\gamma_{M0}}}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{T_{Ed}}{W_t}$$

$$W_t = \frac{hb^2}{3 + 1,8\frac{b}{h}}$$

Formule utilizzate

Le formule proposte conducono ai seguenti valori resistenti:

Valori Resistenti			
$V_{rd,\tau}$	1615,33	kN	*Taglio resistente ridotto per effetto della torsione*
V_{rd}	1639,67	kN	*Taglio resistente*
Coeff.	0,99	-	*Coeff. riduttivo della torsione*

La verifica $\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\tau}} \le 1$ risulta $0,04 \le 1$[78] quindi soddisfatta.

In osservanza a quanto riportato al paragrafo 4.2.31 NTC 08 essendo il taglio di calcolo inferiore a metà della resistenza di calcolo a taglio non è necessario effettuare verifiche di instabilità a taglio.

Irrigidimenti

Pressoflessione biassiale

Si propone di seguito la verifica degli irrigidimenti per quello che riguarda la presso flessione biassiale alla quale è soggetta. I valori di azioni agenti sono i seguenti:

Valori Agenti			
M_{3Ed}	6,93	kNm	*Momento agente attorno all'asse y*
M_{2Ed}	0,02	kNm	*Momento agente attorno all'asse z*
N_{Ed}	4,60	kN	*Compressione agente*

I valori di calcolo sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*

[78] Formula 4.2.17 NTC 08

h''	17	cm	Altezza dell'elemento
b''	3	cm	Base dell'elemento
$W_{pl,y}$	38250	mm^3	*Modulo plastico resistente lungo asse y*
$W_{pl,z}$	216750	mm^3	*Modulo plastico resistente lungo asse z*
A	5100	mm^2	*Area della sezione*
γ_{M0}	1,05	-	*Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4*

$$\frac{M_{3Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{2Ed}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \le 1$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{MO}}$$

$$W_{pl} = 1,5\frac{bh^2}{6}$$

$$N_{Rd} = \frac{Af_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Formule utilizzate

Le formule proposte conducono ai seguenti valori resistenti:

Valori Resistenti			
$M_{y,Rd}$	12,93	kNm	*Momento resistente attorno all'asse y*
$M_{z,Rd}$	73,28	kNm	*Momento resistente attorno all'asse z*
N_{Rd}	1724,29	kN	*Compressione agente*

La verifica è condotta tramite la formula: $\frac{M_{3Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{2Ed}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \le 1$[79] e risulta $0,54 \le 1$ quindi soddisfatta.

Taglio

Si propone di seguito la verifica degli irrigidimenti per quello che riguarda l'azione di taglio massimo a cui è soggetta. I valori di azioni agenti sono i seguenti:

Valori Agenti			
V_{Ed}	17,38	kN	*Taglio agente*
T_{Ed}	0,34	kNm	*Torsione agente*
τ_{Ed}	5,11	N/mm^2	*Tensione tangenziale massima*

[79] Circolare 2.02.2009 n.617 C4.2.126

I valori di calcolo sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
h''	17	cm	Altezza dell'elemento
b''	3	cm	Base dell'elemento
A	5100	mm^2	*Area della sezione*
W_t	65682	mm^3	*Modulo elastico torsionale resistente trave*
γ_{M0}	1,05	-	*Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4*

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\tau}} \le 1$$

$$V_{Rd} = \frac{Af_{yk}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

$$A_v = A$$

$$V_{Rd,\tau} = V_{Rd}\sqrt{1-\frac{\tau_{Ed}}{1,25 f_{yk}/\sqrt{3}\gamma_{M0}}}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{T_{Ed}}{W_t}$$

$$W_t = \frac{hb^2}{3+1,8\frac{b}{h}}$$

Formule utilizzate

Le formule proposte conducono ai seguenti valori resistenti:

Valori Resistenti			
$V_{rd,t}$	985,04	kN	*Taglio resistente ridotto per effetto della torsione*
V_{rd}	995,52	kN	*Taglio resistente*
Coeff.	0,989	-	*Coeff. riduttivo della torsione*

La verifica $\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\tau}} \le 1$ risulta $0,02 \le 1$[80] quindi soddisfatta.

In osservanza a quanto riportato al paragrafo 4.2.31 NTC 08 essendo il taglio di calcolo inferiore a metà della resistenza di calcolo a taglio non è necessario effettuare verifiche di instabilità a taglio .

[80] Formula 4.2.17 NTC 08

Pilastro

Pressoflessione biassiale

Si propone di seguito la verifica del pilastro per quello che riguarda la presso flessione biassiale alla quale è soggetta.

I valori di azioni agenti sono i seguenti:

Valori Agenti			
Caso 1			
M_{3Ed}	89,93	kNm	*Momento agente attorno all'asse y*
M_{2Ed}	34,37	kNm	*Momento agente attorno all'asse z*
N_{Ed}	899,39	kN	*Compressione agente*
Caso 2			
M_{3Ed}	57,76	kNm	*Momento agente attorno all'asse y*
M_{2Ed}	259,83	Nm	*Momento agente attorno all'asse z*
N_{Ed}	507,26	kN	*Compressione agente*
Caso 3			
M_{3Ed}	142,51	Nm	*Momento agente attorno all'asse y*
M_{2Ed}	65,13	Nm	*Momento agente attorno all'asse z*
N_{Ed}	473,98	kN	*Compressione agente*

I valori di calcolo sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
r	20	cm	*Raggio esterno*
s	4	cm	*Spessore*
D	40	cm	*Diametro esterno*
d	32	cm	*Diametro interno*
W_{pl}	5564389	mm^3	*Modulo plastico resistente*
A	45239	mm^2	*Area della sezione*
γ_{M0}	1,05	-	*Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4*

$$\frac{M_{3Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{2Ed}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \le 1$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{MO}}$$

$$W_{pl} = 1{,}5\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$$

$$N_{Rd} = \frac{A f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$$A = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

Formule utilizzate

Le formule proposte conducono ai seguenti valori resistenti:

Valori Resistenti			
$M_{y,Rd}$	1881,29	kNm	*Momento resistente attorno all'asse y*
$M_{z,Rd}$	1881,29	kNm	*Momento resistente attorno all'asse z*
N_{Rd}	15295,07	kN	*Compressione agente*

La verifica è condotta tramite la formula: $\frac{M_{3Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{2Ed}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \le 1$ [81]

La verifica nel caso 1 risulta $0{,}12 \le 1$ quindi soddisfatta.

La verifica nel caso 2 risulta $0{,}20 \le 1$ quindi soddisfatta.

La verifica nel caso 3 risulta $0{,}14 \le 1$ quindi soddisfatta.

Taglio

Si propone di seguito la verifica degli irrigidimenti per quello che riguarda l'azione di taglio massimo a cui è soggetta. I valori di azioni agenti sono i seguenti:

Valori Agenti			
Caso			
V_{Ed}	68,54	kN	*Taglio agente*
T_{Ed}	37,91	kNm	*Torsione agente nella trave*
τ_{Ed}	4,66	N/mm^2	*Tensione tangenziale massima*

I valori di calcolo sono:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
r	20	cm	*Raggio esterno*

[81] Circolare 2.02.2009 n.617 C4.2.126

s	4	cm	*Spessore*
D	40	cm	*Diametro esterno*
d	32	cm	*Diametro interno*
A	45239	mm^2	*Area della sezione*
A_v	28800	mm^2	*Area reagente minima*
A_{media}	101787	mm^2	*Area reagente per la torsione*
γ_{M0}	1,05	-	*Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4*

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\tau}} \le 1 \qquad Av = \frac{2A}{\pi}$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v f_{yk}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}} \qquad V_{Rd,\tau} = \left[1 - \frac{\tau_{Ed}}{f_{yk}/\sqrt{3}\gamma_{M0}}\right] V_{Rd}$$

$$A_{media} = \frac{\pi(D-s)^2}{4} \qquad \tau_{Ed} = \frac{T}{2A_{media}sp}$$

Formule utilizzate

Le formule proposte conducono ai seguenti valori resistenti:

Valori Resistenti			
$V_{rd,\tau}$	5487,68	kN	*Taglio resistente ridotto per effetto della torsione*
V_{rd}	5621,74	kN	*Taglio resistente*
Coeff.	0,98	-	*Coeff. Riduttivo della torsione*

La verifica $\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\tau}} \le 1$[82] risulta $0{,}01 \le 1$ quindi soddisfatta.

In osservanza a quanto riportato al paragrafo 4.2.31 NTC 08 essendo il taglio di calcolo inferiore a metà della resistenza di calcolo a taglio non è necessario effettuare verifiche di instabilità a taglio.

6.2.4.3. Verifiche di instabilità - Scala

Le verifiche di stabilità sono state condotte su tutti gli elementi soggetti a presso flessione biassiale di geometria snella. Sono stati analizzati trave, cosciale, mensola e pilastro.

Le verifiche di instabilità sono state eseguite con riferimento al Metodo A riportato al capitolo C4.2.4.1.3.3.1 della Circolare 2.02.09, n. 617.

[82] Formula 4.2.17 NTC 08

Le azioni agenti sono quelle che nel capitolo delle verifiche di resistenza è risultato più impegnativo.

Trave

Valori Agenti			
M_{3Ed}	57,77	kNm	*Momento agente attorno all'asse y*
M_{2Ed}	3,95	kNm	*Momento agente attorno all'asse z*
N_{Ed}	17,69	kN	*Compressione agente*

Si riportano di seguito le formule utilizzate e i valori di calcolo.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{f}\cdot\frac{1}{\Phi_{LT}+\sqrt{\Phi_{LT}^2-\beta\lambda_{LT}^2}} \le \begin{cases}1\\ \frac{1}{\lambda_{LT}^2}\cdot\frac{1}{f}\end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5[1+\alpha_{LT}(\lambda_{LT}-\lambda_{LT,0})+\beta\lambda_{LT}^2)$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_{yk}}{M_{cr}}}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_z}{(\beta_{cr} l)^2}$$

$$W_y = \frac{1}{6h}\left[bh^3-\left(b_{int}h_{int}^3\right)\right]$$

$$I_z = \frac{1}{12}(hb^3-h_{int}b_{int}^3)$$

$$I_y = \frac{1}{12}(bh^3-b_{int}h_{int}^3)$$

$$I_t = \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{n} b_i h_i^3$$

$$f = 1-0,5(1-k_c)[1-2(\lambda_{LT}-0,8)^2]$$

$$M_{cr} = \psi\frac{\pi}{l_{cr}}\sqrt{EI_y GI_T}\sqrt{1+\left(\frac{\pi}{l_{cr}}\right)^2\frac{EI_\omega}{EI_T}}$$

$$\psi = 1,75-1,05\frac{M_B}{M_A}+0,3\left(\frac{M_B}{M_A}\right)^2$$

Formule utilizzate

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
E	210000	N/mm^2	*Modulo elastico acciaio*
G	79800	N/mm^2	*Modulo elasticità tangenziale acciaio*
$\chi_{min}=\chi_{LT}$	0,95	-	*Fattore di riduzione per l'instabilità flesso- torsionale*
f	0,98	-	*Fattore correttivo per la reale distribuzione del momento flettente*
Φ_{LT}	0,58	-	*Fattore correttivo*
λ_{LT}	0,30	-	*Coefficiente di snellezza adimensionale*
$\lambda_{LT,0}$	0,20	-	*Coefficiente di snellezza adimensionale caratteristico*
β	1,00	-	*Fattore correttivo*
α_{LT}	0,76	-	*Fattore di imperfezione Tab. 4.2.VI-VII NTC 08*
k_c	0,90	-	*Coefficiente correttivo del momento flettente Tab. 4.2.VIII NTC 08*
b	8,00	cm	*Spessore della sezione*
h	18,00	cm	*Altezza della sezione sezione*
sp	0,80	cm	*Spessore dell'elemento*
b_{int}	6,40	cm	*Larghezza della sezione interana della trave*

h_{int}	16,40	cm	*Altezza sezione interna della trave*
L	5,70	m	*Lunghezza sezione*
$L_{cr,y}$	0,62	m	*Lunghezza di libera inflessione lungo y*
$L_{cr,z}$	0,30	m	*Lunghezza di libera inflessione lungo z*
I_y	409,74	cm^4	*Momento di inerzia attorno all'asse y*
I_z	8,33	cm^4	*Momento di inerzia attorno all'asse z*
I_T	25,59	cm^4	*Momento di inerzia torcente*
W_y	255,92	cm^3	*Modulo elastico resistente lungo y*
W_z	153,65	cm^3	*Modulo elastico resistente lungo z*
$N_{cr,y}$	88369,08	kN	*Carico critico lungo asse y*
$N_{cr,z}$	1414442,71	kN	*Carico critico lungo asse z*
β_{cr}	0,50	-	*Coeff. incastro carrello del carico critico*
M_{cr}	1032,03	kNm	*Momento critico di instabilità torsionale*
ψ	1,39	-	*Coefficiente di distribuzione del momento flettente*
M_A	57,17	kNm	*Momento agente alle estremità con $\|M_A\|>\|M_B\|$*
M_B	21,93	kNm	*Momento agente alle estremità con $\|M_A\|>\|M_B\|$*
γ_{M1}	1,05	-	*Resistenza all'instabilità delle membrature*
A	39,04	cm^2	*Area della sezione*

Da notare che lunghezza di libera inflessione nella direzione y è la distanza che intercorre tra le mensole su cui la trave è appoggiata. La lunghezza di libera inflessione lungo z è la distanza tra due alzate consecutive.

Applicando la formula $\frac{N_{Ad}\gamma_{M1}}{\chi_{LT} f_{yk} A} + \frac{M_{y,Ad}\gamma_{M1}}{f_{yk} W_y \left(1 - \frac{N_{Ad}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{z,Ad}\gamma_{M1}}{f_{yk} W_z \left(1 - \frac{N_{Ad}}{N_{cr,z}}\right)} \le 1$,[83] la verifica risulta

$0,77 \le 1$ quindi soddisfatta.

[83] Circolare 2.02.2009 n. 617 Formula Metodo A - C4.2.4.1.3.3.1

Cosciale

Valori Agenti			
M_{3Ed}	11,46	kNm	*Momento agente attorno all'asse y*
M_{2Ed}	0,08	kNm	*Momento agente attorno all'asse z*
N_{Ed}	12,31	kN	*Compressione agente*

Si riportano di seguito le formule utilizzate e i valori di calcolo.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{f}\cdot\frac{1}{\Phi_{LT}+\sqrt{\Phi_{LT}^2-\beta\lambda_{LT}^2}} \le \begin{cases}1\\ \frac{1}{\lambda_{LT}^2}\cdot\frac{1}{f}\end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5[1+\alpha_{LT}(\lambda_{LT}-\lambda_{LT,0})+\beta\lambda_{LT}^2)$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_{yk}}{M_{cr}}}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_z}{(\beta_{cr} l)^2}$$

$$W_y = \frac{1}{6}bh^2$$

$$I_z = \frac{hb^3}{12}$$

$$I_y = \frac{bh^3}{12}$$

$$I_t = \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{n} b_i h_i^3$$

$$f = 1-0,5(1-k_c)[1-2(\lambda_{LT}-0,8)^2]$$

$$M_{cr} = \psi\frac{\pi}{l_{cr}}\sqrt{EI_y GI_T}\sqrt{1+\left(\frac{\pi}{l_{cr}}\right)^2\frac{EI_\omega}{EI_T}}$$

$$\psi = 1,75-1,05\frac{M_B}{M_A}+0,3\left(\frac{M_B}{M_A}\right)^2$$

Formule utilizzate

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
E	210000	N/mm^2	*Modulo elastico acciaio*
G	79800	N/mm^2	*Modulo elasticità tangenziale acciaio*
$\chi_{min}=\chi_{LT}$	0,90	-	*Fattore di riduzione per l'instabilità flesso- torsionale*
f	0,97	-	*Fattore correttivo per la reale distribuzione del momento flettente*
Φ_{LT}	0,63	-	*Fattore correttivo*
λ_{LT}	0,37	-	*Coefficiente di snellezza adimensionale*
$\lambda_{LT,0}$	0,20	-	*Coefficiente di snellezza adimensionale caratteristico*
β	1,00	-	*Fattore correttivo*
α_{LT}	0,76	-	*Fattore di imperfezione Tab. 4.2.VI-VII NTC 08*
k_c	0,90	-	*Coefficiente correttivo del momento flettente Tab. 4.2.VIII NTC 08*
b	3,00	cm	*Spessore della sezione*
h	18,00	cm	*Altezza della sezione sezione*
L	4,64	m	*Lunghezza sezione*
$L_{cr,y}$	4,64	m	*Lunghezza di libera inflessione lungo y*
$L_{cr,z}$	0,30	m	*Lunghezza di libera inflessione lungo z*
I_y	40,50	cm^4	*Momento di inerzia attorno all'asse y*
I_z	162,00	cm^4	*Momento di inerzia attorno all'asse z*

I_T	16,20	cm^4	*Momento di inerzia torcente*
W_y	162,00	cm^3	*Modulo elastico resistente lungo y*
W_z	27,00	cm^3	*Modulo elastico resistente lungo z*
$N_{cr,y}$	155,95	kN	*Carico critico lungo asse y*
$N_{cr,z}$	1343055,77	kN	*Carico critico lungo asse z*
β_{cr}	0,50	-	*Coeff. incastro carrello del carico critico*
M_{cr}	427,19	kNm	*Momento critico di instabilità torsionale*
ψ	1,00	-	*Coefficiente di distribuzione del momento flettente*
M_A	11,45	kNm	*Momento agente alle estremità con $\|M_A\|>\|M_B\|$*
M_B	11,38	kNm	*Momento agente alle estremità con $\|M_A\|>\|M_B\|$*
γ_{M1}	1,05	-	*Resistenza all'instabilità delle membrature*
A	54	mm^2	*Area della sezione*

Da notare che lunghezza di libera inflessione nella direzione y è la distanza che intercorre tra le mensole su cui la trave è appoggiata. La lunghezza di libera inflessione lungo z è la distanza tra due alzate consecutive.

Applicando la formula $\frac{N_{Ad}\gamma_{M1}}{\chi_{LT} f_{yk} A} + \frac{M_{y,Ad}\gamma_{M1}}{f_{yk} W_y \left(1 - \frac{N_{Ad}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{z,Ad}\gamma_{M1}}{f_{yk} W_z \left(1 - \frac{N_{Ad}}{N_{cr,z}}\right)} \le 1$,[84] la verifica risulta $0,24 \le 1$ quindi soddisfatta.

Mensola

Valori Agenti			
M_{3Ed}	25,62	kNm	*Momento agente attorno all'asse y*
M_{2Ed}	10,42	kNm	*Momento agente attorno all'asse z*
N_{Ed}	59,03	kN	*Compressione agente*

Si riportano di seguito le formule utilizzate e i valori di calcolo.

[84] Circolare 2.02.2009 n. 617 Formula Metodo A - C4.2.4.1.3.3.1

$$\chi_{LT} = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta\lambda_{LT}^2}} \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{1}{\lambda_{LT}^2} \cdot \frac{1}{f} \end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta\lambda_{LT}^2)$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_{yk}}{M_{cr}}}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_z}{(\beta_{cr} l)^2}$$

$$W_y = \frac{1}{6} bh^2$$

$$I_z = \frac{hb^3}{12}$$

$$I_y = \frac{bh^3}{12}$$

$$I_t = \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{n} b_i h_i^3$$

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c)[1 - 2(\lambda_{LT} - 0,8)^2]$$

$$M_{cr} = \psi \frac{\pi}{l_{cr}} \sqrt{EI_y GI_T} \sqrt{1 + \left(\frac{\pi}{l_{cr}}\right)^2 \frac{EI_\omega}{EI_T}}$$

$$\psi = 1,75 - 1,05\frac{M_B}{M_A} + 0,3\left(\frac{M_B}{M_A}\right)^2$$

Formule utilizzate

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
E	210000	N/mm^2	*Modulo elastico acciaio*
G	79800	N/mm^2	*Modulo elasticità tangenziale acciaio*
$\chi_{min}=\chi_{LT}$	1,00	-	*Fattore di riduzione per l'instabilità flesso- torsionale*
f	0,99	-	*Fattore correttivo per la reale distribuzione del momento flettente*
Φ_{LT}	0,51	-	*Fattore correttivo*
λ_{LT}	0,18	-	*Coefficiente di snellezza adimensionale*
$\lambda_{LT,0}$	0,20	-	*Coefficiente di snellezza adimensionale caratteristico*
β	1,00	-	*Fattore correttivo*
α_{LT}	0,76	-	*Fattore di imperfezione Tab. 4.2.VI-VII NTC 08*
k_c	0,90	-	*Coefficiente correttivo del momento flettente Tab. 4.2.VIII NTC 08*
S	3,00	cm	*Spessore della sezione*
B+C	28,00	cm	*Altezza della sezione sezione*
L	1,60	m	*Lunghezza sezione*
$L_{cr,y}$	1,60	m	*Lunghezza di libera inflessione lungo y*
$L_{cr,z}$	0,35	m	*Lunghezza di libera inflessione lungo z*
I_y	63,00	cm^4	*Momento di inerzia attorno all'asse y*
I_z	252,00	cm^4	*Momento di inerzia attorno all'asse z*
I_T	39,20	cm	*Momento di inerzia torcente*
W_y	392,00	cm^3	*Modulo elastico resistente lungo y*
W_z	42,00	cm^3	*Modulo elastico resistente lungo z*
$N_{cr,y}$	2040,23	kN	*Carico critico lungo asse y*
$N_{cr,z}$	3714129,53	kN	*Carico critico lungo asse z*
β_{cr}	0,50	-	*Coeff. incastro carrello del carico critico*

M_{cr}	4254,65	kNm	*Momento critico di instabilità torsionale*
ψ	1,42	-	*Coefficiente di distribuzione del momento flettente*
M_A	25,62	kNm	*Momento agente alle estremità con $\|M_A\|>\|M_B\|$*
M_B	8,84	kNm	*Momento agente alle estremità con $\|M_A\|>\|M_B\|$*
γ_{M1}	1,05	-	*Resistenza all'instabilità delle membrature*
A	84	cm^2	*Area della sezione*

Da notare che lunghezza di libera inflessione nella direzione y è la distanza tra il pilastro e il punto di applicazione del carico proveniente dalla trave. La lunghezza di libera inflessione lungo z è la distanza tra due mensole adiacenti.

Applicando la formula $\frac{N_{Ad}\gamma_{M1}}{\chi_{LT} f_{yk} A} + \frac{M_{y,Ad}\gamma_{M1}}{f_{yk} W_y \left(1-\frac{N_{Ad}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{z,Ad}\gamma_{M1}}{f_{yk} W_z \left(1-\frac{N_{Ad}}{N_{cr,z}}\right)} \le 1$,[85] la verifica risulta

$0,97 \le 1$ quindi soddisfatta.

Pilastro

Valori Agenti			
M_{3Ed}	57,76	kNm	*Momento agente attorno all'asse y*
M_{2Ed}	259,83	kNm	*Momento agente attorno all'asse z*
N_{Ed}	507,26	kN	*Compressione agente*

Si riportano di seguito le formule utilizzate e i valori di calcolo.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{f}\cdot\frac{1}{\Phi_{LT}+\sqrt{\Phi_{LT}^2-\beta\lambda_{LT}^2}} \le \begin{cases} 1 \\ \frac{1}{\lambda_{LT}^2}\cdot\frac{1}{f} \end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5[1+\alpha_{LT}(\lambda_{LT}-\lambda_{LT,0})+\beta\lambda_{LT}^2)$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_{yk}}{M_{cr}}}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_z}{(\beta_{cr} l)^2}$$

$$w = \pi\frac{(D^4-d^4)}{32D}$$

$$I = \pi\frac{(D^4-d^4)}{4}$$

$$I_t = \frac{\pi D s^3}{3}$$

$$A = \pi\frac{(D^2-d^2)}{4}$$

$$f = 1-0,5(1-k_c)[1-2(\lambda_{LT}-0,8)^2]$$

$$M_{cr} = \psi\frac{\pi}{l_{cr}}\sqrt{EI_y GI_T}\sqrt{1+\left(\frac{\pi}{l_{cr}}\right)^2\frac{EI_\omega}{EI_T}}$$

$$\psi = 1,75-1,05\frac{M_B}{M_A}+0,3\left(\frac{M_B}{M_A}\right)^2$$

Formule utilizzate

[85] Circolare 2.02.2009 n. 617 Formula Metodo A - C4.2.4.1.3.3.1

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
E	210000	N/mm^2	*Modulo elastico acciaio*
G	79800	N/mm^2	*Modulo elasticità tangenziale acciaio*
$\chi_{min}=\chi_{LT}$	1,00	-	*Fattore di riduzione per l'instabilità flesso- torsionale*
f	0,97	-	*Fattore correttivo per la reale distribuzione del momento flettente*
Φ_{LT}	0,64	-	*Fattore correttivo*
λ_{LT}	0,38	-	*Coefficiente di snellezza adimensionale*
$\lambda_{LT,0}$	0,20	-	*Coefficiente di snellezza adimensionale caratteristico*
β	1,00	-	*Fattore correttivo*
α_{LT}	0,76	-	*Fattore di imperfezione Tab. 4.2.VI-VII NTC 08*
k_c	0,90	-	*Coefficiente correttivo del momento flettente Tab. 4.2.VIII NTC 08*
r	20	cm	*Raggio esterno*
s	4	cm	*Spessore*
D	40	cm	*Diametro esterno*
d	32	cm	*Diametro interno*
L	34,00	m	*Lunghezza sezione*
$L_{cr,y}$	34,73	m	*Lunghezza di libera inflessione lungo y*
$L_{cr,z}$	34,73	m	*Lunghezza di libera inflessione lungo z*
I_z	2680,83	cm^4	*Momento di inerzia attorno all'asse z*
I_T	370,96	cm^4	*Momento di inerzia torcente*
W_y	3709,59	cm^3	*Modulo elastico resistente lungo y*
$N_{cr,y}$	5320,81	kN	*Carico critico lungo asse y*
$N_{cr,z}$	5320,81	kN	*Carico critico lungo asse z*
β_{cr}	2,00	-	*Coeff. incastro carrello del carico critico*
M_{cr}	9020,02	kNm	*Momento critico di instabilità torsionale*
ψ	1,34	-	*Coefficiente di distribuzione del momento flettente*
M_A	57,76	kNm	*Momento agente alle estremità con $\|M_A\|>\|M_B\|$*
M_B	26,10	kNm	*Momento agente alle estremità con $\|M_A\|>\|M_B\|$*
γ_{M1}	1,05	-	*Resistenza all'instabilità delle membrature*
A	452,39	cm^2	*Area della sezione*

Da notare che lunghezza di libera inflessione nella direzione y è la distanza che intercorre tra le mensole su cui la trave è appoggiata. La lunghezza di libera inflessione lungo z è la distanza tra due alzate consecutive.

Applicando la formula $\frac{N_{Ad}\gamma_{M1}}{\chi_{LT} f_{yk} A} + \frac{M_{y,Ad}\gamma_{M1}}{f_{yk} W_y \left(1 - \frac{N_{Ad}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{z,Ad}\gamma_{M1}}{f_{yk} W_z \left(1 - \frac{N_{Ad}}{N_{cr,z}}\right)} \leq 1$,[86] la verifica risulta $0{,}31 \leq 1$ quindi soddisfatta.

6.2.4.4 Verifica dei collegamenti - Scala

Le verifiche dei collegamenti sono state eseguite per le alzate, le mensole e la corona circolare che, vincolata al pilastro sorregge la mensola.

Irrigidimenti

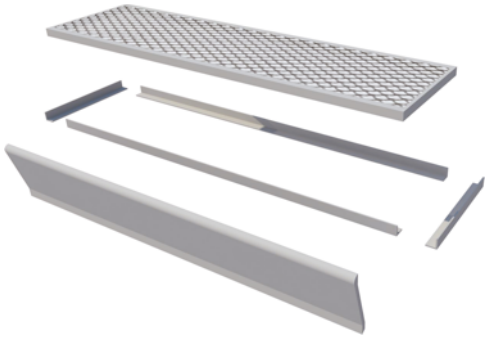


Figura 6.21 - Porta Torre - Esploso dello scalino

Come illustrato in figura l'alzata, che costituisce gli irrigidimenti, è vincolata tramite saldatura alle travi che costituiscono le rampe. Questo elemento, oltre che rappresentare il principale sostegno della pedata, e conseguentemente dei gradini, ha la funzione di garantire la necessaria rigidità alla scala al fine di limitare quelle che sono le deformazioni che la struttura subisce sotto l'effetto dei carichi applicati.

I carichi applicati derivano dagli elementi d'irrigidimento della sommità che, come in precedenza descritto, sono identici alle alzate degli scalini, ma hanno una lunghezza di 160 cm anziché 120 cm. Tale differenza, con l'aggiunta del fatto che il carico della neve è presente solo sulla passerella di sommità, rende gli irrigidimenti di copertura gli irrigidimenti più sollecitati.

Le azioni agenti sono quelle riportate in tabella:

Azioni Agenti			
V_{3Ed}	33,14	kN	*Azione agente coma da figura*
V_{2Ed}	137,67	kN	*Azione agente coma da figura*
N_{Ed}	25,86	kN	*Azione agente coma da figura*

Si riportano di seguito le formule utilizzate per definire gli sforzi che si evidenziano all'interno della saldatura, si ritiene utile un'immagine per comprendere l'orientamento delle forze.

[86] Circolare 2.02.2009 n. 617 Formula Metodo A - C4.2.4.1.3.3.1

$$\sigma_{\perp} = \frac{V_{3,Ed}}{A_{saldatura}}$$

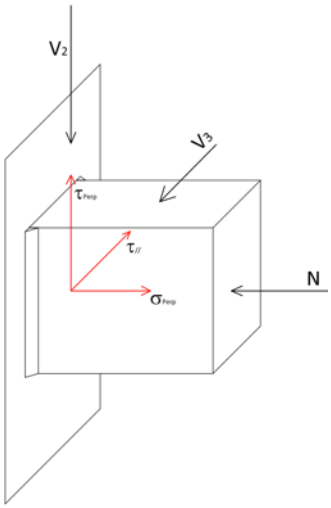
$$\tau_{\perp} = \frac{V_{2,Ed}}{A_{saldatura}}$$

$$\tau_{//} = \frac{N_{Ed}}{A_{saldatura}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} \le \beta_1 f_{yk}$$

$$|\sigma_{\perp}| + |\tau_{\perp}| \le \beta_2 f_{yk}$$

Formule utilizzate



I valori di calcolo sono definiti tramite i segunti valori:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
β_1	0,7	-	*Coef. Correttivo in funione del tipo di acciaio Tab. 4.2.XIV NTC 08*
β_2	0,85	-	*Coef. Correttivo in funione del tipo di acciaio Tab. 4.2.XIV NTC 08*
a	2	cm	*Altezza di gola*
$l_{Saldatura}$	34	cm	*Lunghezza della saldatura in direzione*
$A_{Saldatura}$	68	cm^2	*Area di gola*

Sforzi agenti nella saldatura			
$\tau_{//}$	48,74	N/mm^2	*Tensione tangenziale parallela*
τ_{Perp}	202,45	N/mm^2	*Tensione tangenziale perpendicolare*
σ_{Perp}	38,03	N/mm^2	*Tensione normale*

Azioni Resistenti			
$\beta_1 f_{yk}$	248,5	N/mm^2	*Tensione di snervamento di calcolo acciaio*
$\beta_2 f_{yk}$	301,75	N/mm^2	*Tensione di snervamento di calcolo acciaio*

La formula $\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} \le \beta_1 f_{yk}$ [87] porta a $211,67 \le 248,5$, la verifica è quindi soddisfatta.

La formula $|\sigma_{\perp}| + |\tau_{\perp}| \le \beta_2 f_{yk}$ [88] porta a $240,47 \le 301,75$, la verifica è quindi soddisfatta.

Mensola

[87] Formula 4.2.78 NTC 08
[88] Formula 4.2.79 NTC 08

La mensola, che sorregge le travi ed il cosciale, è vincolata ad una corona a sua volta vincolata, tramite saldatura al pilastro. L'immagine mostra com'è realizzato tale nodo. Il dimensionamento è condotto tramite l'introduzione delle azioni massime che competono a una singola mensola.

Figura 6.22 - Porta Torre - Particolare della corona alla quale sono vincolate le mensole che sorreggono le travi e i cosciali.

$$\sigma_{\perp} = \frac{V_{3,Ed}}{A_{saldatura}}$$

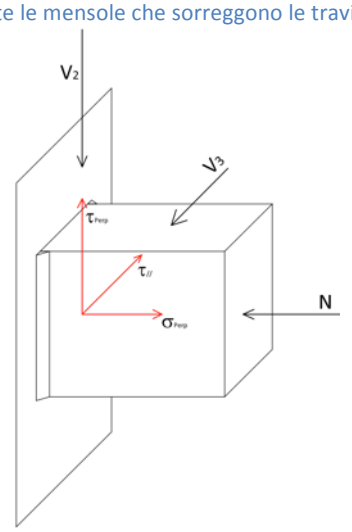
$$\tau_{\perp} = \frac{V_{2,Ed}}{A_{saldatura}}$$

$$\tau_{//} = \frac{N_{Ed}}{A_{saldatura}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} \le \beta_1 f_{yk}$$

$$|\sigma_{\perp}| + |\tau_{\perp}| \le \beta_2 f_{yk}$$

Formule utilizzate



L'immagine precedente rappresenta la mensola che viene saldata alla corona e non tiene in considerazione del pilastro, per il quale si esegue in seguito la verifica della saldatura della corona.

Le azioni agenti sono riportate di seguito.

Azioni Agenti			
Caso 1			
V_{3Ed}	4,55	kN	*Azione agente coma da figura*
V_{2Ed}	129,45	kN	*Azione agente coma da figura*
N_{Ed}	1,39	kN	*Azione agente coma da figura*

Caso 2			
V_{3Ed}	10,27	N/mm^2	*Azione agente coma da figura*
V_{2Ed}	31,19	N/mm^2	*Azione agente coma da figura*
N_{Ed}	115,42	N/mm^2	*Azione agente coma da figura*

I valori di calcolo sono definiti tramite i segunti valori:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	Tensione di snervamento acciaio
β_1	0,7	-	Coef. Correttivo in funione del tipo di acciaio Tab. 4.2.XIV NTC 08
β_2	0,85	-	Coef. Correttivo in funione del tipo di acciaio Tab. 4.2.XIV NTC 08
a	2	cm	Altezza di gola
$l_{Saldatura}$	40	cm	Lunghezza della saldatura in direzione
$A_{Saldatura}$	80	cm^2	Area di gola

Caso 1			
$\tau_{//}$	5,69	N/mm^2	*Tensione tangenziale parallela*
τ_{Perp}	161,81	N/mm^2	*Tensione tangenziale perpendicolare*
σ_{Perp}	1,73	N/mm^2	*Tensione normale*

Caso 2			
$\tau_{//}$	12,83	N/mm^2	*Tensione tangenziale parallela*
τ_{Perp}	38,98	N/mm^2	*Tensione tangenziale perpendicolare*
σ_{Perp}	144,27	N/mm^2	*Tensione normale*

Azioni Resistenti			
$\beta_1 f_{yk}$	248,50	N/mm^2	*Tensione di snervamento di calcolo acciaio*
$\beta_2 f_{yk}$	301,75	N/mm^2	*Tensione di snervamento di calcolo acciaio*

La formula $\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} \le \beta_1 f_{yk}$ [89] porta a :

Caso 1: $161,92 \le 248,5$, la verifica è quindi soddisfatta.

Caso 2: $149,99 \le 248,5$, la verifica è quindi soddisfatta.

La formula $|\sigma_{\perp}| + |\tau_{\perp}| \le \beta_2 f_{yk}$ [90] porta a:

Caso 1: $163,55 \le 301,75$, la verifica è quindi soddisfatta.

Caso 2: $183,26 \le 301,75$, la verifica è quindi soddisfatta.

[89] Formula 4.2.78 NTC 08
[90] Formula 4.2.79 NTC 08

Corona

Il carico per il quale è dimensionato il nodo corona-pilastro è quello derivante dall'analisi di tutte le corone della struttura e rappresenta quella più caricata per quello che riguarda: le azioni di taglio, che si trasformano in azioni di compressione assiale all'interno del pilastro, e i momenti flettenti.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva delle azioni esistenti nell'elemento:

Corona						
Azione Max	P	V2	V3	T	M2	M3
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
Azione complessiva	-25,86	**137,66**	33,14	0,07	4,76	-57,11

In grassetto i valori per cui si esegue la verifica. Le azioni di taglio V3 e di compressione P non sono considerate nella saldatura poiché si ritiene che sia il pilastro a farsi carico di tali azioni.

$$\sigma_{\perp} = \frac{V_{3,Ed}}{A_{saldatura}}$$

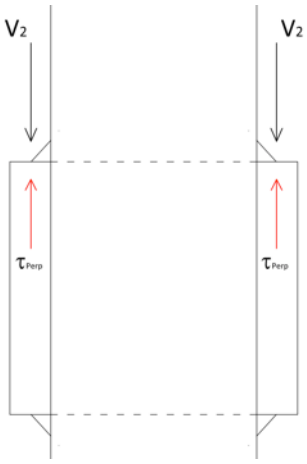
$$\tau_{\perp} = \frac{V_{2,Ed}}{A_{saldatura}}$$

$$\tau_{//} = \frac{N_{Ed}}{A_{saldatura}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} \le \beta_1 f_{yk}$$

$$|\sigma_{\perp}| + |\tau_{\perp}| \le \beta_2 f_{yk}$$

Formule utilizzate



I valori di calcolo sono definiti tramite i segunti valori:

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
β_1	0,7	-	*Coef. Correttivo in funione del tipo di acciaio Tab. 4.2.XIV NTC 08*
β_2	0,85	-	*Coef. Correttivo in funione del tipo di acciaio Tab. 4.2.XIV NTC 08*
a	2	cm	*Altezza di gola*
r	20	cm	*Raggio esterno*
$\%_{Saldatura}$	40%	-	*Percentuale di saldatura*
$l_{Saldatura}$	125,66	cm	*Lunghezza della saldatura in direzione*
$A_{Saldatura}$	100,53	cm^2	*Area di gola*

Sforzi agenti nella saldatura			
Caso 1			
$\tau_{//}$	0	N/mm^2	*Tensione tangenziale parallela*
τ_{Perp}	136,94	N/mm^2	*Tensione tangenziale perpendicolare*
σ_{Perp}	0	N/mm^2	*Tensione normale*

Azioni Resistenti			
$\beta_1 f_{yk}$	248,50	N/mm^2	*Tensione di snervamento di calcolo acciaio*
$\beta_2 f_{yk}$	301,75	N/mm^2	*Tensione di snervamento di calcolo acciaio*

La formula $\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} \le \beta_1 f_{yk}$ [91] porta a $136,94 \le 248,5$, la verifica è quindi soddisfatta.

La formula $|\sigma_{\perp}| + |\tau_{\perp}| \le \beta_2 f_{yk}$ [92] porta a $136,94 \le 248,5$, la verifica è quindi soddisfatta.

6.2.5. Pre-dimensionamanto delle strutture di fondazione - Scala

La struttura della scala è vincolata a terra dalla presenza di una platea di fondazione costituita da plinti, su cui poggiano i pilastri, e cordoli di collegamento in grado di rendere rigida la piastra di fondazione.

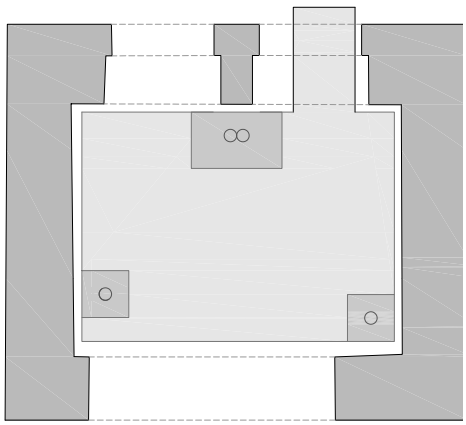


Figura 6.23 – Porta Torre - La pianta della platea di fondazione

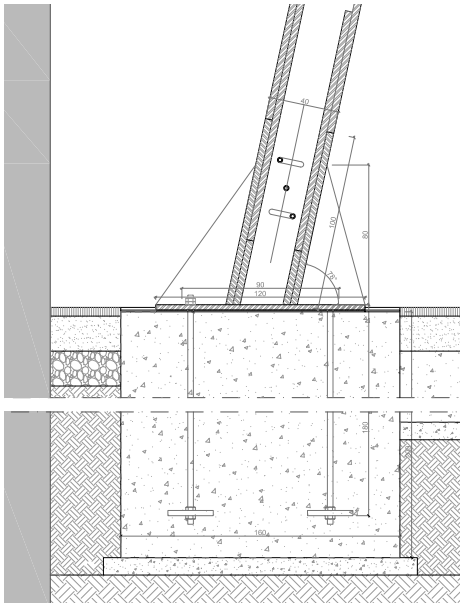


Figura 6.24 – Porta Torre - Sezione del plinto di fondazione, da notare il cordolo di collegamento

[91] Formula 4.2.78 NTC 08
[92] Formula 4.2.79 NTC 08

I plinti sono in grado di trasmettere al terreno gli sforzi di compressione mentre la presenza di cordoli permette di ricevere gli sforzi di taglio e i momenti senza che la struttura di fondazione

Figura 6. 25 – Porta Torre - Elemento di connessione plinto-pilastro

della Torre subisca modifiche dello stato tensionale che comporterebbero l'insorgenza di possibili cinematismi.

6.2.5.1. Risultati del modello - Reazioni vincolari - Scala

Il dimensionamento della platea di fondazione è effettuato tramite la valutazione dell'azione massima che si evidenza come reazione vincolare che la struttura esercita. Tali valori sono evidenziati nella seguente tabella:

Reazioni Vincolari						
Azione	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
1	66,93	99,53	644,73	63,767	41,58	1,29
3	212,37	-116,66	834,35	49,38	-44,84	4,63
5	-116,06	-73,63	545,47	-76,00	7,49	43,81
49	-111,01	119,18	884,66	34,388	93,27	36,20

Il plinto più sollecitato è quello collocato sul lato sud e su questo elemento verranno eseguite le verifiche riportate di seguito.

Si riportano di seguito le azioni agenti:

Reazioni Vincolari Max - Piastra in acciaio						
Azione	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
Plinto (49)	-111,01	**119,18**	**884,66**	34,38	**93,27**	36,20

6.2.5.2. Verifiche del collegamento a terra - Scala

Plinto - Platea

Nelle immagini successive si riportano le sollecitazioni e le dimensioni del plinto di base.

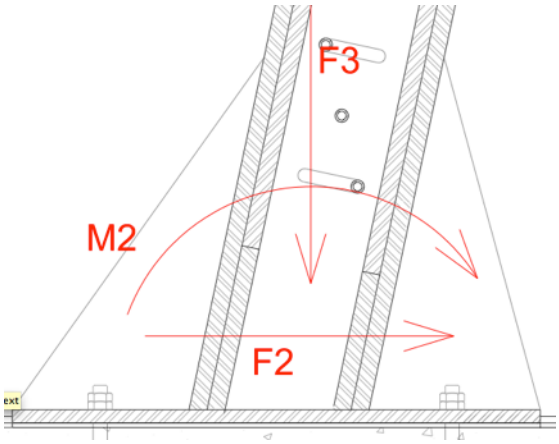


Figura 6.26 – Porta Torre -Schema delle azioni agenti

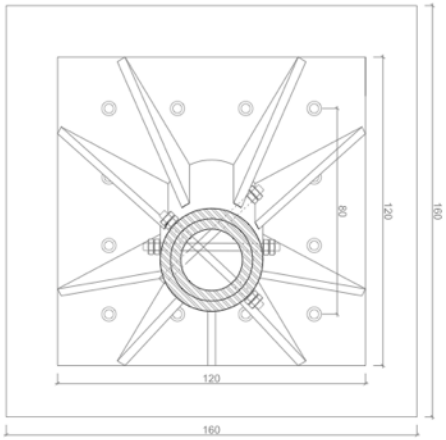


Figura 6.27 – Porta Torre - pianta della piastra in acciaio che collega il plinto con la struttura in acciao

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{ck}	25	N/mm^2	*Resistenza caratteristica a compressione del cls C25/30*
α_{cc}	0,85	-	*Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata*
γ_C	1,5	-	*Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo*
h_{fond}	160	cm	*Larghezza del plinto*
b_{fond}	160	cm	*Base del plinto*
$h_{fond,p}$	120	cm	*Larghezza piastra di base in acciaio*
$b_{fond,p}$	120	cm	*Base piastra di base in acciaio*
h_{platea}	733	cm	*Larghezza della platea*
b_{platea}	999	cm	*Base della platea*
A	1440000	mm^2	*Area del plinto*

$$\left.\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{N_{ad}}{h_{fond} b_{fond}} \\ \sigma_2 &= \frac{N_{ad}}{h_{platea} b_{platea}}\end{aligned}\right\} \leq \sigma_{terreno} \qquad \frac{N_{ad}}{N_{rd}} \leq 1$$

$$N_{rd} = f_{cd} A$$

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_C}$$

$$A = h_{fond,p} b_{fond,p}$$

Formule utilizzate

Le azioni agenti sono:

Valori Agenti			
N_{ad}	884,67	kN	*Azione verticale di compressione*
σ_1	3,46	kg/cm^2	*Sforzo presente tra plinto e terreno*
σ_2	0,12	kg/cm^2	*Sforzo presente tra platea e terreno*

Di seguito si riportano le verifiche per il dimensionamento della piastra di fondazione. A causa della mancanza di una relazione geotecnica che possa definire le proprietà meccaniche del terreno, si riportano i valori di calcolo riferendosi a valori di tensioni massime ammissibili tratte dalla letteratura[93]:

Valori Resistenti			
N_{rd}	20400,00	kN	*Azione resistente*
$\sigma_{terreno}$	4,00	kg/cm^2	*Tensione massima ammissibile nel terreno - Ipotesi di sabbia fine*
$\sigma_{terreno}$	2,00	kg/cm^2	*Tensione massima ammissibile nel terreno - Ipotesi di argilla limosa e sabbiosa*
f_{cd}	14,17	N/mm^2	*Resistenza cls a compressione*

Nell'ipotesi di un terreno costituito da sabbie fini i plinti saranno in grado di assorbire la totalità dei carichi di compressione, demandando alla platea il solo compito di collegare tutte le parti delle fondazioni; nell'ipotesi che il terreno sia costituito da argilla limosa e sabbiosa la platea dovrà farsi carico di parte delle azioni di compressione sul terreno. Il progetto esecutivo non potrà prescindere da informazioni più approfondite di quelle che sono le caratteristiche del terreno.

I calcoli forniscono i valori: $\sigma < \sigma_{terreno}$ pari a $3,46 \leq 4$ kg/cm^2 (plinto) oppure $0,12 \leq 2$ kg/cm^2 (platea).

La verifica di resistenza del calcestruzzo del plinto è $\frac{N_{ad}}{N_{rd}} \leq 1$ ovvero $0,43 \leq 1$, la verifica è quindi soddisfatta.

[93] N. Marino, *Manuale di geotecnica per l'Ingegneria Civile*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2006

Tirafondi

I tirafondi sono dimensionati per l'azione di estrazione che si evidenzia a causa dei momenti agenti e il taglio esistente alla base.

Dati		U.M.	*Descrizione*
f_{bd}	2,7	N/mm^2	*Tensione ultima di aderenza acciaio ad aderenza migliorata cls C25/30*
F_{yk}	355	N/mm^2	*Tensione di snervamento acciaio*
γ_S	1,15	-	*Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo*
l	180	cm	*Lunghezza del tirafondo*
ϕ	16	mm	*Diametro dei tirafondi*
n	4	-	*Numero di tirafondi sollecitati*
d	80	cm	*Braccio della coppia agente*

I valori agento sono:

Valori Agenti			
$N_{Ad,tot}$	116,59	kN	*Azione di trazione totale*
N_{Ad}	29,15	kN	*Azione di trazione singolo tirafondo*
M_{Ad}	93,27	kNm	*Momento agente massimo*
V_{Ad}	119,18	kN	*Taglio agente massimo*

I valori resistenti valutati con le formule riportate in seguito sono:

Valori Resistenti			
$N_{Rd,1}$	62,07	kN	*Azione resistente lato acciaio*
$N_{Rd,2}$	244,29	kN	*Azione resistente lato cls*
N_{Rd}	62,07	kN	*Azione resistente di calcolo*
V_{Rd}	143,34	kN	*Taglio resistente*

$$l_b = \frac{f_{yk}}{\gamma_S}\frac{\phi}{4 f_{bd}}$$

$$l_b < l$$

$$N_{Rd,1} = \frac{\phi^2 \pi f_{yk}}{4\gamma_{M0}}$$

$$N_{Rd,2} = \phi \pi f_{bd} l$$

$$\min\left\{N_{Rd,1}; N_{Rd,2}\right\} = N_{Rd}$$

$$N_{Ad,tot} = \frac{M_{Ad}}{d}$$

$$N_{Ad} = \frac{N_{Ad,tot}}{n}$$

$$\frac{N_{Ad}}{N_{Rd}} \le 1$$

$$V_{Rd} = n\frac{\phi^2 \pi}{4}\frac{f_{yk}}{\sqrt{3}\gamma_S}$$

$$\frac{V_{Ad}}{V_{Rd}} \le 1$$

Formule utilizzate

Le verifiche sono $\frac{N_{Ad}}{N_{Rd}} \leq 1$ da cui si ottiene $0,47 \leq 1$ quindi la verifica è soddisfatta; $\frac{V_{Ad}}{V_{Rd}} \leq 1$ da cui si ottiene $0,83 \leq 1$ quindi la verifica è soddisfatta.

Da ultimo la lunghezza di ancoraggio minima risulta essere: $l_b < l$ da cui $45,73 < 180$ cm.

6.2.6. Computo delle quantità – Scala

Al fine di esplicitare la quantità di materiale utilizzato per la realizzazione della scala si riportano le seguneti tabelle:

Acciaio Scala Porta Torre						
N.	ELEMENTO	L 1 [m]	P.unitario [kg/m]	-	PARTI UGUALI [-]	Q.TÀ [kg]
1	Pilastro tubolare in acciaio Ø 400/sp 40/L 6000 mm	42,00	355,00	-	4,00	59640
2	Profilo a L in acciaio zincato 30x30x4 mm	1,50	1,88	-	400,00	1130
3	Cosciale in acciaio zincato 300x30mm	163,76	70,65	-	1,00	11569
4	Alzata in acciaio zincato 1200x200x8mm	1,20	12,56	-	200,00	3014
5	Pedata prefabbricata in lamiera stirata 120Ox30Ox26 mm	1,20	23,40	-	200,00	5616
6	Parapetto doghe Ø 40 mm, passo 56 cm	1,10	9,86	-	292	3173
7	Parapetto cavetti Ø 5 mm, passo 8 cm	1,10	0,15	-	2047	347
8	Parapetto corrente inferiore Ø 20 mm	163,76	2,47	-	1,00	403
9	Parapetto corrrente superiore piastra 50x10 mm	163,76	3,93	-	1,00	642
10	Corona circolare in acciaio (S 355), Ø 440/sp 40/L 700 mm	0,70	380,00	-	24,00	6384
11	Piastra di base in acciaio verniciato 1200x1200x30mm	1,20	282,60	-	4,00	1356
12	Perni fissaggio pilastro 400xØ30 mm	0,40	5,55	-	16,00	35
13	Manicotto di ancoraggio a terra del pilastro Ø 400/sp 40/L 1000 mm	1,00	355,00	-	4,00	1420
14	Tirafondi 1300xØ16 mm	1,30	1,58	-	64,00	131
					A riportare	94864
Acciaio Corten Scala Porta Torre						
N.	ELEMENTO	L 1 [m]	P.unitario [kg/m]]	-	PARTI UGUALI [-]	Q.TÀ [kg]
1	Trave in acciaio Cor-Ten 180x80x8 mm + Parapetto in acciaio Cor-Ten 1100x1500x8 mm	163,76	84,91	-	1,00	13904
					A riportare	13904
Cls Fodazioni Scala Porta Torre						
N.	ELEMENTO	L 1 [m]	L 2 [m]	L 3 [m]	PARTI UGUALI [-]	Q.TÀ [m^3]
1	Plinto di fondazione in calcestruzzo (C25/30), 160x160x200 cm	1,60	1,60	2,00	4,00	20
2	Platea di fondazione in calcestruzzo armato (C25/30), 1000x7300x100 cm	10,00	7,30	1,00	1,00	73
					A riportare	93
Acciaio Fondazioni Scala Porta Torre						
N.	ELEMENTO	-	P.unitario [kg/m^3_{cls}]	-		Q.TÀ [kg]
1	Acciaio per armatura di plinti e platee di fondazioni	-	100,00	-		9348
					A riportare	9348

6.3. Torre Gattoni

La rifunzionalizzazione di Torre Gattoni, come detto in apertura di capitolo, è legata alla volontà di realizzare un nuovo spazio museale connesso alla presenza dei trasformatori elettrici che, all'inizio del secolo scorso, fornivano luce e corrente alla città.

In questo momento la Torre è suddivisa in due piani: al piano terra, accessibile dal livello della strada, in cui vi sono i trasformatori e i quadri elettrici, e il piano alto in cui vi è uno spazio ad oggi in uso a privati. Questa situazione si è venuta a creare a causa della mancanza di un connettivo verticale interno infatti, mentre al piano terra si accede da spazio pubblico, al piano alto si accede solo da proprietà privata, motivo per cui tale piano non risulta accessibile dai comuni cittadini ma neppure all'Ente Pubblico. Per ovviare a questo problema si prevede l'installazione di una scala che, collocata in modo tale da non modificare il posizionamento dei macchinari possa mettere in comunicazione i due piani della Torre. L'unica modifica della struttura dell'edificio sarebbe quella di andare a realizzare un varco, dal quale far passare la scala, nella soletta che realizza la separazione dei due ambienti. Tale soletta è di origine recente in calcestruzzo armato con grosse nervature a vista. Si ritiene che questo elemento non rappresenti una significativa testimonianza storica e che, conseguentemente, possa essere lievemente modificato.

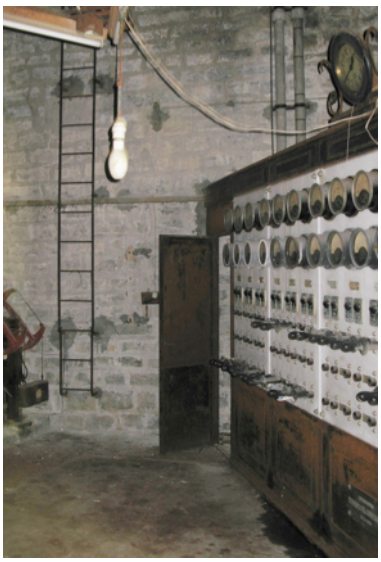


Figura 6.28 - Torre Gattoni - Interno della Torre con in primo piano il quadro di comando elettrico della centralina di inizio secolo

Figura 6.29 – Torre Gattoni – Vista dell'intradosso del solaio che separa gli ambienti interni della Torre

Il progetto di rifunzionalizzazione prevede quindi la possibilità di vedere quelli che sono gli impianti elettrici d'inizio Novecento e, salendo lungo la scala di nuova realizzazione si accede a un'ampia sala lungo le cui pareti saranno esposte testimonianze dell'evoluzione tecnologica legata all'illuminazione. Una possibile esposizione potrebbe essere quella legata a tutti i modi di illuminare le città: dalla lampada a petrolio fino alle lampadine a risparmio energetico.

Le immagini sottostanti mostrano il collocamento della scala all'interno.

Figura 6.30 - Torre Gattoni - Render della scala che collegherà la zona bassa in cui vi sono i macchinari elettrici e la zona espositiva superiore dell'edificio

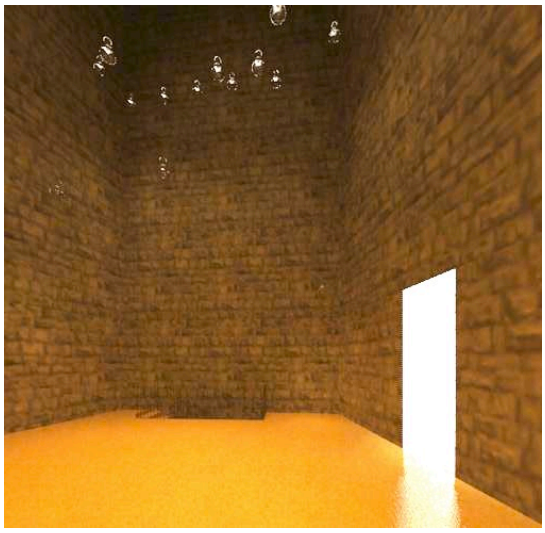


Figura 6.31 - Torre Gattoni - Render della zona espositiva superiore, alle pareti saranno collocati pannelli espositivi e apperecchi illuminanti

6.4. Torre San Vitale

Torre San Vitale è un edificio privo di aperture che consentano l'accesso agevole all'interno ed è privo di copertura. La rifunzionalizzazione poposta prevede di realizzare un collegamento con

Figura 6.32 - Torre San Vitale - Render della veduta aerea dei giardini del Museo P. Giovio e delle mura medievali

Figura 6.33 - Torre San Vitale - Render della scala esterna che permetterà di accedere alla Torre dai giardini del Museo P. Giovio

il Museo Civico Paolo Giovio. L'area museale esistente si estende ai giardini situati nei terrapieni realizzati a ridosso delle mura medievali. Con una semplice pulizia delle mura, che attualmente sono rese inaccessibili dalla presenza di numerosi arbusti, sarà possibile arrivare nelle immediate vicinanze della Torre. Dalle mura, con l'installazione di una scala, sarà possibile accedere all'interno dell'edificio che costituirà una nuova area espositiva.

Non potendo accedere all'interno della Torre, non è stato possibile sviluppare un approfondita proposta di recupero.

6.5. Torre Pantera

Torre Pantera affaccia su un pregevole spazio della città di Como dove sorgono tra i migliori monumenti della città: il Duomo, il Teatro Sociale, Palazzo Terragni. La recente sistemazione della Piazza Verdi nel 2009 ha esaltato ancor di più la presenza di questi monumenti. Torre Pantera, non essendo stata ancora oggetto di valorizzazione, tramite un intervento di ripristino funzionale, potrebbe aumentare ulteriormente il pregio della piazza. Molte sono state le proposte fatte nel recente passato, che sono rimaste in sospeso. Tuttavia la Torre ricopre una posizione strategica all'interno della città che non può passare inosservata e che dovrebbe essere sfruttata adeguatamente.

L'edificio è attualmente suddiviso in due corpi di fabbrica differenti. Sul lato orientale si trova una palazzina di due piani di circa 37 m^2 a piano, mentre sul lato occidentale sorge la torre propriamente detta con 3 piani fuori terra di dimensioni pari a circa 21 m^2. Al centro si colloca un corpo alto quasi come la torre, che ospita il vano scale e 3 piccole stanze, una per piano, di circa 14 m^2 l'una.

Figura 6.34 - Torre Pantera - Vista del complesso da piazza Verdi

Il progetto di consolidamento presentato nei capitoli precedenti ha come scopo principale la messa in sicurezza strutturale della torre e dell'annesso vano scale, tramite il consolidamento

delle fondazioni, delle murature, delle scale e della copertura. Tali interventi unitamente all'istallazione dei serramenti e degli impianti, renderebbero l'edificio completo e pronto per essere utilizzato, e la sua occupazione sarebbe sicuramente funzionale anche al suo mantenimento, in quanto permetterebbe di non incorrere nuovamente in problemi di degrado e instabilità, come quelli presenti ad oggi.

E' tuttavia vero che le dimensioni della torre e del vano scale, che sono la sola parte di edificio per il quale il Comune ha richiesto un progetto di consolidamento strutturale, sono alquanto ridotte, 21 m^2 per piano, e non sono adatte ad ospitare quasi nessuna funzione. Sarebbe quindi utile procedere al consolidamento e alla sistemazione di serramenti e impianti anche delle stanze annesse al corpo scale e dell'edificio a due piani sul lato orientale, ottenendo in questo modo una superficie utile di circa 62 m^2al piano terra e al piano primo, e di 35 m^2 agli ultimi due piani.

Figura 6.35 - Torre Pantera - Edificio orientale a due piani

Figura 6.36 - Torre Pantera - Impalcati provvisori delle stanze annesse al vano scala

La proposta è quindi di unire funzionalmente i due edifici e di sfruttare il corpo centrale, con vano scale e stanze annesse, per servirli entrambi, con l'aggiunta di un'ascensore e di servizi igienici. I solai delle stanze annesse al vano scale sono ad oggi provvisori, cioè costituiti da un semplice tavolato in legno appoggiato su delle putrelle in acciaio; di conseguenza andrebbero necessariamente sostituiti e l'inserimento dell'ascensore sarebbe agevole.

Per quanto riguarda la funzione che l'intero complesso potrebbe ospitare, da uno studio delle necessità della cittadina comasca è risultato mancare un adeguato luogo in cui posizionare gli

uffici comunali di promozione turistica. Attualmente tale ufficio si trova nelle vicinanze di piazza Verdi all'interno di un modulo abitativo temporaneo simile ad un elegante container.
L'unione di tutti gli ambienti del complesso permetterebbe di realizzare:
- una zona riservata agli operatori comunali sita nella palazzina orientale a due piani e dotata di servizi igienici dedicati;
- la realizzazione di ambienti impiegabili per la promozione turistica e l'allestimento di eventuali mostre-presentazioni all'interno della torre, al piano terra e al piano primo;
- uffici di rappresentanza dell'assessorato al turismo agli ultimi due piani della torre.

Per migliorare ulteriormente la fruibilità al pubblico si potrebbero inoltre riaprire gli ingressi al piano terra della torre.

Gli interventi proposti sono conformi alle normative in materia di abbattimento delle barriere architettoniche, contenimento dei consumi energetici, nonché prevenzione incendi.

Figura 6.37 - Attuale ufficio di promozione turistica collocato in uno stabile provvisorio adiacente al lato sud del Duomo

Di seguito di riportano le piante dell'intero complesso con la messa in evidenza di quelle che sono le parti da costruire e quali da demolire.

Figura 6.38 – Sezione del complesso di Torre Pantera

Figura 6.39 – Pianta del piano terra del complesso di Torre Pantera

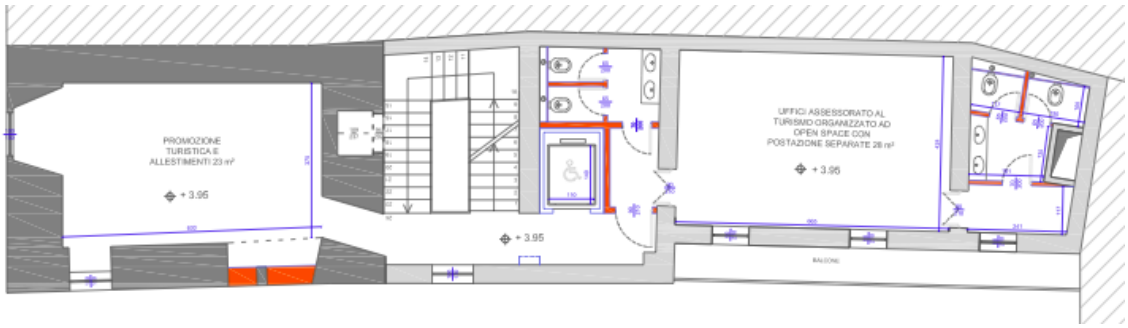


Figura 6.40 – Pianta del piano primo del complesso di Torre Pantera

Figura 6.41 – Pianta del piano secondo del complesso di Torre Pantera

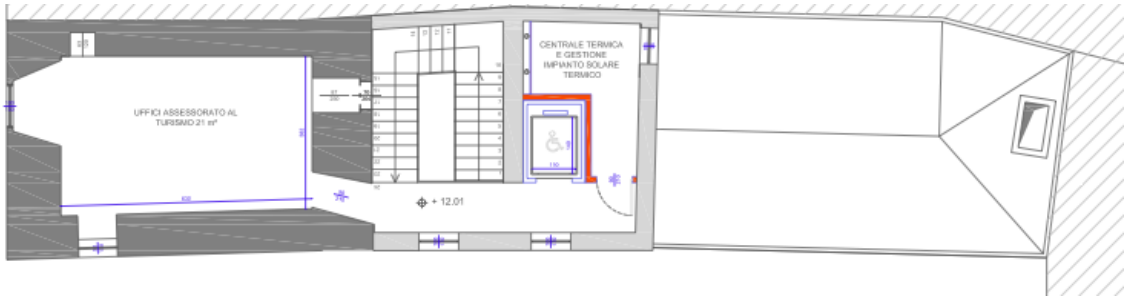


Figura 6.42 – Pianta del piano terzo del complesso di Torre Pantera

7.

Itinerario architettonico medievale

7. Itinerario architettonico medievale

7.1. Introduzione

A completamento del lavoro di rilievo e rifunzionalizzazione delle quattro torri medievali lungo le mura comasche, è stato elaborato un itinerario architettonico che ripercorre le tappe principali di Como medievale. A seguito di un approfondito studio sulla storia della città e dei suoi borghi durante quest'epoca, che ha permesso di comprendere quali fossero i suoi principali fulcri religiosi, civili e commerciali, è stato condotto un rilievo diretto nella città murata e nei borghi per individuare i resti ancora visibili di epoca romanica.

Il percorso è percorribile a piedi e si snoda principalmente all'interno delle mura, e lungo esse, con l'aggiunta di tre deviazioni che vanno ad esplorare i tre borghi medievali principali: borgo S. Bartolomeo, o borgo di via Milano, borgo Vico e borgo Coloniola, o borgo S. Agostino.

L'itinerario elaborato si propone come un ulteriore strumento utilizzabile dal comune di Como per valorizzare il proprio patrimonio architettonico medievale e per promuoverlo a livello turistico: è stato infatti notato che gli uffici turistici della città sono sprovvisti di mappe tematiche,e ci è stato confermato dagli stessi addetti che non sono in corso progetti di questo tipo, nonostante si sia cercato di sollecitare il comune in questo senso.

Le tavole di riferimento sono da P.01 a P.06: contengono una cartina d'insieme e delle proposte per la cartellonistica da collocare in città.

7.2. Como medievale

Caduto l'impero romano comincia il periodo più oscuro e meno comprensibile della storia di Como: il buio Medioevo; un periodo per il quale esistono scarsissime testimonianze e che tuttavia copre un arco di tempo di almeno sette secoli.A seguito delle invasioni barbariche, la città rimase indenne, ma completamente isolata: nel giro di un paio di secoli la decadenza dev'essere sopraggiunta, stroncando i traffici commerciali. In questa graduale retrocessione l'unico fenomeno vitale di rilievo fu l'arrivo della religione cristiana che nel IV secolo si affacciò timidamente alle porte della città.

Fu così che nacquero e poi si moltiplicarono chiese, conventi e monasteri, all'interno della città murata e all'esterno, lungo le principali direttrici viarie. All'epoca, infatti, i conventi svolgevano anche funzioni assistenziali, di ricovero dei viaggiatori, o addirittura di cura, e anche di controllo del transito. Molte chiese vennero costruite su luoghi di culto pagani, riutilizzando in

parte le antiche costruzioni romane, come S. Fedele che si crede sia stato costruito sul luogo dove sorgeva un tempio dedicato a Giove, o San Carpoforo, che andò forse a sostituirsi ad un tempio dedicato a Mercurio.

La città, i cui perimetri si erano nei secoli precedenti profondamente contratti, si riprese lentamente durante il X e XI secolo, sfruttando la sua posizione strategica ed arricchendosi con i dazi imposti al passaggio da e verso nord. Sui tratti occidentale e meridionale si conservavano ancora le mura romane, consolidate mediante torrioni costruiti con materiale riciclato dai resti dei monumenti romani.

Al di fuori delle mura proseguì lo sviluppo dei principali borghi di Coloniola, Borgo Vico e Borgo San Bartolomeo, già avviati in epoca romana e consolidati durante i secoli. La loro specializzazione era a quest'epoca già abbastanza chiara: Borgo Vico rappresentava una forza economica, costituendo uno sbarramento alle strade verso il nord; Coloniola, o borgo S. Agostino, aveva specifiche funzioni commerciali legate al transito sul lago; Borgo S. Bartolomeo, o di via Milano, era destinato alle attività mercantili, in quanto sede dell'interscambio tra campagna e città.

Pian piano l'insofferenza dei milanesi verso l'imposizione di dazi da parte dei comaschi portò all'aperto conflitto tra le due potenze commerciali in via di affermazione: ne risultò soccombente Como, dopo una guerra lunga dieci anni, che si concluse con la presa e la distruzione della città nel 1127. L'unica parte di città che non venne espugnata fu Borgo Vico, le cui mura erano le sole di nuova costruzione, ma che infine dovette comunque arrendersi. I borghi esterni alle mura erano infatti completamente indipendenti dalla città, anche dal punto di vista difensivo. Oggi purtroppo non rimane traccia di queste fortificazioni, perché dopo la guerra decennale non vennero più ricostruite.

I milanesi rasero al suolo le mura e parte della città e imposero ai comaschi il divieto di ricostruirle. Como dovette attendere l'arrivo di Federico I, detto il Barbarossa, per risorgere dalle ceneri e venire riedificata. Barbarossa infatti comprese perfettamente l'importanza strategica di Como e portò avanti un lungo intervento di potenziamento delle strutture difensive della città: ricostruì le mura (che sono quelle tutt'oggi visibili) con un perimetro leggermente allargato rispetto a quelle romane (30 metri circa), potenziò Castel Baradello ed edificò tre torri sul lato meridionale, proprio quello rivolto verso Milano. Si tratta di Porta Torre inizialmente, e in seguito di Torre Gattoni e Torre San Vitale. Pare che Barbarossa abbia anche edificato una lunga muraglia, esterna alla città, all'altezza circa di S. Carpoforo, posta a sbarrare l'ingresso da sud alla convalle. Non vi è certezza sulla collocazione di detta muraglia,

che probabilmente correva lungo il fiume Cosia, in quanto non rimane nulla ad attestarne la presenza.

Figura 7.1 - Cartina di Como del 1844 - "Como: le mura – documenti di storia cittadina" C. Rodi, Banco Lariano, Como 1974

Caduto il Barbarossa, battuto a Legnano nella memorabile battaglia condotta dalla Lega Lombarda, Como entrò definitivamente nell'orbita milanese, sia pure attraverso duri travagli.

Nei secoli seguenti si assistette al consolidamento dell'impianto urbano nella zona presso il lago, sancito dal prolungamento delle mura da Porta Sala fino al lungo lago nel 1288, che guadagnò al tessuto edilizio qualche nuovo terreno.

Il centro direzionale si spostò gradualmente da piazza S. Fedele, probabilmente sede del Foro in epoca romana, verso la zona nord-orientale della città, dove vennero costruiti importanti edifici religiosi, civici e militari a carattere rappresentativo: il Vescovado, la Chiesa Cattedrale di S. Maria Maggiore con l'attigua e imponente S. Giacomo, il Broletto, il Pretorio, le numerose torri e infine il Castello della Torre Rotonda, eretto dalla famiglia Rusconi, con chiari intenti di controllo su tutta la zona.

Tutta la cinta muraria era ulteriormente difesa da un fossato, alimentato dal lago (colmato a fine settecento e trasformato in un viale alberato). Le porte di accesso principali erano tre, una per ciascuno dei lati:Porta Sala ad ovest; Porta Portello ad est; Porta Torre a sud.

Nel 1335 Azzone Visconti conquistò Como e sancì la sua signoria con la costruzione della Cittadella, che inglobava quasi del tutto il centro direzionale della zona nord-orientale. Allo stesso tempo costruì un nuovo porto, situato nell'attuale piazza Cavour.

Durante tuttoil periodo comunale le più potenti famiglie, in lotta per il predominio cittadino, costruirono una serie di torri e palazzi fortificati in zone strategiche per il controllo della città. Mentre i Rusca costruirono le loro case fortificate tra piazza S. Fedele e quella del duomo, i Vittanisi insediarono più a occidente, dove potevano controllare le fondamentali attività economiche del porto. Il prevalere di una e dell'altra famiglia influenzò notevolmente l'architettura della città.

Nei secoli successivi al medioevo Como rimase compressa all'interno delle mura, senza riuscire ad espandersi all'esterno,se non a partire dall'inizio del Novecento, quando vennero abbattute le barriere daziarie. Fu così che la città continuò instancabilmente a costruirsi su se stessa, ad insistere sugli stessi edifici a più riprese rinnovati e modificati. Questo ha portato ad una graduale erosione delle opere medievali, ad una sovrapposizione e a volte addirittura sostituzione di essi con edifici moderni, com'è il caso del quartiere della Cortesella, completamente raso al suolo a metà Novecento, o di molti conventi. L'ermetismo di questa chiusura, che non aveva più il carattere difensivo del medioevo, provocò profonde alterazioni al tessuto interno della città costretta a cercare spazi entro le mura. Moltissime delle anomalie strutturali che si riscontrano oggi e che rendono difficile ogni intervento di restauro, derivano anche da questa circostanza del tutto particolare.

Como deve molto all'architetto Gianfranco Caniggia, conosciuto per i restauri che ha sapientemente diretto nella città murata e nei borghi storici, seguendo un metodo di lettura storico-urbanistica del territorio da lui elaborato e del tutto innovativo. E' nato a Como, per merito di Caniggia, l'importante filone di ricerca sulla tipologia come sintesi a priori applicabile dal momento territoriale al momento edilizio. I riflessi pratici dei presupposti di sistematizzazione di Caniggia si sono avuti a Como nel 1968, negli studi condotti dall'Amministrazione Comunale, allorché si è dato avvio con la consulenza di Caniggia, all'approfondita indagine conoscitiva sulla città murata, finalizzata al suo recupero urbanistico ed edilizio. Fino al 1968 gli studi su Como erano ancora scarsi e non erano numerosi i lasciti fisici della storia urbana, sia a livello di reperti archeologici, sia a livello di sondaggi sull'assetto dell'edilizia antecedente alla sistematica serializzazione degli edifici comaschi, operata a Como dalla metà dell'Ottocento in poi. In modo strettamente interdipendente con le indagini storico-urbanistiche, Caniggia ha diretto ininterrottamente dal 1969 opere di restauro nella città murata e nei borghi, sperimentando dal vivo le risultanze delle indagini. La prima fondamentale opera è stata attuata, per merito della famiglia Bazzi, in via Olginati; da lì molte altre opere sono state dirette in seguito sia per privati che per l'Amministrazione Comunale.

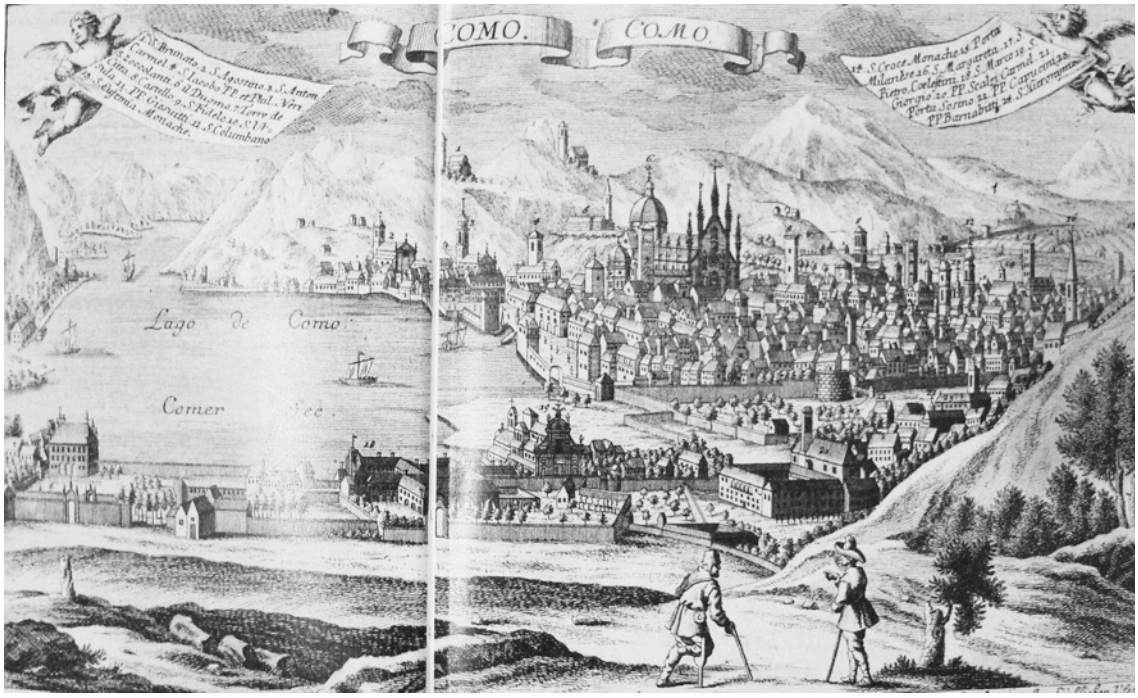


Figura 7.2- Veduta della città danord-ovest, incisione del 1724 ca.- "Como e la sua storia – l'immagine storica" a cura di F. Cani, G. Monizza, Nodolibri, 1993Como

7.3. Le tappe dell'itinerario

Le tappe proposte nell'itinerario si avvalgono, in parte, delle descrizioni contenute nei libri di Cani e Monizza intitolati: "Como e la sua storia – La città murata " e "Como la sua storia – I borghi e le frazioni". Ulteriori arricchimenti di carattere storico sono tratti da testi riportati in bibliografia.

1. LA STAZIONE

Il percorso comincia idealmente dalla stazione ferroviaria di Como Lago, luogo di arrivo di turisti e cittadini, collocato in posizione strategica, vicino al lungolago e di fianco all'inizio delle mura medievali orientali. Proprio dalla stazione infatti si può osservare uno dei due tratti orientali delle mura sopravvissuti allo sventramento operato con la distruzione del Castello della Torre Rotonda e della Porta Portello. Il secondo tratto è invece quello che parte da Torre San Vitale.

Figura 7.3 -Il tratto di mura orientali visibile dalla stazione ferroviaria Como Lago – rilievo fotografico 05-10-11

2. PORTA PORTELLO

Il Portello, per la contiguità con il castello della Torre Rotonda, è sempre stato uno dei luoghi più difesi della città. Una piccola mappa del Settecento, estremamente interessante, permette di ricostruire la struttura difensiva nella zona del Portello prima che fossero erette le nuove barriere daziarie nell'Ottocento. Si può osservare, innanzitutto, la presenza, nel fossato della città, della roggia di S. Vitale che correva parallela alle mura. Sopra il fossato, e dunque sopra la roggia, era il ponte levatoio che isolava la zona orientale di Como. A latoil corpo di guardia al Portello: il sistema difensivo della città, in pieno Settecento, era dunque ancora in funzione, e Como conservava le sue caratteristiche di zona isolabile in caso di necessità

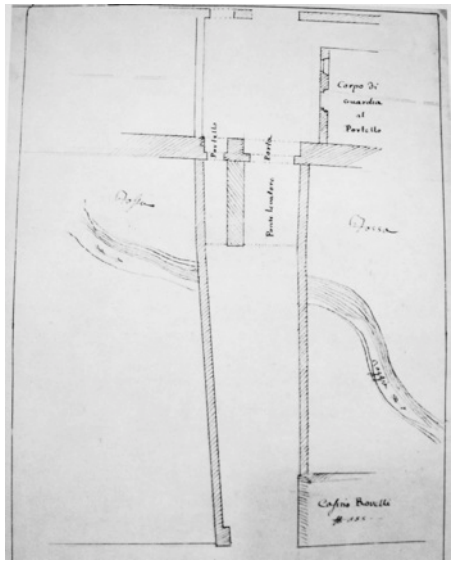


Figura 7.4 - Pianta di Porta Portello del settecento – "Como: le mura – documenti di storia cittadina" C. Rodi, Banco Lariano, Como 1974

militari.Caratteristiche che vennero eliminate solo nell'Ottocento con l'abbattimento delle porte Portello ad est e Sala ad ovest e con la sostituzione di esse mediante barriere daziarie.

3. IL CASTELLO DELLA TORRE ROTONDA

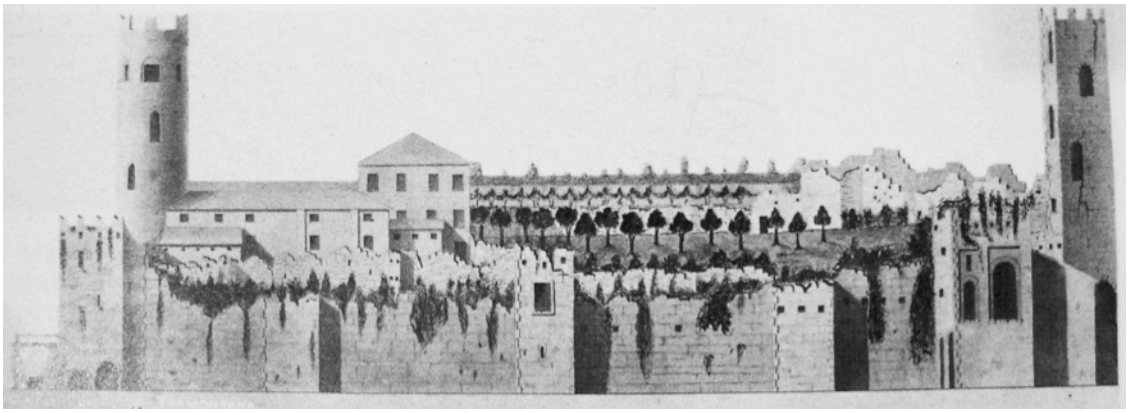


Figura 7.5 - Il Castello della Torre Rotonda in un disegno dell'ingegner Zambra - "Como e la sua storia – dalla preistoria all'attualità" a cura di F. Cani, G. Monizza,NodoLibri, Como 1993

Adiacente alla cattedrale, verso oriente, si apre un ampio spazio attualmente non costruito (PIAZZA VERDI), parzialmente sistemato ad aiuole e attraversato da un'ampia strada, ma che durante il medioevo era fittamente occupato da case di abitazione privata. Tale area aveva anche una fondamentale funzione militare, poiché si trovava presso la porta orientale della città, la Porta Portello. Attiguo alla porta fortificata, a sud, era il Castello della Torre Rotonda, la cui costruzione originaria risaliva probabilmente al 1286, durante il periodo delle lotte tra le fazioni guelfa e ghibellina. Costruito dai Rusconi, che volevano in questo modo controllare la zona cruciale della città, il castello era probabilmente poco più di un recinto fortificato con un alto mastio, la torre rotonda appunto, e alcune torri perimetrali. Nel XV secolo il castello passò ai Visconti che lo ampliarono facendone il fulcro della Cittadella, la quale inglobava la zona nord-orientale della città fino al lago. In seguito venne più volte modificato ed adattato alle esigenze dei diversi occupanti, così che nel Settecento si presentava come un ampio complesso di edifici, frutto di una continua stratificazione di interventi. I locali di acquartieramento dei soldati erano riuniti in un edificio a L, disposto intorno ad un cortile porticato, mentre sulle mura esterne erano numerose torri di varia epoca e due ingressi fortificati, uno a nord e l'altro a sud. A est era un massiccio baluardo semicircolare. Quando, all'inizio dell'Ottocento, un gruppo di nobili volle costruire un nuovo grande teatro in sostituzione di quello esistente all'interno del Broletto, la scelta dell'area per l'edificazione ricadde sul castello, ormai decrepito. La proposta suscitò la disapprovazione di alcuni intellettuali, che volevano

mantenere in vita le vestigia del passato cittadino, ma prevalse la volontà dei nobili. Rilevato minuziosamente il vecchio castello (a cura dell'ingenger Zambra di cui è rimasta la preziosa testimonianza) si procedette nel 1811-1813 alla sua distruzione e alla costruzione del nuovo Teatro Sociale. Oggi sono visibili solo i resti della torre quadrata e del doppio accesso meridionali, rimessi in luce qualche anno fa durante lo smantellamento dell'Arena del Teatro Sociale.

Figura 7.6 - Torre Pantera – rilievo fotografico 26-10-10

4. TORRE PANTERA

Per la storia di Torre Pantera, che si affaccia su piazza Verdi giusto di fronte alle absidi del Duomo, rimandiamo al capitolo primo. – Riferimento Tavola P.02.

5. VIA RODARI

Figura 7.7 - Palazzo Pantera/Rusconi – rilievo fotografico 05-10-11

Il palazzo adiacente alla torre Pantera, ritenuto tradizionalmente di proprietà dei Pantera, era invece ancora nel XV secolo di proprietà della famiglia Rusconi, che nel 1465 lo trasformò in postribolo. La casa della famiglia Pantera sorgeva sull'altro lato della torre, sul luogo ora occupato dalla aiuole, e venne demolita dopo il XVI secolo per realizzare una fascia di rispetto alle absidi del duomo.Il palazzo presenta sulla facciata su via Rodari ampi resti medievali: un portone d'ingresso con arco a tutto sesto in marmo bianco e nero alternati, finestre con arco a tutto sesto al piano terra, bifore al piano primo e una serie di piccole aperture al piano secondo. L'ultimo piano è stato chiaramente aggiunto in epoca successiva.

Al numero 9 è invece un palazzo di cui, nel corso delle campagne di studi e ripristini di facciate della fine degli anni Sessanta condotta dall'Amministrazione comunale, è stato riportato alla luce l'aspetto tardomedievale della facciata su via Rodari. L'intervento ha scoperto bifore contornate da corsi alternati di marmo bianco e

nero, frammenti di antichi portali e altre aperture a tutto sesto attribuibili a una fase trecentesca; invece l'elegante portale in pietra con iscrizione, le finestre archiacute in cotto del primo piano e le finestre del secondo piano, è presumibile risalgano al XV secolo. L'intervento di ripristino non ha però interessato che in minima parte la fronte a nord, verso piazza Roma, dove restano numerosi elementi medievali profondamente degradati, che sono interessanti anche perchè testimoniano il notevole innalzamento del piano stradale in epoca moderna.

Figura 7.8 - Palazzo al numero 9 di via Rodari – rilievo fotografico 05-10-11

6. SAN PROVINO

Arretrata rispetto alle case che l'affiancano, la chiesa di S. Provino è considerata dalla tradizione locale tra le più antiche della città. Si presuppone che la sua fondazione sia di epoca longobarda, stando anche all'originaria denominazione a S. Antonio: in tale epoca l'edificio di trovava verosimilmente fuori dalla cinta muraria, svolgendo il ruolo di parrocchia del borgo di S. Agostino. Nel 1096 venne ridedicata a S. Provino, secondo vescovo di Como, di cui accolse il corpo. Nell'XI-XII secolo venne inclusa nella città fortificata e probabilmente rifatta in stile romanico: di questa costruzione restano l'impianto della navata e il campanile. Durante il corso del Quattrocento e del Cinquecento si procedette ad interventi che cambiarono profondamente la struttura della chiesa: vennero edificate le cappelle laterali, si rifecero il coro e la copertura della volta. Parziali restauri della chiesa vennero eseguiti nel 1911 e poi nel 1972, che riportarono in luce i resti romanici, valorizzando soprattutto il campanile.

Figura 7.9 - Chiesa di S. Provino – rilievo fotografico 05-10-11

7. PIAZZA ROMA – LA CITTADELLA VISCONTEA

Piazza Roma fa parte di una zona che venne inserita nella città murata solo in epoca medievale, probabilmente in occasione della ricostruzione seguita alla guerra contro Milano. Sicuramente inclusa nelle mura a partire dal XII secolo, l'area acquistò grande importanza dal punto di vista militare poiché vi era collocato un approdo con particolari funzioni pubbliche; per questo i Visconti, subito dopo essere entrati in possesso della città, vi costruirono la Cittadella (1335) e adibirono il porto a scopi esclusivamente militari, realizzando per gli usi civili un nuovo sbarco, sul luogo dell'odierna piazza Cavour.

La cittadella aveva il suo punto di forza nel Castello della Torre Rotonda, costruito dai Rusca ma ampliato per l'occasione dai Visconti, ed era circondata lungo tutto il perimetro da mura massicce, munite di porte fortificate e torri; due di queste erano poste nella zona del Palazzo Vescovile e altre lungo il lato esterno, verso il Borgo di Coloniola. All'interno della Cittadellaerano, oltre il Castello, il Pretorio, il porto con gli edifici di servizio, S. Giacomo, parte della cattedrale di S. Maria Maggiore e numerose case private. Piazza Roma svolgeva il ruolo di grande piazza d'armi. Alla morte di Filippo Maria Visconti nel 1447 i comaschi costituirono la Repubblica di Sant'Abbondio e demolirono la Cittadella, con tanto di feste e libagioni.Distrutta la fortezza, l'area conobbe un nuovo sviluppo edilizio e la piazza prese il nome della famiglia più eminente che vi abitava, quella dei De Orchi.

Figura 7.10 - Palazzo al numero 42 di piazza Roma – rilievo fotografico 05-10-11

Gli edifici appena a nord della chiesa di S. Provino sono un gruppo di case di impianto medievale, di cui sono stati rimessi in luce alcuni elementi: in un caso (PIAZZA ROMA 42) è stata ripristinata l'intera fronte. L'edificio interessato da questo intervento, di proprietà Pelfini-Binda, è stato restaurato nel 1938 sotto la direzione dell'arch. P. Gazzola, dopo che nel corso dei lavori erano stati casualmente messi in luce alcuni elementi antichi, ritenuti di epoca due-trecentesca. Al piano terra sono ampie arcate (interrotte dalla porta d'ingresso moderna), in continuità con quelle delle case vicine; al primo piano si aprono quattro bifore, tre delle quali presentano ancora i capitelli originari, con motivi decorativi. Il paramento murario, per quanto ritoccato dal restauro, è di tale accuratezza da poter essere paragonato a quello degli edifici monumentali del XIII-XIV secolo.

8. IL VESCOVADO

L'edificazione del vescovado, parte integrante del nuovo fulcro direzionalemedievale e luogo di fondamentale importanza sia dal punto di vista religioso che civile e giudiziario, risalirebbe al 1013. La zona dovette essere già urbanizzata prima di quella data, in quanto la costruzione dell'Episcopio include resti di edifici che appaiono antecedenti (come lacosiddetta cripta di S. Michele). Ilfabbricato nuovo era su duepiani, di formalongitudinale, con un porticato retto da colonne con capitelli cubici come quelli della chiesa di S. Abbondio. Nel XII e XIII secolo venneroaggiunte le ali settentrionale e occidentale, in cui erano i locali del Tribunale Ecclesiastico. Alla fine del medioevo il Vescovado si presentava come un vasto aggregato di edifici, di forme e tipologie differenti, probabilmente inclusi in una cinta fortificata. Nel Quattrocento e Cinquecento fu a più riprese ampliato a decorato, e nel 1820 fu costruita la nuova facciata sulla piazza su progetto dell'arch. Buzzi, rifatta poi nel 1931 dall'arch. Frigerio. Questi portò avanti anche dei lavori di restauro, rimettendo in luce alcuni elementi della costruzione più antica.

Figura 7.11 - Il cortile interno del vescovado- rilievo fotografico 05-10-11

9. LA CHIESA DI S. GIACOMO

A definire il lato meridionale della piazza del Vescovado era il corpo delle navate della grande chiesa di S. Giacomo, probabilmente edificata nella seconda metà dell'XI secolo. L'origine dell'edificio religioso è incerta, tuttavia le sue dimensioni imponenti e la sua collocazione strategica tra l'Episcopio e la Cattedrale fanno presumere che ricoprisse un ruolo non secondario all'interno del complesso vescovile, formato da S. Maria Maggiore, S. Stefano, Canonica e residenza episcopale. E' quindi possibile che S. Giacomo costituisse il secondo elemento di una cattedrale doppia, in accordo con una tipologia assai diffusa in area lombarda. Per la sua posizione, la chiesa assunse ben presto un rilevante ruolo civile: vi si tenevano udienze, riunioni pubbliche e cerimonie politiche. Originariamente l'edificio presentava tre lunghe navate divise da pilastri cilindrici con capitelli cubici, coperte da tetto con capriate a vista; vi era un transetto leggermente sporgente dal corpo delle navate e sormontato da un ampio tiburio, mentre la zona absidale era costituita da due absidi minori in spessore di muro e

un grande abside centrale con nicchie interne e una loggia esterna. Incerta è l'articolazione della fronte, sicuramente dotata di un campanile. L'edificio, trovandosi al centro di un'area di fondamentale importanza religiosa, civile e commerciale, divenne un polo di attrazione intorno a cui si addensarono numerose costruzioni: case e stalle si appoggiarono lungo i muri perimetrali già in epoca medievale. In aggiunta a ciò, quando i Visconti nel XIV secolo costruirono la Cittadella, la chiesa di S. Giacomo ne divenne parte integrante, subendo probabilmente nuove manomissioni. Proprio per questo stato di degrado e per la sempre maggiore importanza della vicina cattedrale, nel 1578 si decise di demolire le prime cinque campate delle navate. A seguito di questo intervento la chiesa rimase divisa in due parti: il corpo vero e proprio della basilica e i resti dell'antica facciata, con la base della torre campanaria e gli edifici addossati. Nel Cinquecento e Seicento vennero profondamente trasformati gli interni. All'inizio del Novecento fu interessata dai primi restauri che rimisero in luce alcuni elementi della costruzione originaria (capitelli cubici e colonne), ma la facciata originaria venne abbattuta per ragioni di viabilità nel 1926. Alla fine degli anni Sessanta è stata sottoposta a un approfondito restauro statico e architettonico, durante il quale sono stati ripristinati i volumi originari del transetto e del tiburio.

Figura 7.12 - Chiesa di S. Giacomo – rilievo fotografico 05-10-11

10. IL BROLETTO, IL PRETORIO, S. MARIA MAGGIORE

L'area nord-orientale acquisì nel medioevo un ruolo fondamentale, sostituendosi progressivamente come centro direzionale e rappresentativo alla piazza S. Fedele, probabile erede del foro romano.L'insediamento della cattedrale di S. Maria Maggiore e del Vescovado all'inizio del XI secolo fu all'origine di questo processo di

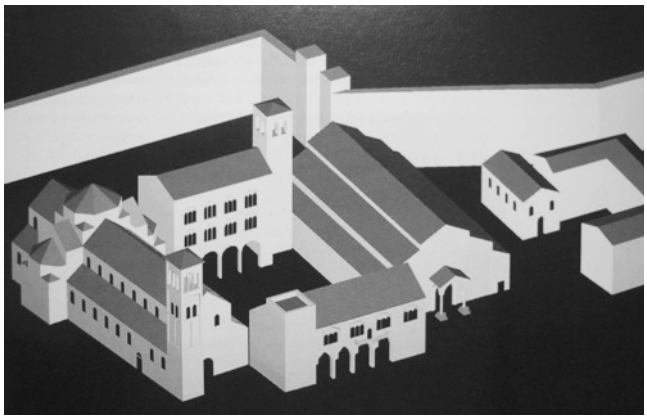


Figura 7.13 - Ricostruzione ipotetica dei principali edifici del centro direzionale di Como medievale - "Como e la sua storia – la città murata" a cura di F. Cani e G. Monizza, NodoLibri, Como 1994

rivalutazione che portò nell'arco di due secoli alla concentrazione di altri numerosi edifici (la Canonica, S. Stefano, S. Giacomo, il Broletto, il Pretorio, il Castello della Torre Rotonda). Riconosciuta nei secoli del medioevo e poi in quelli del rinascimento come fulcro centrale dell'organizzazione cittadina, la zona fu oggetto, già a partire dal medioevo, di profonde revisioni dal punto di vista urbanistico e architettonico, con l'intenzione principale di garantire un adeguato spazio di rispetto alla cattedrale. Tutta l'area circostante risentì quindi anche di un notevole sviluppo economico. Nella prima metà dell'Ottocento tutta l'area venne sistemata per diventare più rappresentativa: vennero costruiti il Teatro Sociale e dei portici su entrambi i lati della cattedrale (con la conseguente distruzione del pretorio, della chiesa di S. Stefano e dei resti della canonica).

Nell'XI sec., quando la sede episcopale venne trasferita nei pressi della riva lacuale, come chiesa cattedrale venne prescelta **S. Maria Maggiore**, già esistente nell'area prossima allo spigolo nord-orientale delle mura. Si ignora se la chiesa sia stata ricostruita o trasformata in quest'occasione, né del resto si conosce la sua originaria consistenza. L'opinione prevalente tra gli studiosi circa la forma e le dimensioni dell'antica cattedrale vuole S. Maria maggiore come una basilica di medie dimensioni, a tre navate, con la parete meridionale coincidente con quella del Duomo attuale. Un'altra ipotesi vuole la cattedrale molto più ampia, a cinque navate. Quale che fosse l'aspetto originario è certo che essa venne a costituire il fulcro di un complesso molto articolato di edifici, che, come già detto, formava una successione continua di spazi pubblici religiosi e civili, aperti e coperti. Dell'antica cattedrale rimane oggi ben poco, solo alcuni elementi di arredo liturgico all'interno del Duomo. Intorno al 1396, dopo la costruzione della Cittadella Viscontea che inglobava parte della cattedrale, prese corpo il progetto di rinnovare completamente l'antico edificio religioso, ormai insufficiente per le esigenze della città. Il cantiere del nuovo Duomo iniziò intorno al 1420.

A settentrione del Duomo, a completare un lato della piazza, è il palazzo del **Broletto**, sede esimbolo delle istituzioni comunali nate nel fervore della vita cittadina dell'XI-XII sec. L'area sulla quale si tenevano le assemblee del Comune rimase a lungo – nonostante le rivendicazioni del potere laico – di competenza della chiesa; all'inizio del XIII sec. la comunità comasca l'acquistò per erigervi il nuovo palazzo comunale, che dallo spazio aperto (*broleto cumano*=prato della città di Como), prese il nome di Broletto. In precedenza la sede del comune era stata nel palazzo vecchio del Podestà, affacciato sulla piazza S. Fedele, all'angolo

con l'attuale via Luini. Il nuovo edificio, simbolo della raggiunta totale autonomia delle istituzioni laiche da quelle ecclesiastiche, venne forse ultimato nel 1215, come testimonia una lapide apposta in facciata. Non è però escluso che l'edificio sia più tardo, come sembrerebbero indicare i suoi caratteri architettonici. Il Broletto mostra infatti i segni di uno stile di transizione: su una struttura ancora essenzialmente romanica si innestano motivi derivati dal nuovo gusto gotico, che, proveniente dalla Francia, si stava a quell'epoca diffondendo anche in Italia. I muri massicci, impostati su pilastri altrettanto potenti, risultano alleggeriti da trifore già sostanzialmente gotiche, così come tutti gli archi, compresi quelli delle fasce decorative marcapiano, sono ormai di forma ogivale. Tuttavia l'aspetto del palazzo è ancora austero, come gli altri broletti lombardi, e gli elementi decorativi sono ridotti al minimo. Nel Broletto avevano sede tutte le funzioni del Comune: vi si teneva l'assemblea dei cittadini e vi si amministrava la giustizia, vi si riuniva la società dei mercanti e vi si conservavano gli archivi. Sulla torre attigua era posta la campana del Comune, usata per convocare le adunanze della città. Si ignora però se la torre avesse fin dall'inizio l'attuale altezza, visto che essa, prima della ricostruzione nel XX secolo, presentava una netta distinzione di tecnica muraria tra la parte inferiore e quella superiore, realizzata in modo molto più incerto. Rimane quindi aperta l'ipotesi che essa fosse all'origine di poco più alta del broletto stesso, nonavendo funzioni difensive ma solo di rappresentanza, e che sia stata sopraelevata solo nel Cinquecento. Nel1408, a seguito di un incendio doloso, il Broletto subì gravi danni strutturali e venne restaurato nei decenni successivi. Nel Settecento fu sopraelevato e trasformato in teatro, divenne poi archivio notarile e alla fine dell'Ottocento venne restaurato, eliminando il sopralzo settecentesco e ricostruendo alcuni elementi architettonici che erano stati alterati. Ad oggi è adibito a sala per mostre e conferenze.

Figura 7.14 - Il palazzo del Broletto – rilievo fotografico 05-10-11

Il **Pretorio** venne costruito in epoca di poco posteriore all'ultimazione del Broletto e con lo stesso stile architettonico; esso era però più grande e imponente, aperto al pianterreno da un portico sopra cui stavano tre piani alleggeriti da trifore. L'edificio fu in origine sede dei magistrati cittadini e poi anche delle carceri, così che in seguito venne costruita una cappellina

ad uso dei reclusi. Alla fine del Settecento vi trovavano ancora posto la Cancelleria civile e criminale, l'abitazione del Podestà e del messo, nonché la prigione. Intorno al 1845 venne demolito quanto restava dell'antico edificio civile, per dare maggior respiro al Duomo, e venne costruito un edificio porticato che andava ad occultare il transetto meridionale di S. Giacomo. Ad oggi non rimane nulla dell'antico Pretorio, se non qualche quadro che lo ha immortalato prima della demolizione.

Figura 7.15 - Il pretorio in un dipinto del seicento – "Como: le mura – documenti di storia cittadina" C. Rodi, Banco Lariano, Como 1974

11. LA CORTESELLA E LA TORRE DEI MERCANTI

L'edificazione dell'area della Cortesella risale al periodo romano ed è attestata da ritrovamenti archeologici avvenuti nel corso degli ultimi due secoli. Al momento della sua definitiva scomparsa all'inizio del Novecento questo quartiere si presentavacome un tessuto compatto di edifici, cresciuti gli uni sugli altri in ragione dell'elevato valore del terreno. Gran parte di questo tessuto era di origine medievale, anche se continuamente rinnovato e ristrutturato in epoche posteriori, ed era costituito da palazzetti signorili, fortificazioni private, case commerciali, spesso con portici o con piani superiori a sporto. La fondamentale importanza della zona era confermata anche dall'esistenza di alcune torri dei Rusconi e, a poca distanza, dagli insediamenti e dalle fortificazioni della famiglia Vittani, protagonisti tra XIII e XIV secolo degli scontri per la supremazia politica cittadina. L'elevato grado di affollamento degli edifici e il continuo riutilizzo delle strutture edilizie provocarono nel tempo un notevole degrado del quartiere che già alla metà dell'Ottocento veniva considerato una sorta di ghetto, agglomerato di case malsane e povere. Nel 1858 l'apertura della via Plinio e la costruzione dei monumentali portici vennero interpretate come la realizzazione di uno schermo al

Figura 7.16 - La demolizione del quartiere della Cortesella- www.nessimajocchi.it, 05-11-11

quartiere popolare, in modo da nasconderlo rispetto alla zona di rappresentanza della città, e di fatto contribuirono ad isolarlo e renderlo maggiormente malfamato. Verso la fine del secolosi fecero strada progetti ancora più radicali: la Cortesella venne considerata una vergogna per l'intera città e si richiese la sua demolizione (primo progetto del 1891). La demolizione avvenne solo molti decenni dopo sotto l'amministrazione fascista (1938), con notevoli difficoltà legate al trasferimento degli abitanti e alle procedure di esproprio. Solo due monumenti furono inizialmente salvati, casa Vietti e il Palazzetto del Podestà, per essere comunque demoliti nel1946.

Subito a meridione del quartiere della Cortesella era un altro agglomerato di origine antica e di struttura complessa che aveva il suo cardine nella contrada dei Tre Prestini, corrispondente all'attuale largo Boldoni. Anche questa porzione di tessuto urbano è stata completamente sconvolta dagli interventi urbanistici iniziati nel 1828 e proseguiti nei decenni successivi: vennero abbattute numerose case e piccoli isolati affacciati su Largo Boldoni, sostituiti con edifici ottocenteschi. Ancora più radicali sono stati gli interventi della metà del XX secolo, che hanno quasi completamente rinnovato il lato orientale della via, con la realizzazione del Banco Ambrosiano Veneto (LARGO BOLDONI 3) e con quella dell'edificio della Standa. Nelle demolizioni per il primo è scomparsa una casa di proprietà dei Cernezzi, in cui al primo piano, era il locale dove si riuniva l'Università dei Mercanti Cittadini, precorritrice della moderna Camera di Commercio. Da questa presenza deriva la denominazione tradizionale della torre vicina (VIA BALLARINI 9), tra le poche fortificazioni private, tipiche dell'architettura medievale, sopravvissute fino all'epoca contemporanea. La **Torre dei Mercanti**, che risale al XIII secolo, è ora incastrata tra costruzioni più recenti, che ne annullanoquasi completamente l'imponenza, ed è adattata al piano terra a negozio; nel 1963 è stata parzialmente sopraelevata su progetto dell'arch. G. Allevi.

La sostituzione dell'edilizia di impianto medievale con moderne costruzioni intensive proseguì all'interno del quartiere tra la fine degli anni Cinquanta e l'inizio degli anni Sessanta.

Figura 7.17 - La torre dei mercanti in via Ballarini 9 – rilievo fotografico 05-10-11

12. VIA VITTANI

Da piazza Volta a Porta Torre, al centro della città murata, corre un asse viario comunemente identificato con il cardo della città romana. Esso presenta tuttavia un andamento tutt'altro che lineare e, tra tutti i percorsi che attraversano il centro storico con orientamento nord-sud, è l'unico caratterizzato da pronunciate deviazioni. A questa interruzioni nell'uniformità urbanistica si è cercato di dare varie spiegazioni, relativealla posizione del foro romano, ma si tratta ancora di ipotesi puramente teoriche. Dal'altro canto la complessa storia della fascia centrale della città murata trova un riflesso anche nella presenza di numerose denominazioni toponomastiche: a differenza di via Volta, via Diaz e via Vittorio Emanuele, dove l'asse viario corrisponde ad un'unica denominazione, lungo l'antico cardo romano ogni porzione è identificata con un nome diverso (via Muralto, via Vittani, via Bonanomi, via Del Pero, via Cantù) evidenziando realtà assai diversificate sia dal punto di vista urbanistico ed edilizio, sia dal punto di vista sociale.

Il tratto corrispondente a via Vittani costituisce un caso straordinario di conservazione del tessuto edilizio tardomedievale: quasi ogni casa presenta elementi di grande interesse, ma è soprattutto la via nel suo complesso ad avere mantenuto un aspetto pressoché omogeneo. Un po' appartata dal flusso della vita cittadina, la via negli ultimi anni è stata interessata da numerosi interventi di restauro e valorizzazione degli immobili e ha conosciuto un notevole risveglio di vivacità. In via Vittanisi susseguono una serie di case che hanno mantenuto, in tutto o in parte, le caratteristiche medievali e che testimoniano importanti vicende storiche. Durante il periodo comunale, infatti, le più potenti famiglie, in lotta per il predominio cittadino, posero i loro palazzi in zone strategiche per il controllo della città. Mentre i Rusca costruirono le loro case fortificate tra piazza S. Fedele e quella del Duomo, i Vittanisi insediarono più a occidente, dove potevano controllare le attività economiche del porto. Qui sorsero le residenze della famiglia e degli alleati; numerose erano anche le torri, tra le quali la più famosa era quella nota con il nome di **Demorata**, così chiamata perché abbassata per ordine dei Rusca

Figura 7.18 - Un negozio al piano terra di uno degli edifici restaurati in via Vittani – rilievo fotografico 05-10-11

quando questi prevalsero sulla famiglia Vittani. La base della torre è ancora evidente in un edificio (VIA VITTANI 10) restaurato nel 1981-1982 secondo il progetto dell'arch. M. G. Soldini. Presenta un paramento murario irregolare in cui si aprono alcune finestre antiche e altre recenti; il piccolo vicolo che si scorge verso nord testimonia l'antichità dell'impianto edilizio, poiché è quanto resta dello spazio di servizio tra isolati (detto *ambitus*), tipico dell'urbanistica medievale.

Figura 7.19 - La base della torre Demorata in via Vittani – rilievo fotografico 05-10-11

Sullo stesso lato è un gruppo di edifici restaurati nel 1981: l'intervento ha consentito un parziale recupero di elementi antichi, ma ha soprattutto rivitalizzato questa parte di tessuto urbano.

Al numero 13 è la casa che fu la prima sede dell'attività assistenziale e caritativa di Giovannina Franchi, fondatrice delle Suore Infermiere dell'Addolorata. Durante l'intervento di restauro, cui la casa è stata sottoposta a partire del 1988 sotto la direzione dell'arch. U. Castelli, sono state effettuate importanti scoperte archeologiche ed è stata recuperata una parte della fronte medievale, in precedenza occultatadall'intonaco ottocentesco. La porzione antica presenta un raffinato paramento in pietra grigia, aperto da un grande portale al piano terra e da una bifora al piano primo.

Figura 7.20 - La casa caritativa di Giovannina Franchi – rilievo fotografico 05-10-11

Tra i pochi stabili della via non ancora sottoposti a restauro è quello forse di maggiore interesse architettonico, identificato, secondo tradizione, come la residenza principale dei Vittani (VIA VITTANI 22-24).

Figura 7.21 - La residenza dei Vittani – rilievo fotografico 05-10-11

L'importanza del palazzo è testimoniata dalla raffinatezza della realizzazione, caratterizzata in facciata da un paramento in marmo a fasce alternate bianche e nere, databile al XI-XII secolo, periodo in cui i Vittani rappresentavano una delle famiglie più eminenti della città. Di epoca piùrecente, risalente al tardo medioevo, sembra il cortile, che presenta un interessante loggiato a doppio ordine, in parte tamponato.

Figura 7.22 - La residenza Giuliani – rilievo fotografico 05-10-11

Di fronte al palazzo Vittani è un altro gruppo di case medievali di notevole interesse (VIA VITTANI 23-33). L'edificio, che oggi è considerato come un unico palazzo, ha invece una struttura particolarmente complessa: essa è il frutto dell'unione di almeno due case medievali, come dimostrano la frattura nellalunga fronte (messain luce durante il restauro esterno della fine degli anni Sessanta) e l'esistenza di due cortili separati. Il nucleo a nord fu residenza dei Ciceri, poi dei Sangiuliani, ed è la più antica, probabilmente duecentesca, con un portale a tutto sesto, due bifore al primo piano e un'altra al secondo.

13. VIA CINQUE GIORNATE

Al numero 4 è una casa di antico impianto il cui prospetto è stato riportato in pietra a vista nel 1969 – nel quadro della campagna di restauri seguiti all'indagine sulla città murata – mettendo in luce una serie di aperture di forma diversa e qualche inserto in marmo colorato. L'intervento di ristrutturazione, previsto con finalità di residenza pubblica, non venne però ultimato e nel 1992 l'intero edificio, di proprietà comunale, è stato messo in vendita.

Figura 7.23 - La casa al num. 4 di via Cinque Giornate – rilievo fotografico 05-10-11

14. VIA DIAZ

Al numero 40 è quello che resta dell'antica chiesetta di S. Maria Maddalena. Affacciata probabilmente su un antico percorso che tagliava in due l'isolato, la chiesa era collegata a un

piccolo ospedale, detto anticamente della *Colombetta*, che poi divenne orfanotrofio femminile. Nel XVI secolo vi erano, oltre la chiesa, un edificio a due piani, un cortile, una stalla e un locale per macinare le fave. La piccola chiesa, a navata unica, nel 1601 ebbe mutato l'orientamento, per portare la facciata sulla via principale (via Diaz).

Nel 1764 l'ospedaletto venne annesso a quello di S. Anna, ma la struttura originaria della chiesa è ancora riconoscibile, come pure il campanile a vela, uno dei pochi rimasti in città.

Figura 7.24 - I resti della chiesetta di S. Maria Maddalena – rilievo fotografico 07-10-11

15. VIA LAMBERTENGHI

All'incrocio fra via Diaz e viaLambertenghi è un edificio (VIA LAMBERTENGHI 23) di aspetto medievale, tradizionalmente indicato come la più antica casa di Como. Faceva parte del nucleo di unità edilizie di proprietà prima di G. Clerici, notaio rinomato alla fine del Settecento, poi di G. B. Passalacqua.

Figura 7.25 - La casa al numero 23 di via Lambertenghi – rilievo fotografico 07-10-11

Al numero 35 è invece un casa la cui fronte è stata scrostata e parzialmente restaurata durante le ricerche promosse alla fine degli anni Sessanta dall'Amministrazione Comunale e dirette dall'arch. G. Caniggia. Sono così ritornate in vista alcune aperture dell'antica facciata, di epoca duecentesca e trecentesca. Nel Quattrocento la casa venne poi riattata con l'apertura di nuove finestre archiacute contornate in cotto.

Figura 7.26 - La casa al numero 35 di via Lambertenghi – rilievo fotografico 07-10-11

16. VIA BONANOMI

Lungo via Bonanomi sono visibili alcune facciate con degli elementi medievali a vista, in particolare due porzioni di portali, uno all'inizio e uno alla fine della via. A metà via è invece una facciata quasi integralmente scrostata, che rivela la presenza di due portali e una finestra con arco a tutto sesto a piano terra, e una bifora al piano primo. Non si è trovata traccia di questi restauri nelle letteratura, dunque si presume siano piuttosto recenti (posteriori all'anno 2000).

Figura 7.27 - Un palazzo in via Bonanomi – rilievo fotografico 07-10-11

17. VIA DEL PERO

Al numero 6 è un edificio identificato come una delle case dell'antica famiglia del Pero per la presenza dello stemma con sei pere nella pietra di chiave del portale. L'antica facciata, probabilmente duecentesca e visibilegrazie al restauro della fine degli anni Sessanta, è caratterizzata da un paramento murario di pietre perfettamente squadrate e connesse, in cui si apre il grande portale in conci di marmo bianchi e neri; al di sopra della fascia marcapiano sono le bifore, con i tipici archi acuti ricavati da un unico blocco di pietra, e al secondo piano una serie di aperture più piccole. L'edificio venne ristrutturato una prima volta tra XVI e XVII secolo, quando era di proprietà Tridi, con il rifacimento del cortile porticato, e una seconda volta nel XIX secolo, con la sopraelevazione di un piano.

Figura 7.28 - La residenza del Pero – rilievo fotografico 07-10-11

18. LA CHIESA DI S. FEDELEE LA PIAZZA ANTISTANTE, LA CHIESA DI S. PIETRO IN ATRIO

Piazza San Fedele, di forma approssimativamente trapezoidale, è dominata dalla basilica di S. Fedele, insediata sul luogo già occupato da un edificio ecclesiastico intitolato a S. Eufemia. La centralità di questa piazza, vasto spazio non costruito nel regolare tessuto edilizio del centro storico, ha fatto supporre che essa coincida con l'area occupata precedentemente dal foro

romano, e che la stessa chiesa sia collocata sull'area dove sorgeva un tempio dedicato a Giove. La basilica di S. Eufemia fu costruita dunque su una zona importante, per una scelta precisa: essa controllava una delle arterie principali della città murata, l'attuale via Vittorio Emanuele, lungo la quale si erano insediati gli edifici religiosi più antichi: S. Michele (ora inglobato nel palazzo vescovile) e S. Sisto (ricostruita e trasformata in cinema). S. Eufemia fu probabilmente fondata nel VI sec., e del complesso facevano parte anche il battistero di S. Giovanni in Atrio e S. Pietro in Atrio. Come si deduce dal termine "atrio", i tre edifici forse erano collegati da un vero e proprio edificio, di cui tuttavia non rimane più nulla. Nel 964, in concomitanza con la traslazione del corpo attribuito al martire Fedele, la chiesa venne dedicata a tale santo e probabilmente in tale occasione si incominciò a lavorare alla riedificazione dell'intero complesso, portata a termine solo sul finire del XIII secolo. L'importanza del complesso di S.Fedele continuò a crescere per tutto il medioevo, provocando persino una deformazione nella regolarità del tessuto viario, che è tagliato nei pressi della piazza da vie oblique che puntano sulla chiesa. La struttura di S. Fedele è frutto di una serie di interventi successivi operati durante il medioevo, che hanno prodotto un edificio con caratteristiche completamente diverse dalle altre costruzioni comasche di questo periodo. In pianta presenta tre navate,affiancate da due vaste cappelle contrapposte e circondate da un ambulacro, e si conclude con un abside maggiore, affiancata originariamente da due minori. Si nota quindi una fusione tra uno schema a pianta longitudinale e uno a pianta centrale, fatto piuttosto inconsueto nell'architettura lombarda. La complessità della struttura della basilica rende probabilmente conto della dilatazione dei tempi di realizzazione. La pianta della basilica è comunque difficilmente leggibile all'esterno, stretta com'è tra edifici privati. La basilica si presenta estremamente articolata anche in alzato, in particolare per la presenza dei

Figura 7.29 - La facciata della chiesa di S. Fedele e la casa adiacente – rilievo fotografico 05-10-11

Figura 7.30 - L'abside di S. Fedele su via Vittorio Emanuele – rilievo fotografico 05-10-11

matronei, che costituiscono l'unico esempio nell'architettura romanica comasca. In seguito la chiesa venne a più riprese trasformata.

Figura 7.31 - L'ingresso dei giardini pubblici di fianco a S. Fedele su via Vittorio Emanuele- rilievo fotografico 05-10-11

Dalla metà del secolo scorso, S. Fedele è stata oggetto di una serie di restauri, in parte tesi a salvaguardare la chiesa dal degrado e in parte a riportarla a un ipotetico aspetto originario, cancellando gli interventi successivi al medioevo: sono stati liberati i matronei, ricostruite in stile le finestre dell'abside, ricostruito il campanile e la facciata. All'inizio degli anni Settanta è stato realizzato il piccolo giardino pubblico a sud della basilica.

A sinistra della facciata di S. Fedele, proprio davanti al campanile, è una casa (PIAZZA S. FEDELE 9-10) di antica fondazione e nel medioevo proprietà dela capitolo della vicina basilica; in essa i canonici tenevano una rivendita di pane e di vino e un forno, documentato già nel 1190. L'edificio presenta elementi medievali (le colonne con rozzi capitelli cubici potrebbero anche provenire dall'antica S. Eufemia) e rinascimentali; demolito nel 1518, venne ricostruito nel 1534 e restaurato negli anni Settanta del Novecento.

Figura 7.32 - La torre degli Asini vista da via Luini – rilievo fotografico 05-10-11

Il lato settentrionale della piazza presenta una serie di case (PIAZZA SAN FEDELE 2-5) con botteghe, tra cui una (PIAZZA SAN FEDELE 1) era anticamente la torre degli Asini, che risulta oggi quasi completamente riassorbita nel volume dell'isolato dopo i rifacimenti e le sopraelevazioni ottocentesche. Questa casa torre sorge sul luogo dove stava la più antica residenza del Podestà di Como, usata forse anche come palazzo del comune prima della costruzione del Broletto a fianco del Duomo.

In asse con la basilica di S. Fedele, forse nell'ambito dell'antico atrio, si colloca il **battistero di S. Giovanni** (PIAZZA S. FEDELE 34-35). Generalmente attribuito ad epoca paleocristiana, la data di fondazione non è ancora stata stabilita con certezza, anche perché risulta impossibile esaminare direttamente l'edificio, ormai circondato completamente da case. Venne sicuramente ristrutturato in epoca romanica, pur mantenendo la pianta centrale ottagonale di origine paleocristiana; vennero fatti dei rimaneggiamenti alla cupola nei secoli XV e XVI, ulteriori modifiche in epoca barocca e durante il Settecento. L'elevato valore del suolo, determinato dall'importanza commerciale della piazza, provocò già in antico un notevole addensamento di case attorno all'edificio sacro. Alla fine del Settecento venne secolarizzato e trasformato in un magazzino, ed oggi è talmente degradato da essere quasi irriconoscibile.

Figura 7.33 - Le case su piazza S. Fedele che inglobano il battistero di S. Giovanni- rilievo fotografico 05-10-11

L'edificio attiguo al portico dell'ex-battistero (PIAZZA S. FEDELE 32-33) è stato recentemente sottoposto a restauro, durante il quale sono stati ritrovati elementi tardomedeivali.

Il terzo elemento del complesso ecclesiastico centrato sulla basilica di S. Fedele era la chiesa di **S. Pietro**, anticamente dedicata a S. Giuliana. Alla chiesa maggiore era collegata da un sistema porticato, forse l'unica parte veramente edificata dell'atrio. Si tratta di un edificio del V-VI secolo completamente ricostruito nell'XI sec.: la chiesa romanica presentava una sola navata, con un'abside semicircolare e un transetto ridotto quasi a due piccoli vani laterali. L'edificio venne poi riedificato nel XV-XVI secolo e nel XVII secolo venne annesso ad un convento. Nel 1969 vennero avviati lavori di ripristino, con sondaggi conoscitivi sulla facciata che hanno portato alla riscoperta di tracce della primitiva

Figura 7.34 - I resti della facciata romanica dell'ex chiesa di S. Pietro in Atrio – rilievo fotografico 05-10-11

costruzione romanica. I lavori, rimasti bloccati per circa vent'anni, sono poi ripresi nel 1981 con scavi archeologici che hanno riportato alla luce la parte inferiore dell'abside romanica. Nel 1991 il rinnovato edificio è stato inaugurato come sala per esposizioni.

Figura 7.35 - La torre inglobata nel palazzo del Municipio – rilievo fotografico 05-10-11

19. LA TORRE INGLOBATA NEL MUNICIPIO

All'angolo meridionale del Palazzo Cernazzioggi sede del municipio, è inglobata una torre medievale, che si vorrebbe di origini duecentesche, al tempo delle lotte tra fazioni guelfe e ghibelline, ma che alcuni studiosi – a giudicare dalla qualità della muratura – ritengono alquanto più tarda.

20. VIA ROVELLI

Al numero 3 di via Rovelli è una casa in cui i recenti restauri hanno rivelato resti delle costruzioni medievali: in particolare due aperture al piano terra, con archi a tutto sesto, e una più tarda, con la cornice in cotto.

Figura 7.36 - La facciata di una casa in via Rovelli – rilievo fotografico 07-10-11

21. PALAZZO GIOVIO, LA EX CHIESA DIS. SISTO, LE EX CASE LUCINI

Al numero 1 di piazza Medaglie D'oro, è quella che fu la residenza della famiglia Giovio sin dal XIII secolo quando giunsero in città. L'edificio fu ammodernato nel Cinquecento, ma alcuni resti dell'antica costruzione medievale si possono ancora scorgere nel vicolo tra il palazzo e l'attigua casa in via Vittorio Emanuele. Nel 1770 fu ricostruita la facciata, ridecorato l'interno e risistemato il giardino. Il palazzo ospita oggi una parte dei Musei Civici di Como, e in particolare la sezione delle lapidi medievali, collocata nel portico e lungo lo scalone. Restano inoltre pietre, frammenti di tessuto urbano, civile e culturale di epoca romanica. Si tratta di stemmi che un tempo ornavano le chiavi di volta dei palazzi nobiliari di Como, lapidi sepolcrali anche figurate, iscrizioni dedicatorie e commemorative.

Di fronte ai musei civici è l'ex chiesa di **S. Sisto.** Tradizionalmente considerata di antichissima fondazione, potrebbe costituire uno dei primi edifici religiosi cristiani eretti all'interno delle mura romane, in asse con altri insediamenti religiosi di notevole importanza: S. Eufemia (ora S. Fedele) e S. Michele (ora inglobato nel Vescovado). La prima documentazione sicura risale però al 1035: l'edificio era a navata unica, con l'abside semicircolare e la facciata in cui si aprivano due finestrelle e un oculo.All'inizio del XVII secolo si trovava in condizioni piuttosto degradate e nel 1659 crollò il campanile, trascinando con sé parte della chiesa stessa. La chiesa fu riedificata con orientamento opposto, in modo di avere l'accesso sulla strada, e decorata nel corso dei secoli successivi. Nel 1788 venne sconsacrata e da allora è passata a svolgere la funzione di magazzino, autorimessa ed infine sala cinematografica. L'edificio conserva la struttura esterna seicentesca, mentre l'interno è stato completamente ammodernato per ospitare il cinema; non resta nulla dell'originaria costruzione romanica.

Al numero 3 di via Balestra erano le case dell'importante famiglia dei **Lucini**, arricchitasi nel corso del Seicento grazie alle speculazioni finanziarie. Vennero poi acquistate da Giovio e passarono quindi al comune, venendo poi occupate dallAssociazione Nazionale Combattenti e Reduci. Nel 1969 la fronte delle case Lucini-Giovio fu tra le prime interessate dal

Figura 7.37 - I resti medievali di palazzo Giovio – rilievo fotografico 05-10-11

Figura 7.38 - La chiesa di S. Sisto prima delle trasformazioni degli anni 50 – "Como e la sua storia – la città murata" a cura di F. Cani e G. Monizza, NodoLibri, 1994 Como

Figura 7.39 - Il portone delle ex case Lucini – rilievo fotografico 05-10-11

programma di ricerca diretta da G. Caniggia volta alla valorizzazione delle preesistenze medievali. Oggi si presenta quindi in pietra a vista, con numerosi resti delle aperture messi in evidenza, e lo stemma della famiglia sulla pietra di chiave del portone d'ingresso.

22. TORRE S. VITALE

Per la storia di Torre San Vitale, posta alla fine di via Balestra, sull'angolo sud-est delle mura, si ramanda al capitolo primo.

Figura 7.40 - Torre S. Vitale – rilievo fotografico 25-07-11

23. LE MURA ORIENTALI

In tutti i tratti conosciuti le mura si mostrano con un paramento esterno di notevole qualità, a corsi regolari orizzontali di pietre ben squadrate. Non sonoinfatti le stesse mura che vennero rinforzate sia durante le invasioni germaniche, sia prima della guerra contro Milano (1117-1128). La guerra con Milano, terminata con la sconfitta di Como, segnò la scomparsa delle mura di edificazione romana, a cui erano stati aggiunti dei torrioni costruiti riutilizzando materiale proveniente dai monumenti romani: i milanesi vincitori le distrussero completamente,aggiungendo l'esplicito divieto di ricostruirle. Ma dopo pochi decenni, l'alleanza con l'imperatore Federico I Barbarossa permise a Como di risorgere: nel 1158-1159 le mura vennero ricostruite, seguendo un perimetro leggermente più ampio di quelle romane (circa 30 metri), e curando particolarmente la difesa del lato meridionale, in direzione di Milano. Sono queste le mura i cui resti, limati e ribassati nel corso dei secoli, si possono vedere ancora oggi. Nel 1192 fu aggiunta al lato sud delle mura la grandiosa Porta Torre e nel corso del XIII secolo venne integrato nel sistema difensivo comasco anche il Castello della Torre Rotonda.Si aggiunsero poi le due torri pentagonali agli estremi del lato meridionale (Torre Gattoni a ovest e Torre San Vitale a est) che con sensibilità gotica, riprendevano alcuni

Figura 7.41 - Le mura collegate alla torre S. Vitale- rilievo fotografico 29-09-11

motivi della romanica Porta Torre, tenendo però conto dei progressi dell'arte bellica, per offrire migliore resistenza ai colpi delle nuove armi e macchine da guerra. Tutta la cinta era difesa da un fossato, alimentato dal lago, che poi venne riempito e trasformato in viale alberato a inizio Ottocento. Le porte di accesso principale erano tre, una per ciascun lato: Porta Torre a sud, Porta Portello a est, Porta Sala ad ovest. Ingressi minori si aprivano in altri punti: sul lato orientale erano la Porta dei Liocchi (dietro la chiesa di S. Provino), la Porta di S. Lorenzo (vicino al castello della Torre Rotonda, al termine dell'attuale via indipendenza) e la Porta di San Vitale. Sotto la dominazione viscontea la parte nord-orientale delle mura venne integrata dalla Cittadella, voluta da Azzone Visconti per meglio controllare l'area urbana più importante dal punto di vista politico e religioso. Il tratto orientale delle mura, in particolare,

Figura 7.42 - I giardini pubblici di fianco alle mura orientali - rilievo fotografico 29-09-11

pare abbia subito degli spostamenti lungo l'arco dei secoli, e probabilmente prima dell'anno mille era collocato più all'esterno rispetto ad oggi. La retrocessione è presumibile sia stata effettuata per evitare le continue esondazioni del torrente Valduce. Ad oggi le mura orientali di fianco alla torre S. Vitale sono addossate ai musei civici e a proprietà private, perché sono state cedute nel Settecento quando hanno perso la loro funzione difensiva, e affiancate sul lato esterno da dei giardini pubblici. Sono quasi interamente ricoperte da vegetazione e necessiterebbero di urgenti interventi di manutenzione.

Figura 7.43 - Il tratto di mura orientali interrotto a livello del Duomo – rilievo fotografico 29-09-11

24. LE MURA MERIDIONALI

Figura 7.44 - Il primo tratto delle mura meridionali- rilievo fotografico 29-09-11

Le mura meridionali, come già detto, furono edificate e rinforzate da Federico Barbarossa, per contrastare gli attacchi eventuali della città di Milano. Ad oggi rimangono due tratti che coprono quasi l'intero perimetro meridionale: il primo va da torre S. Vitale fino all'ingresso dell'Istituto delle Canossiane, adiacente al Liceo sociopsicopedagogico che è di fianco a Porta Torre; il secondo va da Porta Torre fino a Torre Gattoni, con delle aperture in corrispondenza delle vie Diaz e Volta. Sono affiancati all'esterno da un largo viale pedonale su cui si tiene il mercato nei giorni di martedì, giovedì e sabato. Le condizioni delle mura meridionali sono decisamente migliori rispetto agli altri due versanti.

25. L'EX CHIESA DI S. FRANCESCO

Figura 7.45 - L'ex chiesa di S. Francesco- rilievo fotografico 07-10-11

A breve distanza dalle mura cittadine è l'ex-chiesa di S. Francesco (LARGO SPALLINO), unico resto del convento francescano fondato nel 1230. Il convento si situò, in modo del tutto analogo ad altre città, appena al di fuori delle mura, nell'immediato retroterra agricolo. Ilprimo insediamento conventuale doveva essere piuttosto povero, ma già nel secolo seguente fu restaurato, ingrandito e abbellito per opera del vescovo Lambertenghi.La chiesa si presenta, dopo il restauro tipologico condotto dall'arch. Rho negli anni Settanta, come una vasta chiesa a navata unica, affiancata su entrambi i lati da cappelle poco profonde, coperte da volte. A fianco era il campanile, poi andato distrutto. La facciata è preceduta da un pronao di origine cinquecentesca, ma la parete mostra resti evidenti di costruzioni anteriori. L'interno evidenzia ampie tracce di modificazioni, sopralzi, cambiamenti alle finestrature, ma nel complesso mostra ancora i caratteri dell'edificazione originaria, e in particolare la parte settentrionale inferiore è chiaramente ancora quella medievale. Nel 1798 il

convento venne soppresso ed adibito a caserma. Nel 1950 l'area venne scelta per la costruzione del nuovo palazzo di giustizia, e si decise di salvare solo la chiesa, abbattendo completamente il monastero a fianco d'essa. Oggi la chiesa è adibita a sala mostre.

Figura 7.46 - Porta Torre – rilievo fotografico 25-07-11

26. PORTA TORRE

Per la storia di Porta Torre, posta al centro delle mura meridionali, si rimanda al capitolo primo.

27. LA PINACOTECA

In via Diaz 84 è palazzo Volpi, edificato su preesistenti case medievali nel XVI-XVII secolo. All'interno ospita l'allestimento stabile della Pinacoteca, realizzato dall'arch. D Pandakovic nel 2003, in cui è in mostra la sezione medievale dei Musei Civici. I materiali qui confluiti provengono da vari edifici della città, di cui alcuni anche scomparsi, e costituiscono preziose testimonianze di un periodo particolarmente vivace e fecondo per il territorio lariano. Tra i principali reperti si segnalano gli affreschi provenienti dal convento benedettino di S. Margherita, la collezione di scultura altomedievale e romanica, e importanti rilievi. La sezione, organizzata in ordine cronologico, ha inizio proprio attraverso il portale romanico della chiesa di S. Margherita.

Figura 7.47 - Il portale di S. Margherita alla Pinacoteca – museicivici.comune.como.it11-2011

28.IL BORGO DI S. BARTOLOMEO/DI VIA MILANO

Il borgo di Porta Torre si sviluppò nel corso del medioevo ai lati della via che conduceva a Milano, strada di fondamentale importanza già in epoca romana. E' probabile che l'espansione urbana sia cominciata proprio dai terreni più vicini alle mura, in direzione sud, verso il Cosia, che costituiva una barriera naturale allo sviluppo della città. La parte della strada ai piedi delle colline che chiudono la convalle restò più a lungo libera dalle costruzioni.Lo sviluppo edilizio si

accentuò a partire dall'XI secolo, quando la ripresa dei traffici e dei commerci a media e lunga distanza ridiede importanza alle strade di grande comunicazione. A fianco della via per Milano sorsero quindi numerose botteghe e laboratori artigiani: le case commerciali erano strettamente aggregate (come si può ancora vedere negli esempi con portici all'inizio della via), con facciate larghe quanto bastava per una bottega. Nel periodo di attrito tra Como e Milano, la zona assunse notevole rilevanza strategica ed era difesa da mura costruite per chiudere l'accesso alla convalle da sud. Il borgo divenne poi il luogo di esazione dei dazi su via Regina in sostituzione a Vico. Anche lungo il tratto meridionale si vennero quindi addensandosi molte case commerciali e, poco sopra l'attuale chiesa di S. Rocco, venne fondato l'ospizio di S. Lazzaro che accoglieva i viaggiatori. Quasi intatta, nell'aspetto determinato dagli interventi dei secoli scorsi, è invece la cortina edilizia che circonda il primo tratto di via Milano, soprattutto sul lato orientale, dove si allineano alcune case con portici, in cui si evidenziano elementi che risalgono ad epoche diverse, dal medioevo all'ottocento. Via Milano ebbe sempre come caratteristica principale non tanto la signorilità delle case, quanto l'animazione delle botteghe e dei negozi.

Figura 7.48 - via Milano- rilievo fotografico 07-10-11

29.L'EX CONVENTO DI S. LAZZARO

A poca distanza dalla chiesa di S. Rocco, in via Rimoldi 5, è la chiesa sconsacrata di S. Lazzaro, cui era annesso un ospedaletto. Sulle principali vie di comunicazione il sistema medievale prevedeva infatti la presenza di numerosi ospedali-ospizi, al tempo stesso luoghi di sosta, di cura e di controllo del transito. Particolarmente importanti risultavano questi edifici in prossimità della città: il più vicino a Como lungo la via da Milano era appunto S. Lazzaro, fondato sul finire del XII secolo. La chiesa era

Figura 7.49 - L'ex convento di S. Lazzaro – rilievo fotografico 07-10-11

originariamente a due piani, secondo un modello unico nella zona comasca. Durante il XV secolo l'annesso piccolo convento cessò di esistere e l'ospedale fu unito, non senza reticenze, a quello pubblico di S. Anna. La struttura originaria della chiesa venne modificata nel XVI-XVII secolo, quando, demolita la volta che divideva l'edificio in due piani e rialzato il pavimento, fu costruita una nuova volta barocca. Sconsacrata nel 1779, la chiesa di S. Lazzaro venne trasformata in abitazione e magazzino e per tale scopo manomessa. Pur in stato di conservazione assai precario, le pareti esterne dell'edificio conservano ampi resti della costruzione originaria: su quelle laterali vi sono le finestrelle che davano luce alla chiesa superiore, su quella dell'abside due finestre; la facciata ha ancora un grande finestrone in marmo bianco e nero, parzialmente murato. Degli edifici a uso conventuale e ospedaliero rimane oggi solo parte di un muro con un portale archiacuto.

30. LA CHIESA DI S. CARPOFORO

Il complesso di S. Carpoforo è situato sulle falde del colle Baradello, in posizione dominante sulla città, a una certa distanza dall'abitato vero e proprio e nei pressi del vecchio tracciato della via Milano. In virtù di questa sua collocazione strategica, il luogo venne utilizzato già in epoca romana, quando vi sorgeva forse un tempio dedicato a Mercurio e probabilmente anche un sistema fortificato per il controllo del transito. E' certa la fondazione dell'abbazia nel 1040, in occasione della quale venne restaurata la chiesa. La basilica presenta una struttura che solo in apparenza, e a seguito di manomissioni e distruzioni, assomiglia a quella tipica delle basiliche romanico-lombarde. In origine infatti le tre navate longitudinali erano attraversate da un transetto collocato quasi al centro della chiesa. La struttura esterna di tale transetto è andata distrutta, ma si sono conservati gli arconi interni che oltrepassano la navata centrale. L'inconsueta collocazione di tale transetto ha fatto presupporre che ne esistesse un secondo in prossimità delle absidi, ma non è possibile stabilire con certezza se tale corpo sia stato realizzato perché la zona absidale fu probabilmente edificata in una seconda fase (XII-XIII secolo). In essa sono ripresi gli schemi lombardi, con tre absidi, delle quali la maggiore è rialzata per far posto alla cripta, e con l'alto campanile impostato sull'abside

Figura 7.50 - L'abside e il campanile della chiesa di S. Carpoforo – rilievo fotografico 07-10-11

minore destra. Caratteristica di S. Carpoforo è pure l'assenza di una facciata vera e propria, dato che la parte anteriore della chiesa è stretta contro il declivio del colle, in una posizione imposta dall'orientamento est-ovest e dal poco spazio a disposizione; in seguito la facciata fu parzialmente interrata da smottamenti. L'ingresso in chiesa avviene quindi attraverso porte laterali. La chiesa fu trasformata in modo radicale nella seconda metà del XVI secolo: si costruì un secondo piano nelle prime due campate delle navate, si eliminò il transetto, si edificò un tiburio cubico sopra il presbiterio e si costruirono le volte sulle navatelle. Si effettuarono ingenti opere di restauro nel 1879 e poi nel 1901, a seguito delle preoccupanti condizioni statiche dell'edificio. Nei secoli successivi la chiesa e il convento vennero progressivamente abbandonati, perchè troppo lontani dalla città, e tutt'oggi sono raramente aperti al pubblico.

31. L'EX CHIESA DI S. MARTINO IN SYLVIS E LE CASCINE ADIACENTI

Lungo la strada che sale al Baradello, al numero 21, si trovano i resti della chiesa di S. Martino (detta *in sylvis* per distinguerla dall'omonima). Di fondazione romanica, nel XIII secolo vi si stabilirono, per un breve periodo, i Domenicani. Cadde poi in rovina e già nel Cinquecento era stata trasformata in abitazione colonica, subendo quindi alcuni adattamenti necessari alla nuova funzione, come il fienile costruito dopo la metà del Settecento. Durante il XVIII e XIX secolo fu di proprietà dei Venini; attualmente è adibita a ristorante. Nell'edificio si possono ancora vedere il portale sovrastato da una lunetta con un frammento di affresco, parte del muro settentrionale dell'unica navata e alcune fondazioni, con caratteri comunemente datati al XII secolo.

Pure di fondazione molto antica sono le due cascine dette del Respaù: secondo alcuni potrebbero addirittura costituire i residui dell'organizzazione agraria in *curtes* introdotta in periodo altomedievale; presentano infatti qualche resto che potrebbe essere attribuito all'epoca medievale.

Figura 7.51 - I resti della chiesa di S. Martino e le cascine adiacenti – rilievo fotografico 07-10-11

32. CASTEL BARADELLO

Figura 7.52 - La torre del Baradello edificata da Federico Barbarossa – rilievo fotografico 07-10-11

Le colline a sud della convalle comasca furono luogo di fortificazione e difesa fin dalla preistoria. La posizione strategica di tali colline non potè sfuggire ai romani, in quanto senza un sistema di avvistamento e di difesa sul monte Baradello e sul monte Orfano non sarebbe stato possibile difendere daguatamente la città. Durante le invasioni germaniche vennero riutilizzate le fortificazioni tardoromane e il Baradello divenne uno dei capisaldi difensivi di Como: a quest'epoca si riferiscono gli importanti resti della cerchia muraria interna, valorizzati con i restauri del 1979. La spessa muratura è ben conservata, così come le sette feritoie originali che vi si aprono.Il castello del Baradellovenne riedificato nell'altomedioevo, in forme molto ridotte rispetto alle attuali; esso comunque rimase in uso fino all'epoca romanica, tanto che era ancora utilizzabile durante la guerra decennale contro Milano, quando i comaschi vi si rifugiarono.L'ampliamento del castello fu operato nella seconda metà del XII secolo per interessamento di Federico I detto il Barbarossa: a questo intervento si deve la ricostruzione della cinta e l'edificazione della torre all'interno della piccola cerchia più antica. Il complesso fortificato era un vero e proprio presidio militare, infatti durante gli scavi più recenti sono venuti alla luce le strutture di base di molti locali di servizio e di abitazione, nonché le fondazioni della chiesa di S. Nicola. Il castello fu poi rafforzato durante il dominio visconteo. Nel 1527, per evitare che il Baradello potesse essere usato dai francesi, la fortezza venne smantellata e restò in piedi solo la torre, smilitarizzata e venduta a privati. Fu restaurata nel 1903, negli anni Settanta e recentemente (2003-2010).

33. LA CHIESA DI S. ABBONDIO E LA CHIESA DEI SS. COSMA E DAMIANO

Nella zona a ridosso del monte Baradello sorge la basilica di S. Abbondio. Un tempo isolata in mezzo ai campi e alle vigne, la chiesa si trova, dalla metà dell'Ottocento, stretta tra l'area industriale ex Ticosa e la sede della ferrovia. A questo si deve il sostanziale abbandono dell'edificio monumentale, scarsamente frequentato dalla popolazione, tranne che in poche occasioni di feste o manifestazioni pubbliche. La collocazione della chiesa, sul luogo di un precedente edificio dedicato agli apostoli Pietro e Paolo, fu invece scelta proprio in ragione

della vicinanza della strada Regina, arteria di fondamentale importanza in epoca antica. La chiesa paleocristiana, di cui nel corso dei restauri ottocenteschi vennero ritrovati i resti sotto il pavimento della basilica attuale, presentava una pianta a croce, con un transetto leggermente sporgente e un'unica navata preceduta da un ampio nartece. Nel 1013 venne trasformata in chiesa abbaziale; l' insediamento religioso si arricchì grazie allo sfruttamento dei terreni agricoli attigui e alle offerte dei fedeli in pellegrinaggio per vedere il corpo di S. Abbondio, e così i benedettini poterono ricostruire in forme grandiose la chiesa e il monastero. La basilica presenta una struttura singolare, con cinque navate e un profondo coro preceduto da due campanili affiancati. Il contrasto tra il corpo rettangolare delle navate e il coro che se ne distacca ha fatto supporre che la chiesa sia stata edificata in due fasi distinte, a partire dal coro. Resta da stabilire la provenienza del motivo a cinque navate, inusuale in epoca romanica ed esempio unico nel comasco. L'esterno è fortemente caratterizzato dalla presenza nel settore absidale dei due campanili accoppiati: anche questo motivo è inconsueto nel romanico lombardo. Le quattro absidi minori, alte e strette, sono realizzate in spessore di muro, invece l'abside maggioresporge profondamente. La basilica romanica era completata da un nartece davanti alla facciata, formato da un atrio a portico, con tre navate, e da una sala superiore. Fu distrutto nel XVI secolo: unico resto sono oggi le quattro semicolonne appoggiate alla facciata, in cima alle quali si può ancora scorgere l'inizio degli archi del pronao. Priva di questo elemento la facciata possiede una severa essenzialità che riproduce l'articolazione dei volumi interni ed evidenzia la scansione delle diverse navate. L'interno si presentava in antico in modo assai diverso rispetto alla veste attuale, molto meno decorata. L'unico settore della chiesa che rende compiutamente l'idea della situazione antica è l'abside, decorata con un ciclo di affreschi trecenteschi. Molti elementi, come il soffitto ligneo o il campanile settentrionale, non sono

Figura 7.53 - Abside e campanili della chiesa di S. Abbondio – rilievo fotografico 07-10-11

Figura 7.54 - L'interno della chiesa di S. Abbondio – rilievo fotografico 07-10-11

originari ma sono frutto della ricostruzione stilistica operata nel 1865 da Serafino Balestra.

Il monastero attiguo è stato invece oggetto di restauro recente ed ora vi è collocata l'università di Como, ad eccezione della parte affacciata su via Regina che è ancora in cantiere.

Figura 7.55 Il cortile dell'antico monastero di S. Abbondio – rilievo fotografico 07-10-11

A poca distanza dalla basilica di S. Abbondio, lungo la via Regina, è la chiesa sconsacrata già dedicata ai**Santi Cosma e Damiano** (VIA REGINA 31). Attualmente l'edificio si presenta come una piccola chiesa romanica a navata unica e abside semicircolare, databile all'XI secolo, ma esso fu in precedenza più vasto e più articolato. Nel corso di scavi eseguiti nel 1990 sono infatti stati ritrovati i resti di una costruzione a pianta cruciforme, il cui corpo longitudinale, in direzione est-ovest, presentava una suddivisione in navate, di cui, oltre le fondazioni, restano le basi dei pilastri inglobati in una parete dell'edificio attuale. Già verso la fine del Seicento la chiesa era stata trasformata in abitazione dell'agente dell'abbazia. Nonostante le modifiche introdotte durante questo periodo, rimangono leggibili l'abside e la facciata, grazie anche ai restauri del 1990 che hanno eliminato tutte le sovrastrutture.

Figura 7.56 - Abside della chiesa di S. Cosma e Damiano – rilievo fotografico 07-10-11

Figura 7.57 - I resti delle case trecentesche sulla facciata del conservatorio G. Verdi – rilievo fotografico 07-10-11

34. L'EX OSPEDALE DI S. ANNA

Il terzo asse viario del quartiere a meridione della città murata è costituito dall'attuale via Cadorna, fortemente condizionata dall'Ospedale di S. Anna. Si è però supposto che l'impianto del borgo sia più antico, risalente all'epoca romana, quando costituiva una strada parallela alla via per Milano, dotata forse di un

proprio ponte nel punto di incontro con il Cosia; solo in seguito la strada si sarebbe spostata verso oriente riunendosi con il borgo di S. Bartolomeo. All'inizio della strada, poco fuori le mura della città e presso la torre Gattoni, è il conservatorio G. Verdi, un tempo Ospedale di S. Anna. L'ospedale sorse nella seconda metà del Quattrocento, inglobando l'antica chiesa di S. Anna e alcune case medievali. Nel 1979 è stato avviato un restauro conservativo del complesso e durante i lavori sono emersi cospicui resti delle costruzioni antiche inglobate nell'ospedale (tra cui la fronte delle case trecentesche che costituirono il nucleo originario) edella facciata realizzata nel Quattrocento, delle quali sono state rimesse in luce alcune parti sulla facciata su via Cadorna.

35. LE MURA MERIDIONALI

Il secondo tratto delle mura meridionali, che va da Porta Torre a Torre Gattoni, è affiancato sempre da un largo vialepedonale, su cui si svolge il mercato, ma una parte di esso è lasciato ad erba.Di fianco alla Torre Gattoni, il cui nome proprio sarebbe Torre di Porta Nuova, sorgeva appunto la Porta Nuova, collocata alla fine di via Volta, dove erano anche altre opere difensive distrutte nel 1447. L'altra interruzione delle mura, corrispondente alla fine di via Diaz, è invece recente.

Figura 7.58 - Il secondo tratto delle mura meridionali, vicino a Torre Gattoni – rilievo fotografico 29-09-11

36. TORRE GATTONI

Per la storia di Torre di Porta Nuova, detta Torre Gattoni dal nome del fisico che vi installò il proprio laboratorio, posta all'angolo sud-ovest delle mura, si rimanda al capitolo primo.

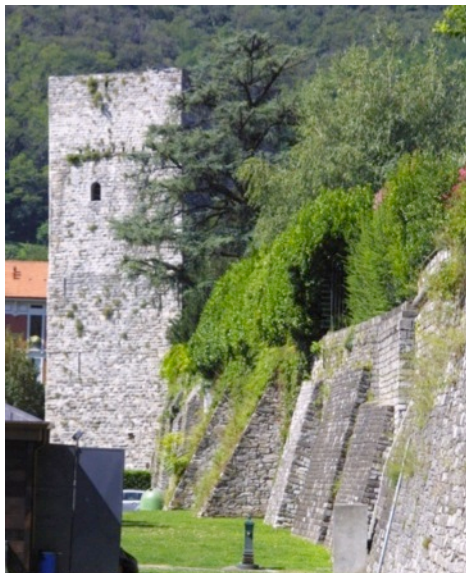


Figura 7.59 - Torre Gattoni – rilievo fotografico 25-07-11

37. LE MURA OCCIDENTALI

Le mura occidentali sono conservate fino ad appena oltre via Cinque Giornate, e sono anch'esse, come

quelle orientali, addossate ai giardini pensili privati all'interno, e affiancate da un giardino pubblico all'esterno. L'ultimo tratto di mura, che non è pervenuto ad oggi e che andava da Porta Sala (attuale piazza Cacciatori delle Alpi) fino al lago, fu l'ultimo ad essere costruito, nel 1288, dopo lunghe opere di bonifica. Il tratto rimasto è interrotto in molti punti, in corrispondenza delle vie dell'Annunciata, Indipendenza, e Cinque Giornate. Anche le mura occidentali, se pur in minor misura, sono ricoperte da vegetazione e avrebbero bisogno di interventi di manutenzione.

Figura 7.60 - I giardini pubblici lungo alle mura occidentali – rilievo fotografico 29-09-11

38. PALAZZO ERBA-ODESCALCHI

All'incrocio fra via Indipendenza e via Volta comincia l'isolato occupato dalla sede della biblioteca comunale, realizzata negli anni Sessanta con la ristrutturazione e la ricostruzione dell'antico palazzo Erba-Odescalchi. Si propose negli anni Sessanta una radicale ristrutturazione, che contemplava la conservazione della parte più antica e ritenuta di maggior pregio e la ricostruzione della restante parte. Il palazzo consisteva infatti di diversi corpi di fabbrica riuniti intorno a tre corti di epoche differenti. La parte più antica era quella all'angolo con via Indipendenza, dove un portico su basse colonne cilindriche evidenziava un'epoca medievale; la parte restante era di epoca seicentesca e rinascimentale. Il progetto vincitore del bando rispettò la richiesta di mantenere solo una parte del complesso, che fu quindi quella medievale. Ci furono però molti strascichi polemici, in ragione di una possibile conservazione dell'intero complesso edilizio. Nel corpo di fabbrica ristrutturato sono stati messi in luce numerosi resti medievali, anche di epoche diverse (portali archiacuti e a tutto sesto, bifore e monofore). Le aperture ai piani superiori erano originariamente decorate

Figura 7.61 - Palazzo Erba Odescalchi– rilievo fotografico 05-10-11

a colori vivaci e su alcune di esse spiccano stemmi della famiglia Rusconi. All'interno il cortile è porticato con volte a crociera impostate su archi molto ribassati. Nella porzione di nuova costruzione sono stati ricomposti elementi provenienti dall'antico palazzo, tra cui il portale in ghiandone e – all'interno – il cortiletto rinascimentale.

39. LA CHIESA DI S. EUSEBIO

La chiesa parrocchiale di S. Eusebio, ubicata a ridosso delle mura e risalente all'inizio del XII secolo (attestata nei documenti a partire dal 1186) era una costruzione romanica a tre navate, secondo il classico schema lombardo. Verso la fine del XVI secolo si trovava in uno stato di tale decadenza che il vescovone sollecitò il rinnovamento. La ricostruzione alterò l'orientamento dell'edificio in modo da rendere più comodo l'accesso, fino ad allora stretto contro le mura (per norma canonica, fino alla controriforma, la facciata doveva essere rivolta verso ovest). Della chiesa originaria restarono quindi solo le pareti laterali (è tutt'ora visibile un tratto di quella meridionale con una finestrella romanica murata) e la parte alta della facciata con il campanile a vela. L'edificio attuale si presenta all'esterno in veste neoclassica.

Figura 7.62 - La parete esterna meridionale della chiesa di S. Eusebio – rilievo fotografico 05-10-11

40. VIA VOLTA

La testata dell'isolato compreso tra via Volta e via Carcano presenta ancora il tessuto edilizio antico. Qui sussiste un gruppo di case di struttura medievale, alterate nel corso del secolo scorso e in anni recenti ristrutturate con la valorizzazione di alcuni elementi antichi (VIA VOLTA 3). Ai primi del Novecento venne proposto più volte di sostituire l'antico tessuto edilizio con un moderno edificio intensivo, ma il progetto venne fortunatamente bocciato dall'Amministrazione Comunale. Alla fine degli anni Sessanta si propose

Figura 7.63 - Resti medievali nella facciata della casa in via Volta 3 – rilievo fotografico 07-10-11

invece la ristrutturazione del complesso di case, e in base agli elementi emersi dopo la rimozione dell'intonaco ottocentesco si poté ricostruire con sufficiente precisione la storia architettonica del gruppo di edifici. La seconda porzione dell'unità edilizia lungo via Volta era costituita da una casa a corte, ristrutturata nel 400 e divenuta poi casa padronale dei Canarisi. Nella muratura della fronte, quasi integralmente conservata, si evidenziavano al piano terra una serie di finestre strombate di forma rettangolare, al primo piano alcune bifore archiacute e al secondo piano una serie di aperture ad arco ribassato. Tutte queste finestre erano però state murate e sostituite con altre, con ogni probabilità ottocentesche. L'ultima parte del fabbricato lungo via Volta era formato da un'altra casa mercantile ascrivibile al XIII-XIV secolo, con arconi al piano terra e resti di una bifora al piano primo. Nel momento di concretare il restauro si dovette fare una scelta tra conservare integralmente i resti medievali e privilegiare invece la struttura ottocentesca per garantire una maggiore funzionalità interna; si optò per questa seconda ipotesi. Dopo la ristrutturazione, curata dall'ing. G. Mantegazza, l'edificio si presenta con la fronte ottocentesca lungo via Volta, nella quale sono state lasciate a vista solo alcune finestre quattrocentesche al piano terra e al primo piano, con alcuni affreschi decorativi.

Figura 7.64 - La casa mercantile alla fine dell'isolato in via Volta – rilievo fotografico 07-10-11

41. PORTA SALA

Il collegamento tra il centro della città, cinto dalle mura, e i quartieri suburbani, avveniva fino al secolo scorso attraverso pochi punti di interscambio: i principali, come già detto, erano le tre porte bastionate del Portello a est, di Porta Torre a sud e di Porta Sala a ovest. Quest'ultima, ubicata nell'attuale piazza Cacciatori delle Alpi, ebbe per molti secoli una

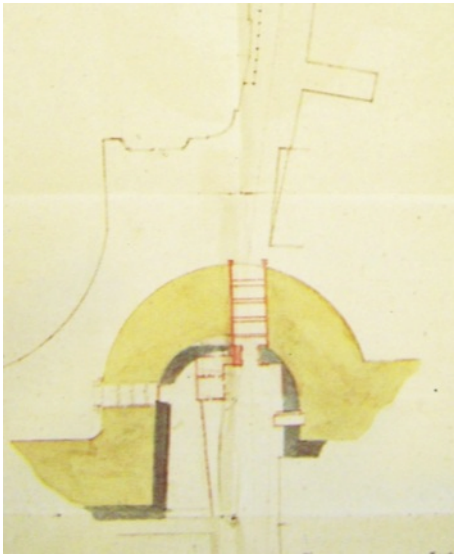


Figura 7.65 - Pianta di Porta Sala del settecento – "Como: le mura – documenti di storia cittadina" C. Rodi, Banco Lariano, Como 1974

rilevante importanza, poiché dava accesso alla strada verso i paesi del lago e a quelli oltremontani. In analogia a quanto successo nei pressi delle altre porte, anche vicino a Porta Sala si sviluppò, nei secoli passati, un insediamento lineare ai lati della strada. Alla fine del Settecento venne abbattuta per essere sostituita con una nuova barriera daziaria.

42. BORGO VICO

Il borgo che si estende lungo la sponda occidentale del primo bacino del lago, costituisce una delle più antiche porzioni della città di Como. Il suo nome denuncia un'origine romana, ma i primi insediamenti di questa zona potrebbero addirittura essere di epoca anteriore (vista la presenza di necropoli). Il borgo crebbe autonomo dal resto della città, ospitando forse nell'altomedioevo un insediamento longobardo. In seguito, chiuso entro una cerchia di mura proprie (di cui però non si sono ritrovate tracce sufficienti per ricostruirne il perimetro) esso si sviluppò soprattutto per i contatti commerciali e per la riscossione dei pedaggi sulla strada Regina che lo attraversava; per questa collocazione si arricchì di fondazioni religiose che svolgevano anche funzioni di assistenza ai viaggiatori, pellegrini e mercanti. Nel 1127, alla fine della guerra decennale, i milanesi distrussero la cinta di mura che circondava il borgo e Vico perse il ruolo daziario, che passò a San Rocco. Se questo quartiere non conobbe la stessa crescita degli altri lo si dovette probabilmente alla vicinanza del fiume Cosia a anche alla precoce fondazione di alcuni importanti edifici religiosi, che impedirono l'espansione dell'edilizia privata. Di questi monasteri, tuttavia, non resta oggi che qualche piccolo resto poco riconoscibile.

Figura 7.66 - via Borgo Vico – rilievo fotografico 07-10-11

43. LA CHIESA DI S. GIORGIO

Uno dei poli fondamentali del lungo allineamento di borgo Vico è costituito dalla chiesa di S. Giorgio,

Figura 7.67 - La chiesa di S. Giorgio – rilievo fotografico 07-10-11

edificata sull'antica via Regina, fin dai tempi più antichi percorsa da un intenso traffico. Di probabile origine longobarda, la chiesa presenta una successione continua di interventi che si sono sovrapposti a partire dal secolo XI fino agli inizi del Novecento. Della chiesa romanica, databile molto probabilmente agli anni 1050-1075, non restano che le tre absidi, che dovevano concludere una struttura basilicale a tre navate. Attualmente resta visibile di questi resti solo una porzione dell'abside centrale, in parte interrata per l'innalzamento del livello del lago. Le due absidi minori sono ricavate dallo spessore del muro perimetrale, secondo un disegno piuttosto frequente nella zona comasca. L'edificio romanico si conservò fino ai primi decenni del Seicento, quando la riedificazione venne condotta pressoché dalle fondamenta.

44. VIA OLGINATI

La breve via che si dirige verso piazza Mazzini da via Muralto è fiancheggiata sul lato meridionale da un basso edificio (VIA OLGINATI 3) con estesi resti medievali. La casa,ad oggi di proprietà della famiglia Bazzi, costituisce il più compiuto esempio di restauro tra quelli condotti alla fine degli anni Sessanta a seguito della ricerca sulla città murata condotta dall'arch. G. Caniggia. Nel dicembre 1969, l'Amministrazione Comunale varava un primo programma di valorizzazione e restauro di edifici del centro storico, a seguito dei sondaggi che avevano messo in luce interessanti elementi medievali sotto gli intonaci ottocenteschi di edifici fino ad allora poco valorizzati. Tra i primi stabili scelti (dieci nella città murata), solo in questo caso si è proceduto a un restauro integrale, mentre negli altri ci si è limitati a un intervento sulla sola facciata. L'intervento di ristrutturazione si è ripercosso anchesulla destinazione d'uso dell'edificio: alle vecchie e malandate botteghe si sono sostituiti moderni negozi di abbigliamento e mobili, mentre negli alloggi interni sono stati sistemati uffici e residenze signorili. Casa Bazzi presenta un fronte medievale in cui si riconosce l'aggregazione di tre case medievali in modo da formare un'unica corte. Nel corso dei lavori è stato possibile il recupero integrale della fronte sulla strada, grazie anche al ritrovamento degli elementi di bifore e finestre, smontate nell'Ottocento, e alla sistemazione interna con cui si sono riportati i piani ai livelli originari. Al termine dei restauri la

Figura 7.68 - Casa Bazzi – rilievo fotografico 07-10-11

facciata evidenzia diversi interventi riconducibili ai secoli dal XII al XIV, mentre nel cortile interno sono presenti, su un lato, balconi a sporto con struttura in legno e riempimento in mattoni (simili a quelli in piazza S. Fedele).

45. VIA MURALTO

Anche nelle case attigue su via Muralto sono stati messi in luce alcuni elementi antichi.

Il prospetto di una casa (VIA MURALTO 39), attualmente adibita a laboratorio artigiano, presenta tracce di finestre archiacute, decorate con finte merlature in rosso mattone e affrescate probabilmente nel XV secolo. All'interno è un cortiletto ampiamente trasformato in epoca moderna, ma in cui si riconoscono ancora colonne medievali sagomate con capitelli decorati.

Figura 7.69 - Facciata della casa in via Muralto 39 – rilievo fotografico 07-10-11

46. PIAZZA CAVOUR

L'attuale piazza Cavour risale alla metà dell'ottocento, quando – essendo stato approntato il nuovo porto nello specchio di lago antistante la città murata – poté essere colmato l'antico approdo, in uso da circa cinque secoli.L'antico porto commerciale cittadino, che occupava gran parte dell'odierna piazza, venne fatto scavare da Azzone Visconti nel 1335, in sostituzione di uno precedente che sorgeva al margine settentrionale dell'attuale piazza Roma (sull'area del palazzo Plinius). Essendo stata questa darsena integrata all'interno della Cittadella e destinata quindi ad usi militari, il signore di Milano e di Como dotò la città di un nuovo approdo civile, più comodo ed ampio, di forma approssimativamente semicircolare, in una zona che probabilmente era stata guadagnata dall'urbanizzazione solo nei due secoli precedenti (nell'XI-XII secolo la fascia a lago era paludosa). La realizzazione del porto visconteo determinò in tempi molto rapidi un'accresciuta importanza di tutta l'area retrostante, che divenne uno dei principali centri del commercio cittadino: il cosiddetto quartiere della Cortesella.Il porto di Azzone Visconti era munito di fortificazioni lungo la riva e di due torrette che affiancavano l'entrata; tra queste veniva tesa una catena in modo da sbarrare l'accesso di notte oppure in caso di eventi bellici.

Figura 7.70 -Veduta del porto di Como da est, acquatinta del 1830 circa - "Como e il suo territrio" a cura di G. Rumi, V. Vercelloni, A. Cova, Cariplo, Milano 1995

47. BORGO DI S. AGOSTINO/COLONIOLA

Figura 7.71 - Fianco della città verso il borgo S:Agostino, acquatinta colorata del 1836 - "Como e il suo territrio" a cura di G. Rumi, V. Vercelloni, A. Cova, Cariplo, Milano 1995

Secondo un'antica tradizione, ripresa più volte anche in epoca moderna, il borgo di Coloniola fu fondato ai tempi di Giulio Cesare nel 59 a.C. dal gruppo di 500 greci giunti insieme agli altri 5000 coloni romani. Essi avrebbero voluto mantenere la loro indipendenza etnica insediandosi in un luogo separato dal resto della città, in una piccola colonia (*coloniola*, appunto) dove avrebbero svolto attività prevalentemente commerciali.Al di là di questa tradizione non verificabile, l'autonomia della zona è assicurata in epoca successiva dalla presenza di mura separate da quelle della città, come nel caso di Borgo Vico. Queste mura, munite di torri e di porte fortificate, resistettero fino al 1127, quando vennero abbattute dai milanesi al termine della guerra decennale. Non è certo dove fossero situate con precisione, ma è certo che racchiudevano un'area abbastanza ampia. Nel successivo periodo di lotte tra guelfi e ghibellini si eressero nuovamente delle fortificazioni (i

resti di una torre sussistono ancora oggi dietro piazza Croggi), ma una cinta completa non venne più ricostruita.All'interno del borgo le attività erano prevalentemente commerciali, sicuramente connesse al lago, vista l'importanza del porto munito di molo, documentato da alcuni quadri d'epoca e da altre fonti storiche. La sua popolazione era formata dunque in gran parte da pescatori, artigiani e lavandaie, ma non mancavano le famiglie nobili come i Raimondi. Probabilmente in relazione alla funzione di punto di transito sono gli insediamenti, già documentati in epoca medievale, dell'ospizio di S. Agostino e dell'ospedaletto di S. Silvestro (poi trasformato nel convento di S. Antonio Abate). Nel corso dei secoli la zona perse progressivamente la sua indipendenza, gravitando sempre più verso la città, mentre la riva veniva parzialmente occupata dalle residenze signorili.

Figura 7.72 - via Trieste- rilievo fotografico 05-10-11

L'unico isolato che ad oggi mostra ancora l'aspetto originario del borgo è quello compreso tra il Lungo Lario, la piazza della funicolare, via Coloniola e via Parravicini. Si tratta di un gruppo di case (originariamente abitate da pescatori, artigiani e lavandaie) che sono rimaste sostanzialmente integre, mentre il resto del borgo è stato radicalmente trasformato a partire dalla metà dell'Ottocento. La sola fondamentale diversità rispetto alla situazione originaria è la presenza della strada lungo la riva (via Trieste): un tempo gli edifici si affacciavano direttamente sulla sponda, e gli spazi ora occupati da un chiosco-bar e da una piazzetta erano delle darsene. Il gruppo di case è prevalentemente databile al secolo XVI, con qualche aggiunta del secolo XIX; solo le pareti esterne verso via

Figura 7.73 - via Parravicini – rilievo fotografico 05-10-11

Parravicinievidenziano caratteri di costruzioni fortificate medievali. Tipica è la presenza di percorsi pedonali secondari tra le varie case, fondamentali per il disimpegno delle corti. Il nucleo subì nel corso del Novecento un lento ma inesorabile degrado, fino a ridursi ad un agglomerato di abitazioni assai povere e malconcie. Il restauro della fine degli anni Settanta, diretto dall'arch. G. Caniggia, ha restituito valore al complesso di edifici, anche se ne ha modificato radicalmente la funzione e la composizione sociale; dati gli altissimi costi d'intervento, e quindi di vendita degli immobili, le case dei pescatori sono oggi in gran parte adibite ad uffici e studi professionali.

Poco distante dal nucleo del borgo è una torre medievale, probabile avanzo di quelle edificate nel corso delle lotte tra fazioni guelfe e ghibelline, piuttosto che di quelle precedenti la guerra contro Milano: della costruzione sono attualmente visibili due pareti (VICOLO BONOLA), ma sussistono anche le altre due, inglobate nell'edificio che chiude piazza Croggi.

48.IL CONVENTO DI S. AGOSTINO

La chiesa di S. Agostino sorge in posizione di cerniera tra la città murata e il borgo di Coloniola (PIAZZA AMENDOLA), tanto che già prima dell'assunzione del titolo parrocchiale il nome della chiesa serviva a identificare i nucleo abitato. La sua costruzione risale, secondo la tradizione, all'anno 1300. L'edificio presenta il tipico modello spaziale dell'architettura gotica monastica: tre navate scandite da alti pilastri che segnano un ritmo calmo e preciso dalla facciata fino alle tre absidi piatte; sul lato sinistro è una serie di cappelle, forse contemporanee all'erezione della chiesa. L'edificio evidenzia quindi un certo distacco rispetto alla tradizione architettonica locale, che sembra ripresentarsi solo nell'uso – frequente in epoca romanica – delle travature in legno in vista per le coperture delle navate. Anche la fronte è caratterizzata da un'articolazione essenziale: una semplice facciata a spioventi, divisa in tre campi da lesene in corrispondenza delle navate; gli elementi decorativi sono ridotti al minimo (pinnacoli, rosone, portale scolpito). Alla fine del XVIII secolo, quando acquisì il titolo parrocchiale, vennero apportate alcune modifiche decorative e strutturali (volte delle navate). Tuttavial'interno presenta oggi una situazione probabilmente simile a quella originaria, poiché

Figura 7.74 -La chiesa di S. Agostino – rilievo fotografico 05-10-11

i restauri degli anni Sessanta hanno eliminato gran parte delle decorazioni aggiunte nel corso dei secoli, ad eccezione delle cappelle laterali.

La chiesa è affiancata dai resti dell'antico monastero dei frate Eremitani, eretto contemporaneamente ad essa, ma in seguito ampliato a più riprese, soprattutto dopo la sua soppressione nel 1772. Delle costruzioni originarie, assai vaste, rimangono solo resti parziali dei due chiostri: un lato di quello più piccolo e tre lati di quello più grande, entrambi rifatti intorno alla metà del Cinquecento.

Figura 7.75 - L'interno della chiesa di S. Agostino – rilievo fotografico 05-10-11

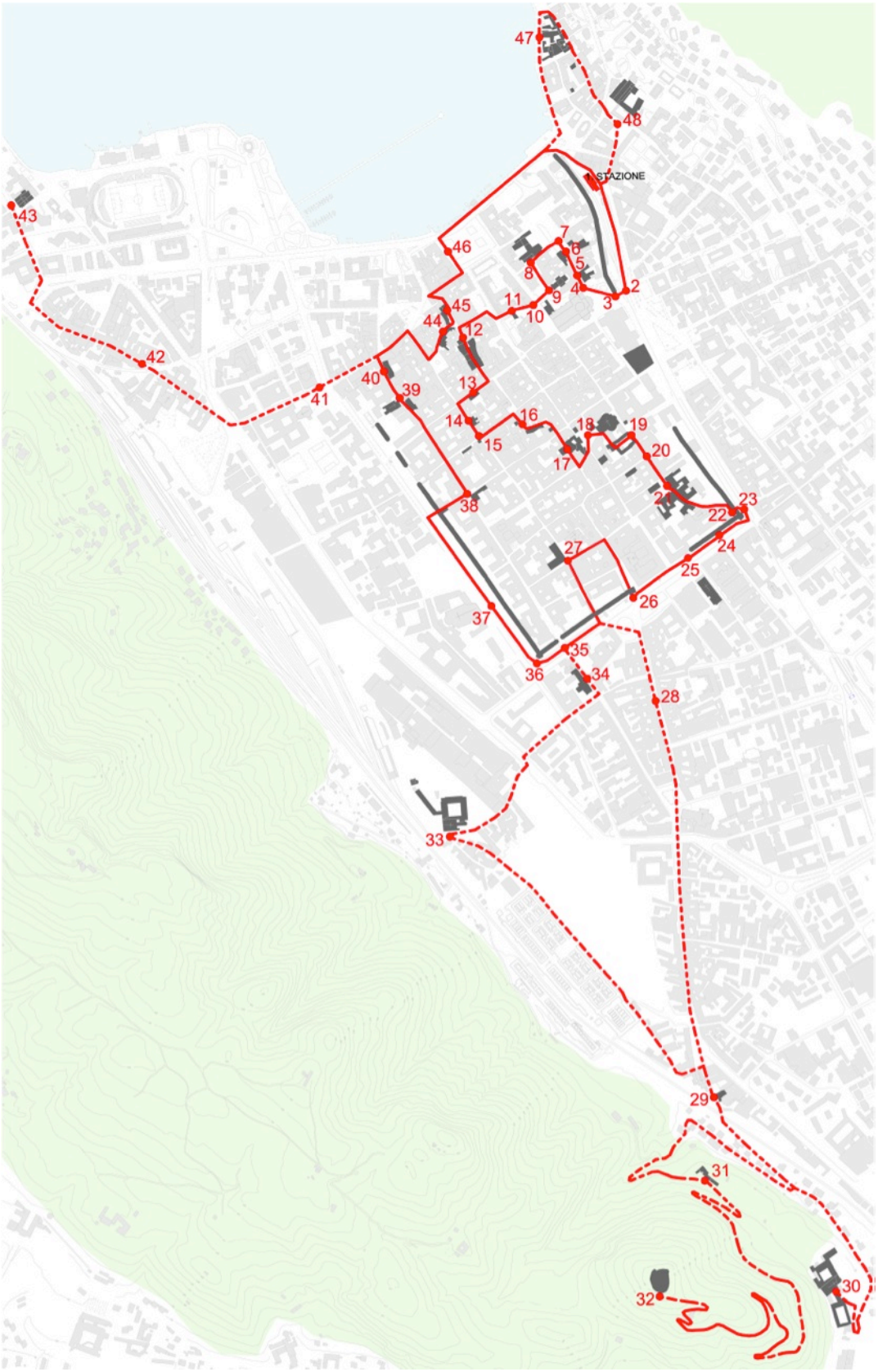


Figura 7.76 – L'itinerario architettonico medievale di Como – riferimento tavola P.01

8.

Conclusioni

8. Conclusioni

La presente Tesi analizza le quattri Torri poste lungo la cerchia delle mura medievali dalla città di Como. Si tratta di Torre Gattoni, Porta Torre, Torre San Vitale, collocate ancora oggi lungo le mura, e Torre Pantera situata in Piazza Verdi a pochi metri dal Duomo, dal Palazzo del Fascio di Terragni e dal Teatro Sociale.

Sono stati sviluppati i seguenti argomenti: l'analisi approfondita dello stato di fatto delle singole Torri; un progetto di manutenzione straordinaria e un piano di manutenzione programmata; progetti di consolidamento struttrale e progetti di recupero di rifunzionalizzazione in grado di dare nuova visibilità agli edifici.

Porta Torre è l'unico edificio, tra quelli oggetto di studio, che ricopre un ruolo centrale nella vita della cittadina comasca, poiché è collocata in corrispondenza di uno dei principali varchi di accesso all'area del centro storico. Lo stato di conservazione dell'edificio è buono, anche se sono evidenti degradi legati ad agenti inquinanti, fattori antropici e alla presenza di vegetazione. La parte alta della Torre è interessata da ampie zone in cui le pietre evidenziano fessurazioni e i giunti di malta presentano un avanzato stato di deterioramento. La proposta di consolidamento strutturale, è quella di procedere con iniezioni e compattazioni della sommità al fine di scongiurare i rischi connessi a caduta di pietre. In secondo luogo si propone l'introduzione di una cerchiatura che possa migliorare lo stato di conservazione dei paramenti murari che, privi di copertura, possono essere soggetti a stati tensionali non ottimali.

La proposta di rifunzionalizzazione dell'edificio consiste nell'inserimento di una scala all'interno del vano della Torre, con l'obiettivo di rendere fruibile l'edificio e, al contempo, di donare ai cittadini un'emozionante nuovo punto di osservazione della città dall'alto.

Torre Gattoni è soggetta a un elevato fuoripiombo di alcuni prospetti che potrebbero, anche nel breve periodo, pregiudicare le condizioni di stabilità strutturale. Inoltre, la presenza diffusa di vegetazione nella parte alta delle mura perimetrali e sulla copertura ha comportato un deterioramento dei giunti di malta, con conseguente sconnessione di rilevanti porzioni di muratura, e la rottura del manto di impermeabilizzazione della copertura con conseguente infiltrazione di acqua meteorologia all'interno. Queste due patologie richiedono un urgente intervento di consolidamento e ripristino. I degradi rilevati sui prospetti richiedono interventi di pulizia degli elementi lapide e la ristilatura dei giunti. Il fuoripiombo deve essere contrastato da interventi da compiere con celerità: dovranno essere messi in opera pali di sottofondazione

in grado di arrestare i cinematismi e cerchiature in grado di ripristinare il comportamento globale dell'edificio per tendere verso una maggior scatolarità della torre.

La rifunzionalizzazione della Torre si propone di rendere tutti gli spazi interni raggiungibili dai visitatori e pone l'accento su quella che è la storia dell'edificio. L'istituzione del "Museo della Luce" potrà garantire la fruizione del bene e la conservazione delle strutture sarà possibile con un ridotto sforzo da parte dell'ente Pubblico.

Torre San Vitale è un edificio che, ad oggi non suscita nessun interesse da parte della cittadinanza, quanto è vero che non esiste un varco di accesso all'interno. I prospetti presentano un elevato numero di pietre che appaiono completamente distaccate dalle murature e molte sono le zone in cui la malta risulta profondamente ammalorata o inesistente. Si segnala un elevato rischio di crollo di piccole pietre che, allo stato attuale, risultano semplicemente appoggiate.

L'edificio di San Vitale richiede una manutenzione urgente per scongiurare ogni possibile danno a persone o cose: si propone una pulizia e un consolidamento di tutti i fronti esterni, e, nell'immediato, si suggerisce una rimozione di tutte le parti pericolanti.

I consolidamenti da eseguire sono connessi allo stato di ammaloramento della parti alte dell'edificio che, privo di copertura, mostra estese zone caratterizzate da degradi. L'esecuzione d'iniezioni e la messa in opera di cerchiature e elementi di compattazione dei paramenti murari risolverà le patologie di cui è affetta la Torre. Da ultimo la realizzazione di una copertura proteggerà le parti interne dagli agenti atmosferici.

La rifunzionalizzazione dell'edificio è subordinata ad un rilievo delle geometrie e dello stato di conservazione interno, che non è stato possibile eseguire per l'elaborazione della presente tesi a causa della mancanza delle necessarie condizioni di sicurezza che garantissero l'accesso.

Torre Pantera si trova in una condizione per cui necessita interventi di estrema urgenza. Nell'ottobre 2010 si è verificato il completo crollo della copertura e da allora è stato realizzato un ponteggio provvisorio, che ha la sola funzione di evitare la caduta di elementi lapidei sulla strada e la piazza sottostante, molto frequentata. Internamente si evidenziano concrete possibilità di crollo delle parti alte della torre; il vano scala è in avanzato stato di degrado e anche le strutture provvisionali di sostegno delle rampe presentano evidenti segni di degrado che ne vanificano l'efficacia. Buona parte dell'edificio è esposta, da più di un anno, alle intemperie, andando così a peggiorare le già gravi condizioni delle murature. Si sono proposti numerosi interventi di consolidamento in grado di garantire il ripristino dell'agibilità dell'edificio tra i quali i più significativi sono: le cerchiature e il ripristino di solai e copertura; il

consolidamento fondazionale unito al risanamento dell'umidità con l'inserimento di un vespaio armato; la realizzazione di una cappa armata estradossale in corrispondenza della volta; una struttura di appensione della scala. La rifunzionalizzazione in chiave turistica del complesso lo renderebbe fruibile da parte della cittadinanza e del gran numero di turisti che frequenta la cittadina comasca.

Nel complesso le Torri non ricoprono un ruolo di primaria importanza se comparati ad altri più conosciuti e frequentati monumenti della città; per questo motivo si trovano in uno stato di parziale o totale incuria.

Le patologie che interessano i prospetti hanno evidenziato un gran numero di conci murari che tendono a staccarsi e che rappresentano un grave pericolo per le persone e le cose. L'intervento di manutenzione straordinaria che preveda la pulizia e il consolidamento di tutti i prospetti è di estrema urgenza.

In secondo luogo le Torri presentano uno stato di grave ammaloramento delle parti di sommità, e per questo motivo, sono stati proposti interventi di consolidamento che, in una scala di urgenza, devono essere eseguiti immediatamente dopo la messa in sicurezza delle facciate.

Per garantire una migliore conservazione nel tempo dei monumenti sono necessari successivi interventi di consolidamento, come le cerchiature, che migliorano il comportamento strutturale degli edifici.

I consolidamenti sono di primaria importanza e si deve intervenire al più presto per limitare i rischi inerenti ai fuoripiombo di Torre Gattoni e i rischi connessi al crollo della copertura di Torre Pantera ove si evidenziano ancora rilevanti zone con presenza di materiale in posizione instabile.

In ultima analisi, gli interventi proposti sono caratterizzati da costi di realizzazione contenuti e potrebbero rappresentare l'occasione per porre maggiore attenzione sui monumenti analizzati, sottraendoli allo stato di incuria in cui si trovano.

Questa Tesi è stata anche un importante occasione per sperimentare una collaborazione profesionale tra architetti ed ingegneri, che potrà ripresentarsi nell'immediato futuro, risultando stimolante, proficua e, soprattutto, piacevole.

9. Bibliografia

Capitolo 1

- AA.VV., *Atti del convegno celebrativo della fondazione di Como Romana,* Società Archeologica Comense, 1993
- AA. VV., *Laboratorio Gattoni, Un gabinetto di scienze del XVIII secolo per la didattica di oggi,* Centro di Cultura Scientifica "Alessandro Volta", Como, 1999
- F. Cani, G. Monizza (a cura di), *Como e la sua storia – La città murata,* Nodo Libri, Como, 1999
- G. Caniggia, *Lettura di una città: Como,* Centro studi di storia Urbanistica, Roma, 1963 (Coll. H 2)
- F. Frigerio, *Le cerchia di Novum Comum – antiche porte di città Italiche e Romane*, Como , 1935
- M. Gianoncelli, *Como e la sua convalle, New Press, Como, 1975*
- M. Gianoncelli, *Dati e problemi relativi alle mura romane di Como,* in *Atti del Convegno Celebrativo,* Soc. Archeologica Comense, Como, 1974
- M. Gianoncelli, *Microanalisi di una città,* Edizioni New Press, Como, 1984
- P. Maggi, *Le mura romane di Como,* in *Mura delle città romane in Lombardia,* Atti del convegno 1990, Soc. Archeologica Comense, Como, 1993
- L. Marazzi, *Como strade e contrade, A cura del Comune di Como,* Como, 1981
- S. Monti, *Mura, torri e porto di Como,* in "PSSC", Como, 1904
- C. Rodi, *Como: le Mura - Documenti di storia cittadina,* Banco Lariano, Como, 1974

Archivio di Stato di Como - Via Briantea, 8 - 22100 Como

- *Mappa della città di Como con parte de suoi Borghi e corpi Santi,* MDCCXXII – noto come *"Catasto Teresiano"*
- *Mappa del comune censurario della città di Como rilevata nell'anno 1877*
- *Catasto copia dell'agenzia delle imposte 1858-1875*
- *Aggiornamento ufficio distrettuale imposte 1900*
- *Catasto UTE 1873*

- *Catasto Cessato 1890*
- *Aggiornamento UTE 1900*
- Cartella 1012: *Progetto di porta fianco di Porta Torre: Pianta e Prospetto*
- Cartella 1052: *Primi restauri di Porta Torre: prospetto di tramontana della Torre civica a Porta Milano e di alcune opere di adattamento*
- Cartella 1035: *Trasformazioni dei baluardi di Porta Sala e del Portello in barriere daziarie: Piante, Prospetti, Sezioni, Dettagli.*

Capitolo 2

- G. G. Amoroso, *Il restauro della pietra nell'architettura monumentale,* Dario Flaccovio Editore, Palermo, 1995
- P. Gasparoli, *Le superfici esterne degli edifici,* Alinea Editrice, Firenze, 2002
- M. Grecchi, L.E. Malighetti, *Ripensare il costruito,* Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2008
- L. Lazzarini, M. L. Tabasso, *il restauro della pietra,* Wolters Kluwer Italia srl., Milano, 2010

- NORMAL 1/88 – *Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei*
- UNI 18882:2006 - *Materiali lapidei naturali ed artificiali: descrizione della forma di alterazione*

Capitolo 3

- R. Berardi, *Fondamenti di Geotecnica,* Città studi Edizioni, Torino, 2009
- F. Cestari, *Prove Geotecniche in sito,* Geo-Graph, Segrate, 1996
- P. Cicchiello, *Diagnostica Strutturale,* Progettazione Tecniche & Materiali – Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2010
- C. Colla, *Diagnosi di elementi strutturali lignei e murari mediante tomografia sonica: esempi applicativi per la valutazione dello stato di conservazione di beni storico-culturali*, Fac. Ingegneria, Università di Bologna, Bologna, 2010
- F. Flora, *Introduzione alle indagini geotecniche,*Helvelius Edizioni, Benevento, 1996
- A. Galli, *Le prove in sito,* Politecnico di Milano, 2009
- F. Gambino, *Conservare l'architettura – Sicurezza e Manutenzione,* Dario Flaccovio Editore, Palermo 2004

- A. Gottfried, G.M. Di Giuda, *Ergotecnica edile*, Esculapio, Bologna, 2011
- R. Lancellotta, *Geotecnica,* Zanichelli, Bologna, 2004
- R.de Riso, F. de Luca Tupputi Schinosa, *La valutazione della stabilità di versanti in roccia: aspetti metodologici ed applicazioni su aree campione del territorio campano, Dottorato di ricerca in analisi dei sistemi ambientali*, Università Degli Studi Di Napoli "Federico II", 2005
- P. Rocchi, C. Piccirilli, *Manuale della diagnostica,* Edizioni Kappa, Roma, 1999
- Romeo, *L'endoscopia l'impiego nell'analisi del manufatto architettonico,* Celid, Torino 1999
- E. Ruggerone, *Diagnostica strutturale,* Dario Flaccovio Editore, Palermo 2005
- M.L. Trani, *Organizzazione del cantiere,* Libreria Clup, Milano, 2003
- Viggiani C., *Fondazioni*, Cuen Editore, Napoli, 1993
- M. Volpiano, *Il consolidamento strutturale degli edifici storici, diagnostica monitoraggio materiali per l'intervento compatibile*, L'Artistica editrice,Torino, 2010

Da Internet:

- A. Anzani, *Indagini tramite martinetti piatti: valutazione dello stato di sforzo e delle caratteristiche tenso-deformative della muratura*, Politecnico di Milano, http://www.stru.polimi.it/home/anzani/bacheca/diagnostica%20e%20consolidamento/Indagini%20soniche.pdf 11.10.2011
- A. Anzani, *Indagini soniche: metodo ed esempi pratici*, Politecnico di Milano, www.stru.polimi.it/home/anzani/bacheca/restauro/martinetti%20piatti.pdf 11.10.2011
- Geo Tea S.p.A., *Risultati prove sclerometriche – Tav. Gbis*, Comunità Montana Cinque Valli Bolognesi, 2009. http://www.comune.sassomarconi.bologna.it/upload/sassomarconi_ecm6/gestionedocumentale/martello%20schmidt%20badolo%20basso_784_2384.pdf 11.10.2011
- Radar GeoServizi, *GPR – Metodologia e applicazioni*, Pubblicazione Tecnica, Torino, 2011 http://www.geoservizi.it 11.10.2011
- AA. VV., *Sclerometro meccanico per roccia*, Università Politecnica delle Marche, http://www.elmeg.org/public/SclerometroRoccia.pdf 11.10.2011

- D. Sigurtà,*Perforazione o carotaggio per l'analisi stratigrafica delle murature,* Gruppo Recuperando,2005, http://www.recuperando.info/ 11.10.2011
- R. Vancetti, *Analisi diagnostiche non distruttive e parzialmente distruttive*, Politecnico di Torino, http://www.vercelli.polito.it/civili/edil0101.htm 11.10.2011

Capitolo 4

- R. Di Giulio, *Manuale di manutenzione edilizia,* Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2007.
- P. Gasparoli, *La manutenzione delle superfici edilizie,* Alinea Editrice, Firenze, 1997
- P.Gasparoli, C. Talamo, *Manutenzione e Recupero,*Alinea Editrice,Firenze, 2006

- *Listino dei Prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni*, Comune di Milano, 2009
- *Prezzi informativi delle OPERE EDILI in Milano 2010*, Camera di Commercio, Milano, 2011

Capitolo 5

- L. Boscotrecase F. Piccareta, *Edifici in muratura in zona sismica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2006
- E. Ceroni, *Micropali pali di fondazioni - Teoria e pratica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2002
- V. Comercia et al, *Land subsidence and Late Glacial environmental evolution of the Como urban area*, Università dell' Insubria, Como, 2007
- M. Mammino*, I micropali: tecniche di progetto e di verifica*, Firenze 1994
- L. Jurina, *I tiranti metallici nel consolidamento degli edifici monumentali*, XVI Convegno CTA, Ancona, 1997
- L. Jurina, *Tecniche ed esperienze nel consolidamento "attivo" di edifici monumentali,* Atti del Seminario sul tema: "Evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni" Dubrovnik, Croatia, 28 Aprile-5 Maggio 2001.
- L. Jurina, *La possibilità dell'approccio reversibile negli interventi di consolidamento strutturale,* Atti del XIX Convegno Scienza e Beni Culturali *La reversibilità nel restauro. Riflessioni, Esperienze, Percorsi di ricerche,* Bressanone, 1-4 Luglio 2003
- L. Jurina, *Alcuni recenti sviluppi nella tecnica dei martinetti piatti,*Convegno Nazionale, La Meccanica delle Murature tra Teoria e Progetto, Messina 1996

- L. Jurina, *Interventi di consolidamento esterno sulle murature*, L'edilizia n°2/2002
- L. Jurina, *Il consolidamento strutturale dell Torre S. Dalmazio a Pavia,* XV Convegno Naz. CTA, Riva del Garda 1995
- L. Jurina,M. Jadicicco Spignese, *L'acciaio inox nel consolidamento degli edifici storici,* in Atti del convegno *Progettare con l'acciaio inossidabile,* Milano, 29 novembre 2000
- L. Jurina, Treccani G.P. *, Archeologia del costruito: interventi di consolidamento,* Atti del Convegno *Il progetto di restauro archiettonico. Dall'analisi all'intervento,* Trento 2002, pp. 89-98

- D.M. 14.01.2008, *Nuove norme tecniche per le costruzioni NTC2008*.
- Circolare Consiglio Superiore dei LL.PP. del 2 febbraio 2009, n.617, *Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008*.
- UNI ENV:1995 1-1 (EC5) – Eurocodice 5 *Progettazione delle strutture di legno. Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici.*
- UNI EN 338:2009 - *Legno strutturale - Classi di resistenza*.
- CNR-DT 206:2007 - *Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno*.
- D.P.C.M. 9.02.2011 - *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche delle costruzioni*.

- *Listino dei Prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni*, Comune di Milano, 2009
- *Prezzi informativi delle OPERE EDILI in Milano 2010*, Camera di Commercio, Milano, 2011

Capitolo 6

- G. Ballio, F.M. Mazzolani, *Strutture in acciaio*, Hoepli, Milano, 2009
- N. Marino, *Manuale di geotecnica per l'Ingegneria Civile*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2006
- G. Toniolo, *Apputi di tecnica delle costruzioni: elementi strutturali in acciaio,* Masson, Milano, 1979

- D.M. 14.01.2008, *Nuove norme tecniche per le costruzioni NTC2008*.
- Circolare Consiglio Superiore dei LL.PP. del 2 febbraio 2009, n.617, *Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.*
- UNI ENV:1991 1-1 (EC3) – Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture in acciaio, Appendice F Instabilità flesso-torsionale

Capitolo 7

- F. Bartolini, *Como nascosta*, Editoriale srl., Como, 2003.
- F. Cani, G. Monizza (a cura di), *Como e la sua storia – La città murata,* Nodo Libri, Como, 1999
- F. Cani, G. Monizza (a cura di), *Como e la sua storia – I borghi e le frazioni,* Nodo Libri, Como, 1999
- C. Rodi, *Como: le Mura - Documenti di storia cittadina,* Banco Lariano, Como, 1974
- C. Tajana, *Como profilo di una città*, Editrice Actac, Como, 1990
- G. Rumi, V. Vercelloni, A. Cova (a cura di), *Como e il suo territorio*, Cariplo, Milano, 1995
- M. L. Casati (a cura di), *La sezione medievale dei musei civici di Como*, Musei civici di Como, Tavernerio (CO), 2005

Allegato 1 – Scassi murari dei prospetti interni di Torre Pantera

Cfr. Capitolo 2

Buche presenti sulla parete nord

Numero di riferimento:	1	
Parete:	NORD	
Livello:	0	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MATTONE	
Base scasso:	15	*cm*
Altezza scasso:	15	*cm*
Profondità massima:	5	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	94	*cm*

Numero di riferimento:	2	
Parete:	NORD	
Livello:	1	
Saturazione:	VUOTA	
Riempimento materico:	-	
Base scasso:	20	*cm*
Altezza scasso:	22	*cm*
Profondità massima:	28	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	244	*cm*

Numero di riferimento:	3	
Parete:	NORD	
Livello:	1	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	28	*cm*
Altezza scasso:	25	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	244	*cm*

Numero di riferimento:	4	
Parete:	NORD	
Livello:	1	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	25	*cm*
Altezza scasso:	21	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	231	*cm*

Numero di riferimento:	5	
Parete:	NORD	
Livello:	1	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	30	*cm*
Altezza scasso:	26	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	231	*cm*

Numero di riferimento:	6	
Parete:	NORD	
Livello:	1	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MATTONE	
Base scasso:	25	*cm*
Altezza scasso:	26	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	232	*cm*

Numero di riferimento:	7	
Parete:	NORD	
Livello:	1	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MATTONE	
Base scasso:	26	*cm*
Altezza scasso:	26	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	232	*cm*

Numero di riferimento:	8	
Parete:	NORD	
Livello:	2	
Saturazione:	PARZIALMENTE PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	18	*cm*
Altezza scasso:	30	*cm*
Profondità massima:	10	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	353	*cm*

Numero di riferimento:	9	
Parete:	NORD	
Livello:	2	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA- MATTONE	
Base scasso:	21	*cm*
Altezza scasso:	18	*cm*
Profondità massima:	12	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	356	*cm*

Numero di riferimento:	10	
Parete:	NORD	
Livello:	2	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	14	*cm*
Altezza scasso:	18	*cm*
Profondità massima:	9	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	363	*cm*

Numero di riferimento:	11	
Parete:	NORD	
Livello:	2	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA	
Base scasso:	30	*cm*
Altezza scasso:	23	*cm*
Profondità massima:	20	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	362	*cm*

Numero di riferimento:	12	
Parete:	NORD	
Livello:	2	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	14	*cm*
Altezza scasso:	17	*cm*
Profondità massima:	9	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	360	*cm*

Numero di riferimento:	13	
Parete:	NORD	
Livello:	2	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA-MATTONE	
Base scasso:	14	*cm*
Altezza scasso:	19	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	358	*cm*

Numero di riferimento:	14	
Parete:	NORD	
Livello:	2	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	LEGNO-MATTONE	
Base scasso:	16	*cm*
Altezza scasso:	24	*cm*
Profondità massima:	8	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	357	*cm*

Numero di riferimento:	15	
Parete:	NORD	
Livello:	2	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	19	*cm*
Altezza scasso:	22	*cm*
Profondità massima:	12	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	360	*cm*

Numero di riferimento:	16	
Parete:	NORD	
Livello:	2	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	16	*cm*
Altezza scasso:	22	*cm*
Profondità massima:	10	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	360	*cm*

Numero di riferimento:	17	
Parete:	NORD	
Livello:	2	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	14	*cm*
Altezza scasso:	23	*cm*
Profondità massima:	8	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	354	*cm*

Numero di riferimento:	18	
Parete:	NORD	
Livello:	2	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	17	*cm*
Altezza scasso:	18	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	397	*cm*

Numero di riferimento:	19	
Parete:	NORD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	33	*cm*
Altezza scasso:	22	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	710	*cm*

Numero di riferimento:	20	
Parete:	NORD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	14	*cm*
Altezza scasso:	25	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	709	*cm*

Numero di riferimento:	21	
Parete:	NORD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	24	*cm*
Altezza scasso:	22	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	709	*cm*

Numero di riferimento:	22	
Parete:	NORD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA	
Base scasso:	30	*cm*
Altezza scasso:	25	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	710	*cm*

Numero di riferimento:	23	
Parete:	NORD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	31	*cm*
Altezza scasso:	22	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	711	*cm*

Numero di riferimento:	24	
Parete:	NORD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA	
Base scasso:	33	*cm*
Altezza scasso:	24	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	707	*cm*

Numero di riferimento:	25	
Parete:	NORD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	21	*cm*
Altezza scasso:	20	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	711	*cm*

Numero di riferimento:	26	
Parete:	NORD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	30	*cm*
Altezza scasso:	31	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	711	*cm*

Numero di riferimento:	27	
Parete:	NORD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	28	*cm*
Altezza scasso:	30	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	712	*cm*

Numero di riferimento:	28	
Parete:	NORD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	31	*cm*
Altezza scasso:	30	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	716	*cm*

Numero di riferimento:	29		
Parete:	NORD		
Livello:	3		
Saturazione:	PIENA		
Riempimento materico:	PIETRA		
Base scasso:	30	*cm*	
Altezza scasso:	23	*cm*	
Profondità massima:	-	*cm*	
Caratteristica geometrica:	REGOLARE		
Quota altimetrica dal filo fisso:	720	*cm*	
Numero di riferimento:	30		
Parete:	NORD		
Livello:	3		
Saturazione:	PIENA		
Riempimento materico:	PIETRA		
Base scasso:	27	*cm*	
Altezza scasso:	36	*cm*	
Profondità massima:	-	*cm*	
Caratteristica geometrica:	REGOLARE		
Quota altimetrica dal filo fisso:	715	*cm*	
Numero di riferimento:	31		
Parete:	NORD		
Livello:	4		
Saturazione:	PARZIALMENTE PIENA		
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE		
Base scasso:	45	*cm*	
Altezza scasso:	27	*cm*	
Profondità massima:	38	*cm*	
Caratteristica geometrica:	REGOLARE		
Quota altimetrica dal filo fisso:	1047	*cm*	
Numero di riferimento:	32		
Parete:	NORD		
Livello:	4		
Saturazione:	PARZIALMENTE PIENA		
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE		
Base scasso:	19	*cm*	
Altezza scasso:	27	*cm*	
Profondità massima:	-	*cm*	
Caratteristica geometrica:	REGOLARE		
Quota altimetrica dal filo fisso:	1044	*cm*	

Numero di riferimento:	33		
Parete:	NORD		
Livello:	4		
Saturazione:	VUOTA		
Riempimento materico:			
Base scasso:	34	*cm*	
Altezza scasso:	33	*cm*	
Profondità massima:	68	*cm*	
Caratteristica geometrica:	REGOLARE		
Quota altimetrica dal filo fisso:	1043	*cm*	
Numero di riferimento:	34		
Parete:	NORD		
Livello:	4		
Saturazione:	PIENA		
Riempimento materico:	PIETRA		
Base scasso:	21	*cm*	
Altezza scasso:	26	*cm*	
Profondità massima:	-	*cm*	
Caratteristica geometrica:	REGOLARE		
Quota altimetrica dal filo fisso:	1043	*cm*	
Numero di riferimento:	35		
Parete:	NORD		
Livello:	4		
Saturazione:	PARZIALMENTE PIENA		
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE		
Base scasso:	34	*cm*	
Altezza scasso:	27	*cm*	
Profondità massima:	76	*cm*	
Caratteristica geometrica:	REGOLARE		
Quota altimetrica dal filo fisso:	1043	*cm*	
Numero di riferimento:	36		
Parete:	NORD		
Livello:	4		
Saturazione:	PIENA		
Riempimento materico:	PIETRA		
Base scasso:	20	*cm*	
Altezza scasso:	26	*cm*	
Profondità massima:	-	*cm*	
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE		
Quota altimetrica dal filo fisso:	1043	*cm*	

Numero di riferimento:	37	
Parete:	NORD	
Livello:	4	
Saturazione:	VUOTA	
Riempimento materico:		
Base scasso:	44	*cm*
Altezza scasso:	31	*cm*
Profondità massima:	71	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	1042	*cm*

Numero di riferimento:	38	
Parete:	NORD	
Livello:	4	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	14	*cm*
Altezza scasso:	61	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	1047	*cm*

Numero di riferimento:	39	
Parete:	NORD	
Livello:	4	
Saturazione:	VUOTA	
Riempimento materico:		
Base scasso:	34	*cm*
Altezza scasso:	30	*cm*
Profondità massima:	74	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	1042	*cm*

Numero di riferimento:	40	
Parete:	NORD	
Livello:	5	
Saturazione:	PARZIALMENTE PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	27	*cm*
Altezza scasso:	20	*cm*
Profondità massima:	35	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	1235	*cm*

Buche presenti sulla parete sud

Numero di riferimento:	41	
Parete:	SUD	
Livello:	0	
Saturazione:	PIENO	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	11	*cm*
Altezza scasso:	20	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	74	*cm*

Numero di riferimento:	42	
Parete:	SUD	
Livello:	1	
Saturazione:	VUOTA	
Riempimento materico:	-	
Base scasso:	29	*cm*
Altezza scasso:	35	*cm*
Profondità massima:	77	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	207	*cm*

Numero di riferimento:	43	
Parete:	SUD	
Livello:	1	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	30	*cm*
Altezza scasso:	27	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	215	*cm*

Numero di riferimento:	44	
Parete:	SUD	
Livello:	1	
Saturazione:	VUOTA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	31	*cm*
Altezza scasso:	29	*cm*
Profondità massima:	84	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	216	*cm*

Numero di riferimento:	45	
Parete:	SUD	
Livello:	1	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	34	*cm*
Altezza scasso:	31	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	212	*cm*

Numero di riferimento:	46	
Parete:	SUD	
Livello:	1	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	LEGNO MARCIO	
Base scasso:	31	*cm*
Altezza scasso:	24	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	212	*cm*

Numero di riferimento:	47	
Parete:	SUD	
Livello:	2	
Saturazione:	IMPRECISA	
Riempimento materico:	MALTA-PIETRA	
Base scasso:	140	*cm*
Altezza scasso:	22	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	341	*cm*

Numero di riferimento:	48	
Parete:	SUD	
Livello:	2	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-PIETRA	
Base scasso:	50	*cm*
Altezza scasso:	38	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	T REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	337	*cm*

Numero di riferimento:	49	
Parete:	SUD	
Livello:	2	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	16	*cm*
Altezza scasso:	20	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	338	*cm*

Numero di riferimento:	50	
Parete:	SUD	
Livello:	2	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	20	*cm*
Altezza scasso:	23	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	340	*cm*

Numero di riferimento:	51	
Parete:	SUD	
Livello:	2	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	22	*cm*
Altezza scasso:	20	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	340	*cm*

Numero di riferimento:	52	
Parete:	SUD	
Livello:	1'	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA	
Base scasso:	27	*cm*
Altezza scasso:	25	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	340	*cm*

Numero di riferimento:	53		
Parete:	SUD		
Livello:	2		
Saturazione:	PIENA		
Riempimento materico:	MALTA-PIETRA		
Base scasso:	25	*cm*	
Altezza scasso:	23	*cm*	
Profondità massima:	-	*cm*	
Caratteristica geometrica:	REGOLARE		
Quota altimetrica dal filo fisso:	335	*cm*	
Numero di riferimento:	54		
Parete:	SUD		
Livello:	3		
Saturazione:	PIENA		
Riempimento materico:	MATTONE-PIETRA		
Base scasso:	29	*cm*	
Altezza scasso:	15	*cm*	
Profondità massima:	7	*cm*	
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE		
Quota altimetrica dal filo fisso:	694	*cm*	
Numero di riferimento:	55		
Parete:	SUD		
Livello:	3		
Saturazione:	PIENA		
Riempimento materico:	MATTONE-PIETRA		
Base scasso:	15	*cm*	
Altezza scasso:	15	*cm*	
Profondità massima:	-	*cm*	
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE		
Quota altimetrica dal filo fisso:	696	*cm*	
Numero di riferimento:	56		
Parete:	SUD		
Livello:	3		
Saturazione:	PIENA		
Riempimento materico:	MATTONE-PIETRA		
Base scasso:	14	*cm*	
Altezza scasso:	22	*cm*	
Profondità massima:	15	*cm*	
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE		
Quota altimetrica dal filo fisso:	694	*cm*	

Numero di riferimento:	57	
Parete:	SUD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	10	*cm*
Altezza scasso:	18	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	694	*cm*

Numero di riferimento:	58	
Parete:	SUD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	22	*cm*
Altezza scasso:	20	*cm*
Profondità massima:	10	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	695	*cm*

Numero di riferimento:	59	
Parete:	SUD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-PIETRA	
Base scasso:	15	*cm*
Altezza scasso:	19	*cm*
Profondità massima:	20	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	696	*cm*

Numero di riferimento:	60	
Parete:	SUD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	LEGNO MARCIO	
Base scasso:	15	*cm*
Altezza scasso:	20	*cm*
Profondità massima:	31	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	698	*cm*

Numero di riferimento:	61	
Parete:	SUD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-PIETRA	
Base scasso:	14	*cm*
Altezza scasso:	20	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	697	*cm*

Numero di riferimento:	62	
Parete:	SUD	
Livello:	3	
Saturazione:	PARZIALMENTE PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	18	*cm*
Altezza scasso:	25	*cm*
Profondità massima:	16	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	695	*cm*

Numero di riferimento:	63	
Parete:	SUD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	12	*cm*
Altezza scasso:	21	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	702	*cm*

Numero di riferimento:	64	
Parete:	SUD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MATTONE-PIETRA	
Base scasso:	31	*cm*
Altezza scasso:	-	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	701	*cm*

Numero di riferimento:	65	
Parete:	SUD	
Livello:	3	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MATTONE-PIETRA	
Base scasso:	22	*cm*
Altezza scasso:	18	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	701	*cm*

Numero di riferimento:	66	
Parete:	SUD	
Livello:	4	
Saturazione:	VUOTO	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	37	*cm*
Altezza scasso:	41	*cm*
Profondità massima:	61	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	1025	*cm*

Numero di riferimento:	67	
Parete:	SUD	
Livello:	4	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	24	*cm*
Altezza scasso:	23	*cm*
Profondità massima:	-	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	1029	*cm*

Numero di riferimento:	68	
Parete:	SUD	
Livello:	4	
Saturazione:	PIENA	
Riempimento materico:	MATTONE-LEGNA	
Base scasso:	50	*cm*
Altezza scasso:	30	*cm*
Profondità massima:	30	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	1025	*cm*

Numero di riferimento:	69	
Parete:	SUD	
Livello:	4	
Saturazione:	VUOTA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	18	*cm*
Altezza scasso:	34	*cm*
Profondità massima:	23	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	1025	*cm*

Numero di riferimento:	70	
Parete:	SUD	
Livello:	4	
Saturazione:	VUOTA	
Riempimento materico:	LEGNO MARCIO	
Base scasso:	40	*cm*
Altezza scasso:	32	*cm*
Profondità massima:	91	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	1025	*cm*

Numero di riferimento:	71	
Parete:	SUD	
Livello:	4	
Saturazione:	VUOTA	
Riempimento materico:	MALTA-MATTONE	
Base scasso:	121	*cm*
Altezza scasso:	28	*cm*
Profondità massima:	80	*cm*
Caratteristica geometrica:	REGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	1025	*cm*

Numero di riferimento:	72	
Parete:	SUD	
Livello:	4	
Saturazione:	VUOTA	
Riempimento materico:	PIETRA	
Base scasso:	37	*cm*
Altezza scasso:	35	*cm*
Profondità massima:	76	*cm*
Caratteristica geometrica:	IRREGOLARE	
Quota altimetrica dal filo fisso:	1025	*cm*

Numero di riferimento:	73		
Parete:	SUD		
Livello:	4		
Saturazione:	PIENA		
Riempimento materico:	PIETRA		
Base scasso:	25	*cm*	
Altezza scasso:	28	*cm*	
Profondità massima:	18	*cm*	
Caratteristica geometrica:	REGOLARE		
Quota altimetrica dal filo fisso:	1030	*cm*	
Numero di riferimento:	74		
Parete:	SUD		
Livello:	4		
Saturazione:	VUOTA		
Riempimento materico:	PIETRA		
Base scasso:	31	*cm*	
Altezza scasso:	26	*cm*	
Profondità massima:	93	*cm*	
Caratteristica geometrica:	REGOLARE		
Quota altimetrica dal filo fisso:	1030	*cm*	
Numero di riferimento:	75		
Parete:	SUD		
Livello:	5		
Saturazione:	VUOTA		
Riempimento materico:	MATTONE-PIETRA		
Base scasso:	30	*cm*	
Altezza scasso:	30	*cm*	
Profondità massima:	64	*cm*	
Caratteristica geometrica:	REGOLARE		
Quota altimetrica dal filo fisso:	1240	*cm*	

Allegato 2 – Schede patologie di degrado

Cfr. Capitolo 2

SCHEDA PATOLOGIA DI DEGRADO

Deposito sup./Crosta

I

Definizione UNI 11182	*Deposito superficiale:* Accumulo di materiali estranei di varia natura, quali polvere, terriccio, guano, ecc. Ha spessore variabile, generalmente scarsa coerenza e scarsa aderenza al materiale sottostante. *Crosta*: modificazione dello strato superficiale del materiale lapideo. Di spessore variabile, generalmente dura, la crosta è distinguibile dalle parti sottostanti per le caratteristiche morfologiche e spesso per il colore. Può distaccarsi anche spontaneamente dal substrato che, in genere, si presenta disgregato e/o polverulento.
Descrizione del fenomeno	Depositi di materiale di natura differente distribuiti in strati più o meno spessi (dal semplice deposito si passa spesso alla crosta vera e propria), composti da agglomerati solidi e da particelle semisolide. Presentano una colorazione scura.
Stato di progressione	Il fenomeno è in progressione.
Localizzazione del fenomeno	Il fenomeno è presente in maniera estesa su quasi tutti i prospetti esterni ed interni di Porta torre, torre Gattoni e torre San Vitale, in particolare al di sotto delle aperture o di elementi sporgenti.
Ipotesi di cause	La natura di questi depositi/croste è riconducibile ad inquinanti sia naturali (piogge acide, particolato atmosferico, attacchi biologici...) che antropici (traffico veicolare che produce: polveri provenienti dall'usura del manto stradale e di pneumatici, piombo tetraetile, idrocarburi incombusti, ossidi di C/N/S).
Possibili procedure d'intervento	Pulitura chimica: applicazione di un impasto, a base di EDTA e bocarbonato, sulla superficie degradata e successivo lavaggio della stessa con acqua a bassa pressione.

Fotografie rappresentative della patologia di degrado:

1. Porta Torre, prospetto interno est

2. Torre Gattoni, prospetto esterno sud-ovest

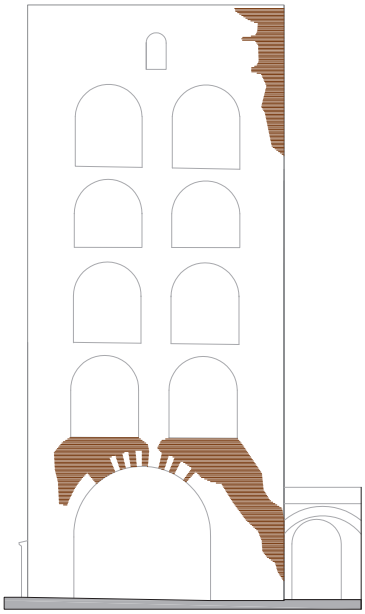
3. Torre San Vitale, prospetto esterno nord-est

2. Torre San Vitale, prospetto esterno ovest

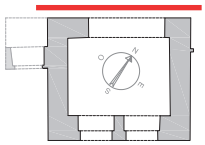
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE** - esterno

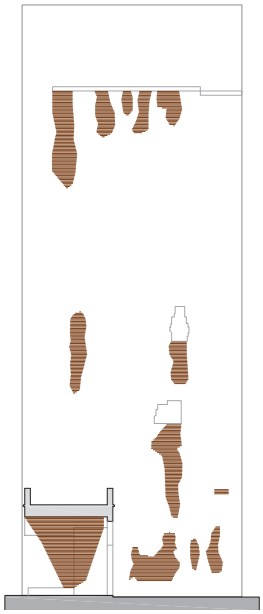
DEPOSITO SUPERFICIALE/CROSTA

Vedi Tav. R.35-R.38

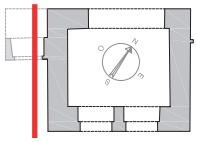


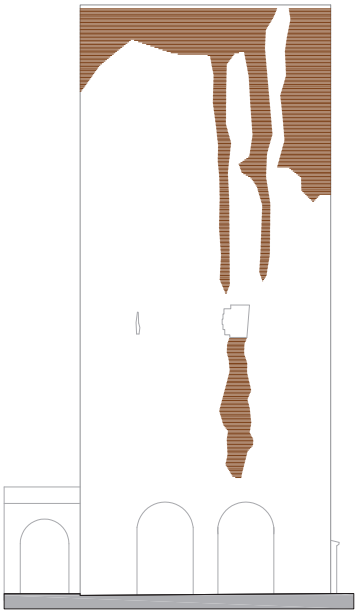
Prospetto esterno nord



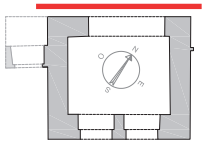


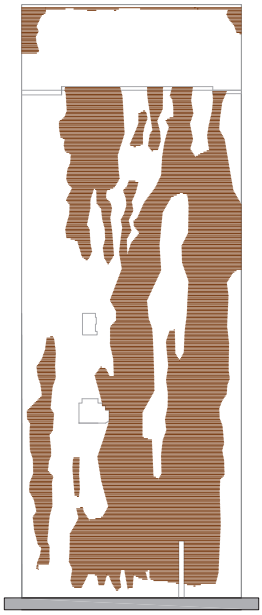
Prospetto esterno ovest



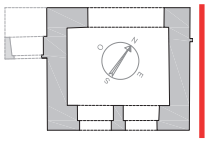


Prospetto esterno sud





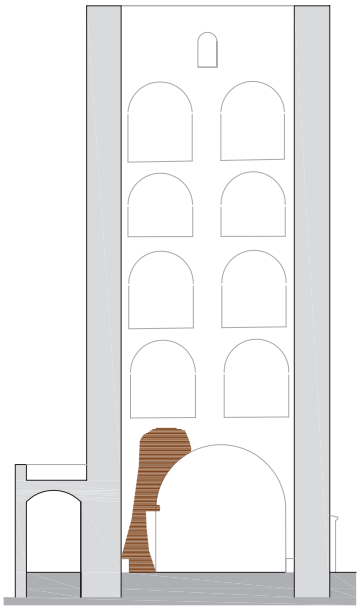
Prospetto esterno est



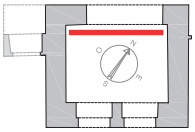
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE**- interno

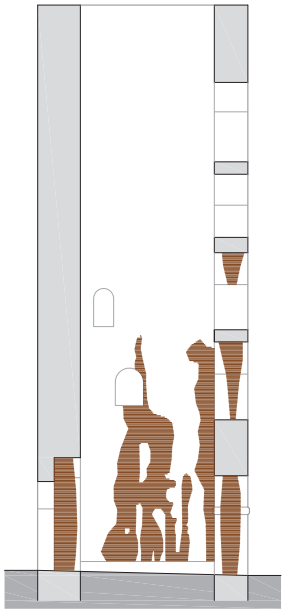
DEPOSITO SUPERFICIALE/CROSTA

Vedi Tav. R.39-R.42

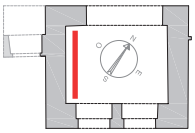


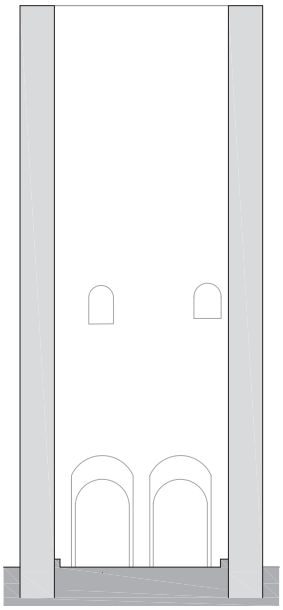
Prospetto interno nord



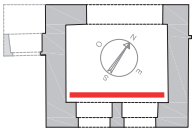


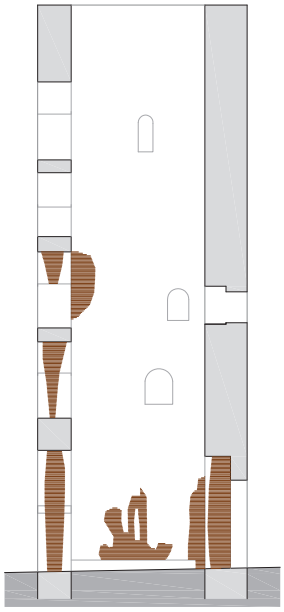
Prospetto interno ovest



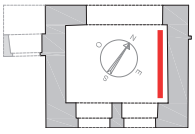


Prospetto interno sud





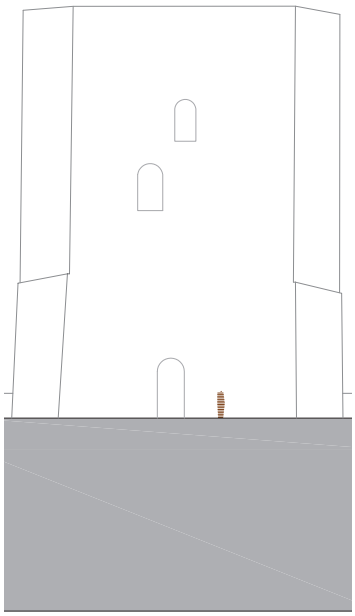
Prospetto interno est



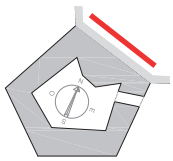
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - esterno

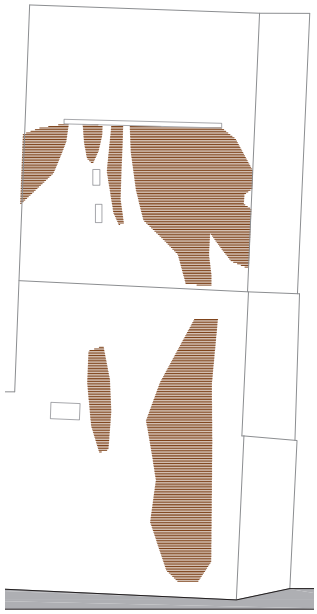
DEPOSITO SUPERFICIALE/CROSTA

Vedi Tav. R.45-R.49

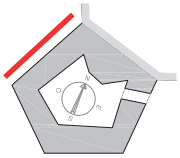


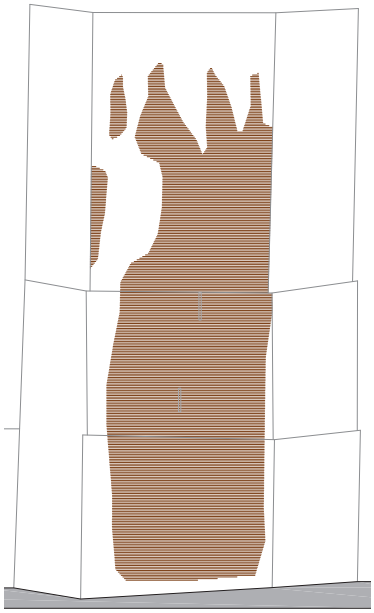
Prospetto esterno nord



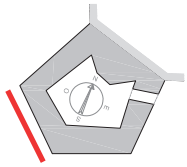


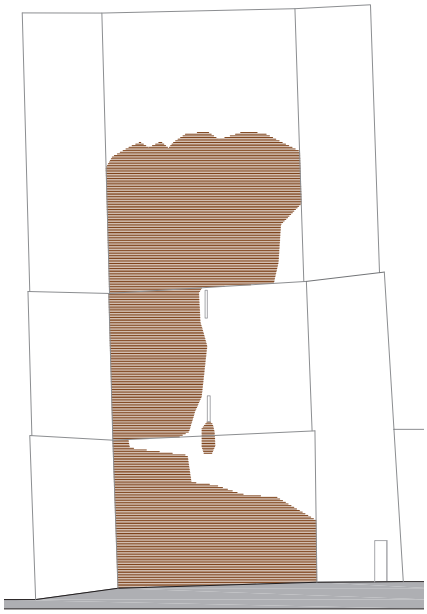
Prospetto esterno ovest



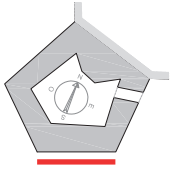


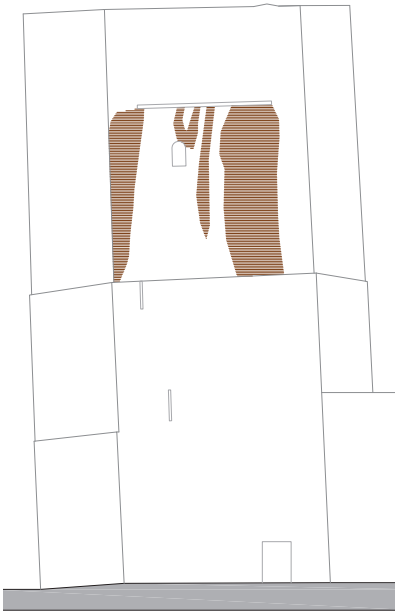
Prospetto esterno sud-ovest



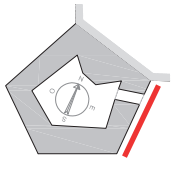


Prospetto esterno sud-est





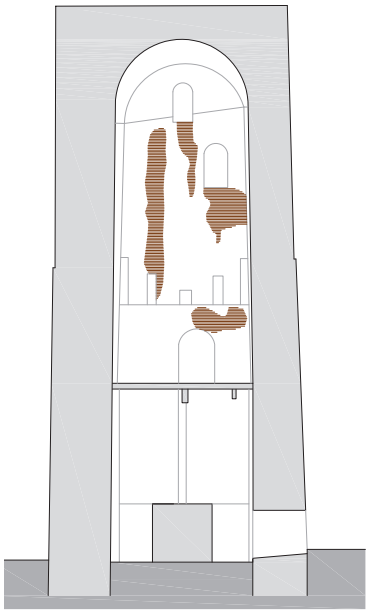
Prospetto esterno est



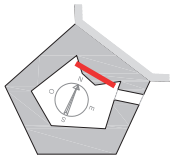
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - interno

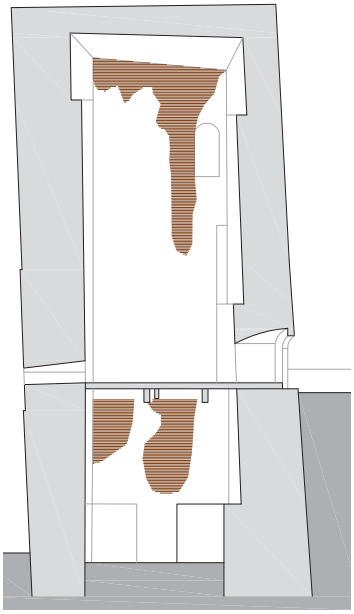
DEPOSITO SUPERFICIALE/CROSTA

Vedi Tav. R.50-R.54

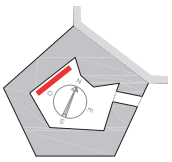


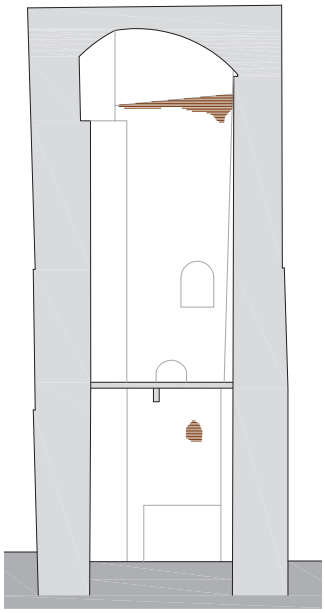
Prospetto interno nord



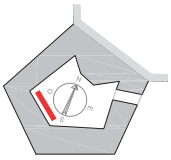


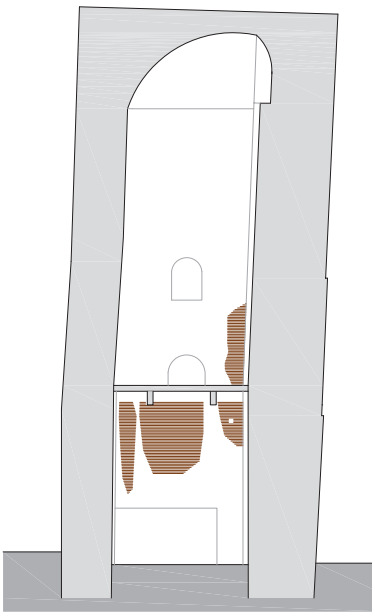
Prospetto interno ovest



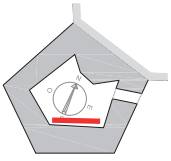


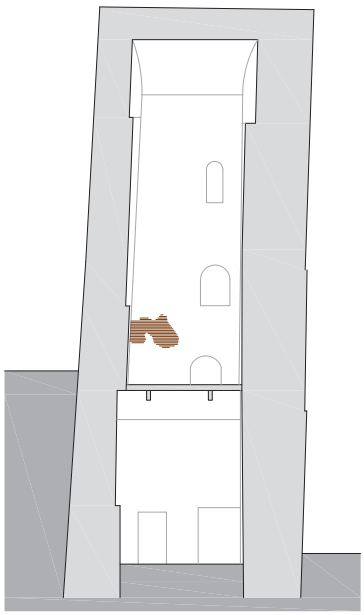
Prospetto interno sud-ovest



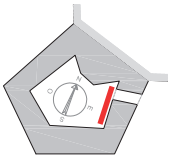


Prospetto interno sud-est





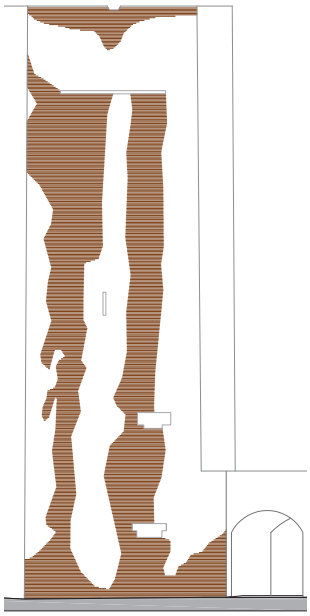
Prospetto interno est



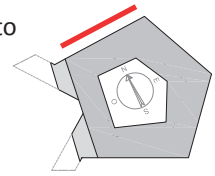
Localizzazione del fenomeno: **TORRE S. VITALE** - esterno

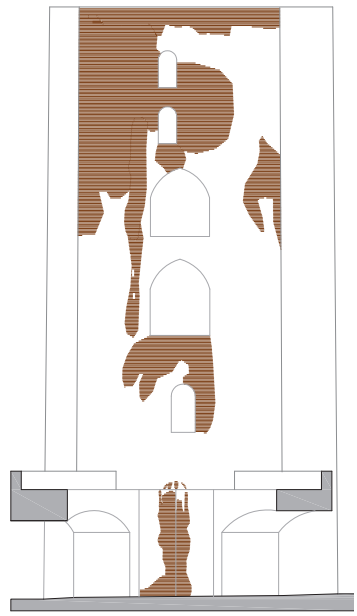
DEPOSITO SUPERFICIALE/CROSTA

Vedi Tav. R.57-R.61

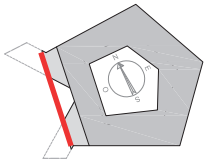


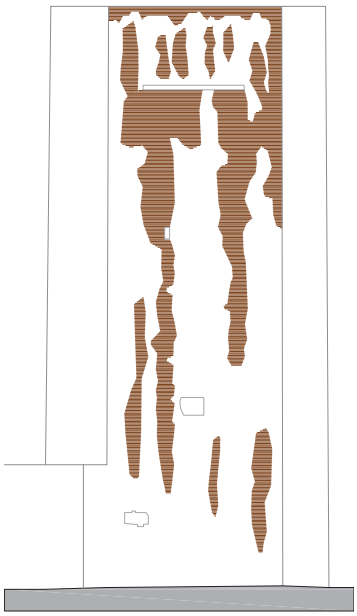
Prospetto esterno nord



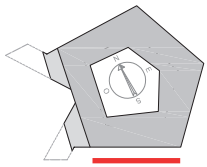


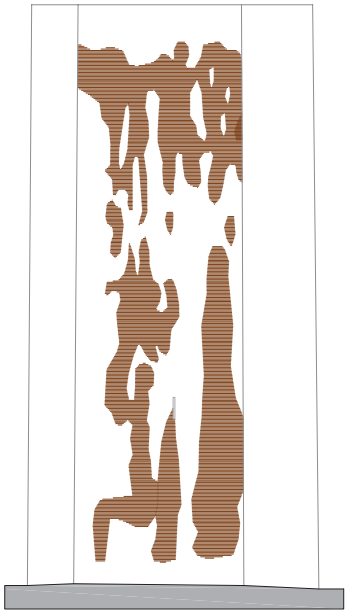
Prospetto esterno ovest



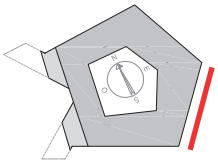


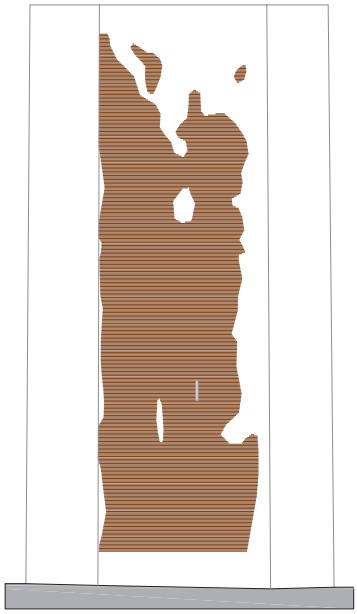
Prospetto esterno sud-ovest



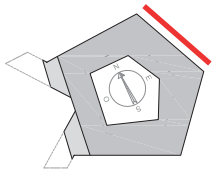


Prospetto esterno sud-est





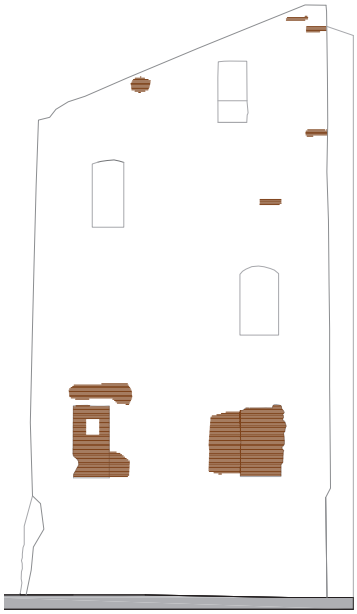
Prospetto esterno nord-est



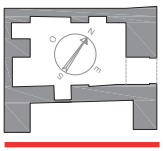
Localizzazione del fenomeno: **TORRE PANTERA** - esterno ed interno

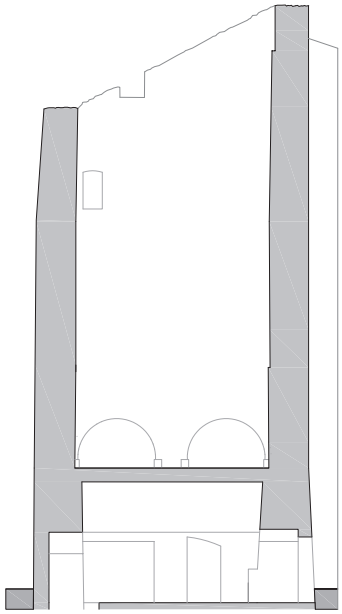
DEPOSITO SUPERFICIALE/CROSTA

Vedi Tav. R.63-R.68

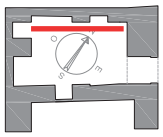


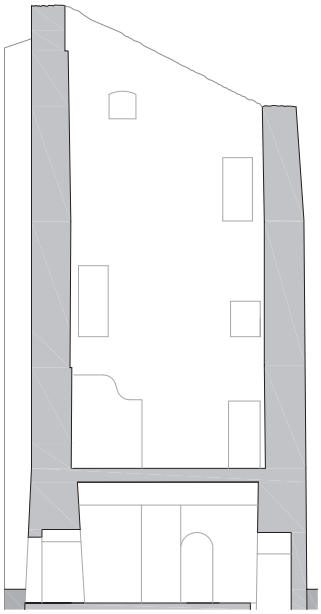
Prospetto esterno sud



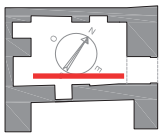


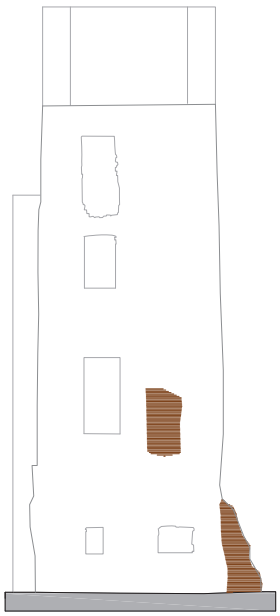
Prospetto interno nord



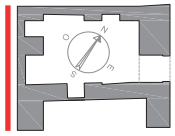


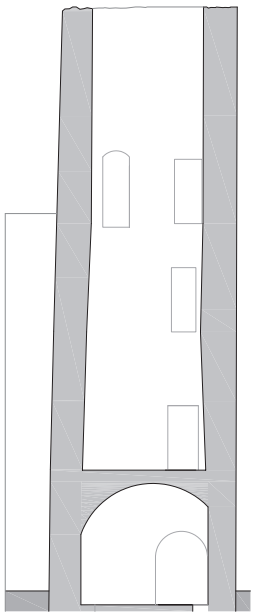
Prospetto interno sud



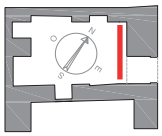


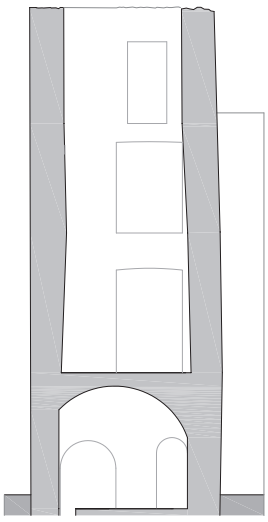
Prospetto esterno ovest



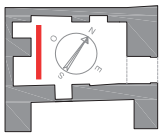


Prospetto interno est





Prospetto interno ovest



SCHEDA PATOLOGIA DI DEGRADO

Efflorescenza II

Definizione UNI 11182 ..... Formazione superficiale di aspetto cristallino o polverulento o filamentoso, generalmente di colore biancastro.

Descrizione del fenomeno ..... Fenomeno di trasporto dei sali all'interno della massa del materiale lapideo: una volta giunti in superficie i sali si cristallizzano formando delle macchie biancastre.

Stato di progressione ..... Il fenomeno è in progressione.

Localizzazione del fenomeno ..... Il fenomeno è presente in maniera isolata principalmente sui prospetti esterni delle torri Gattoni e S. Vitale; tuttavia lo si può individuare anche su una facciata interna della Gattoni (e) e su due facciate di Porta torre, una esterna ed una interna (nord ed est).

Ipotesi di cause ..... L'umidità avvia il processo di soluzione dei sali e il trasporto degli stessi all'interno della massa, ma anche il vento, incrementando l'evaporazione superficiale, accelera i fenomeni di trasporto salino.

Possibili procedure d'intervento ..... Pulitura a secco, mediante spazzoline morbide; successivamente è necessario applicare un impacco assorbente a base di acqua distillata e adatto ispessente (polpa di carta, sepiolite, attapulgite) su strato separatore in carta giapponese.

Fotografie rappresentative della patologia di degrado:

1. Porta Torre, prospetto esterno ovest

2. Torre San Vitale, prospetto esterno sud-est

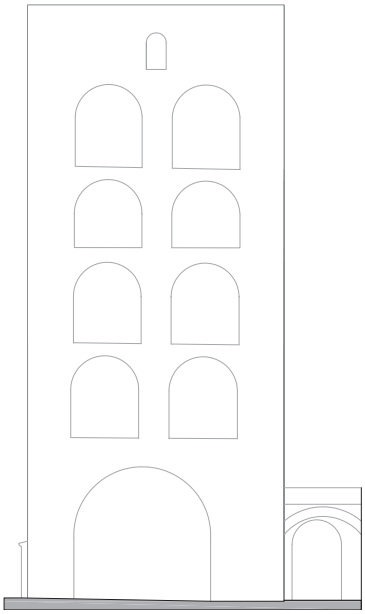
3. Torre San Vitale, prospetto esterno sud-est

2. Torre San Vitale, prospetto esterno nord-est

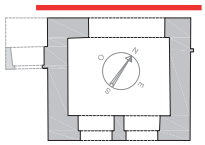
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE** - esterno

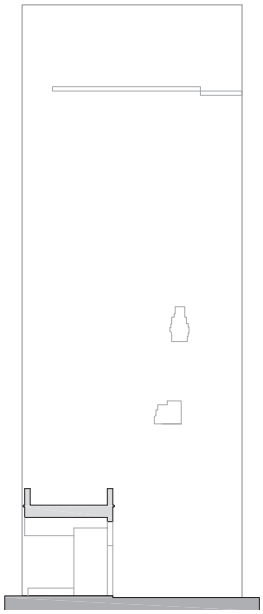
EFFLORESCENZA

Vedi Tav. R.35-R.38

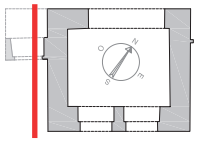


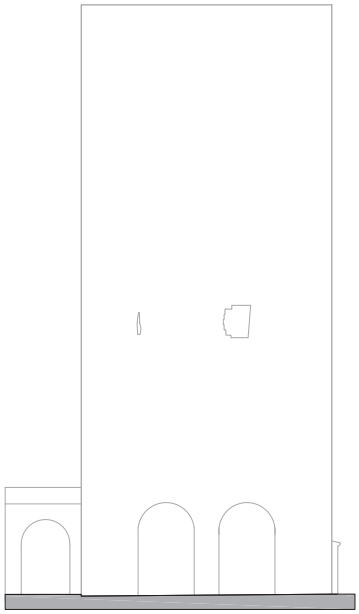
Prospetto esterno nord



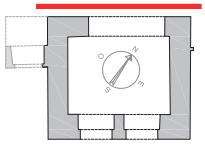


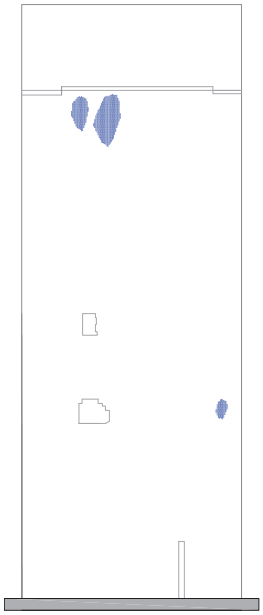
Prospetto esterno ovest



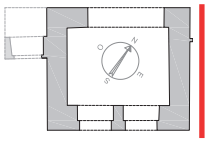


Prospetto esterno sud





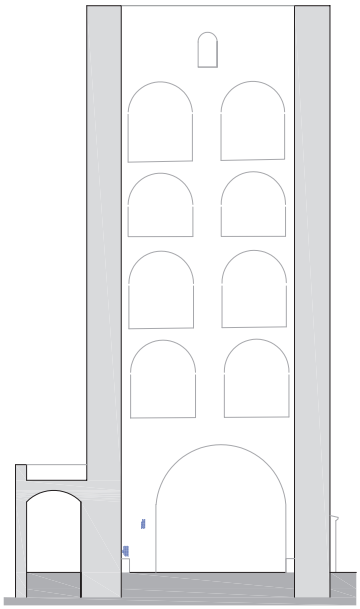
Prospetto esterno est



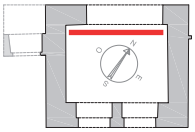
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE** - interno

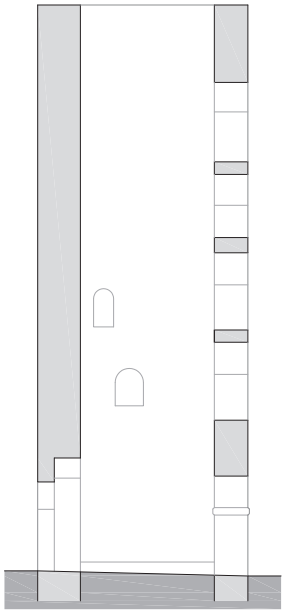
EFFLORESCENZA

Vedi Tav. R.39-R.42

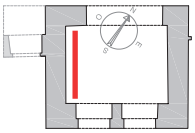


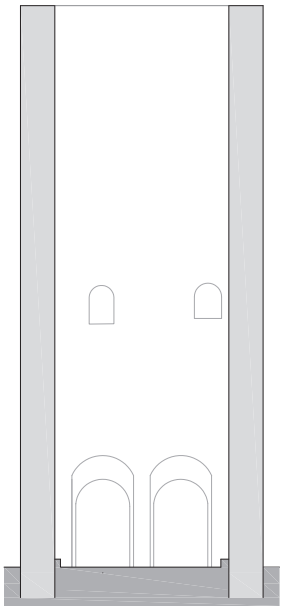
Prospetto interno nord



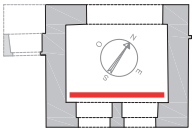


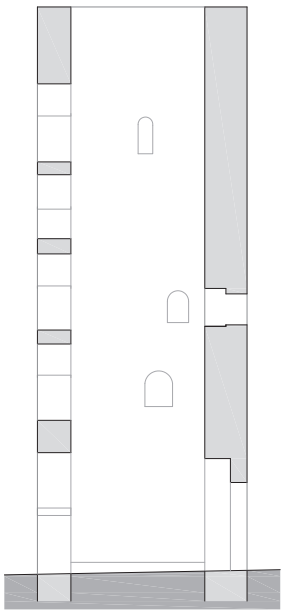
Prospetto interno ovest



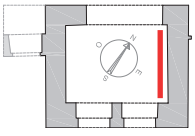


Prospetto interno sud





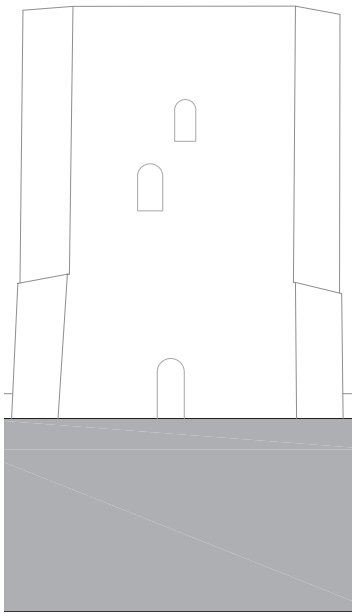
Prospetto interno est



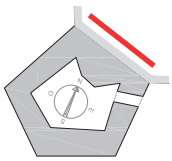
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - esterno

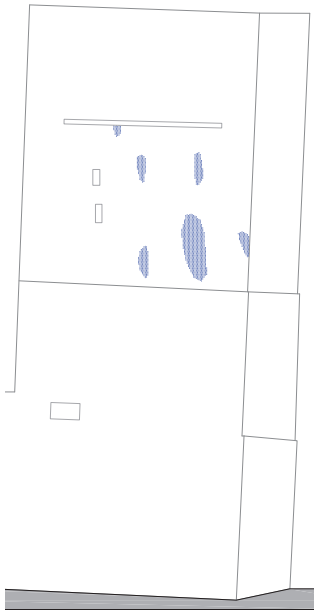
EFFLORESCENZA

Vedi Tav. R.45-R.49

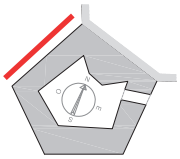


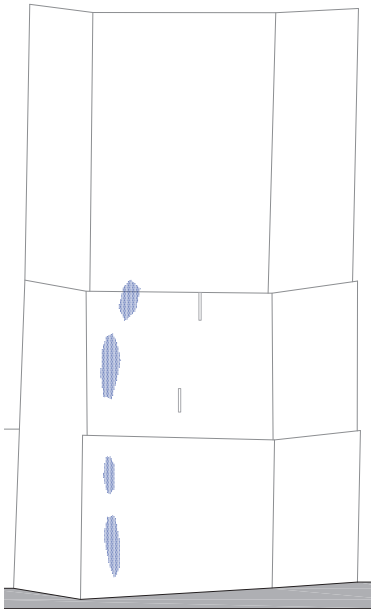
Prospetto esterno nord



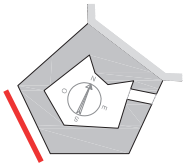


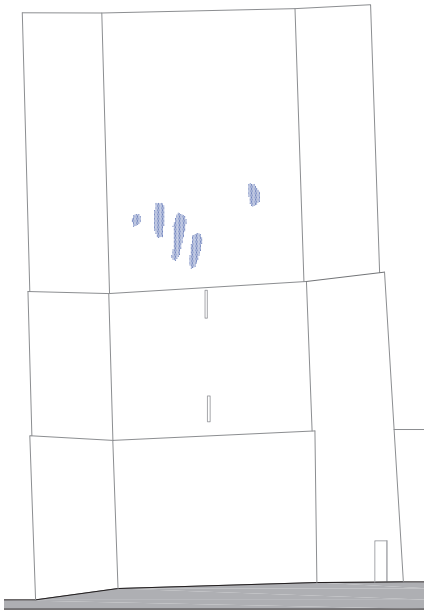
Prospetto esterno ovest



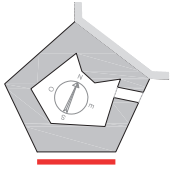


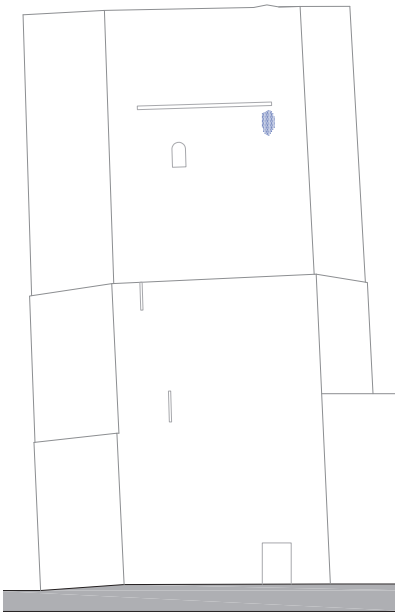
Prospetto esterno sud-ovest



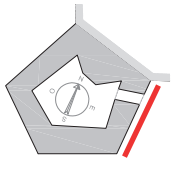


Prospetto esterno sud-est





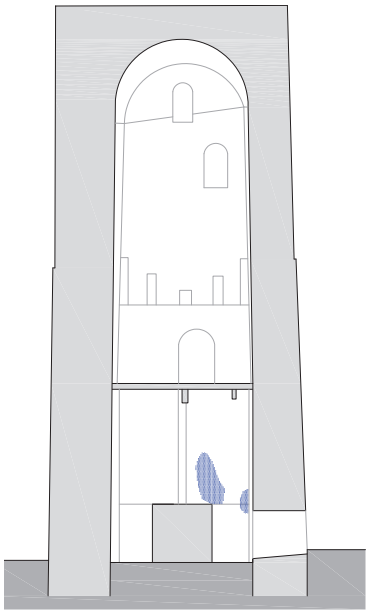
Prospetto esterno est



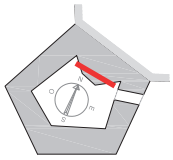
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - interno

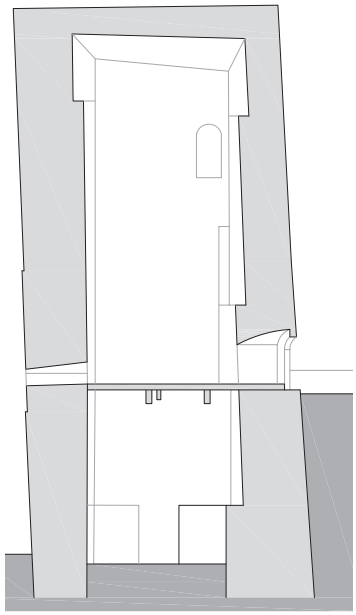
EFFLORESCENZA

Vedi Tav. R.50-R.54

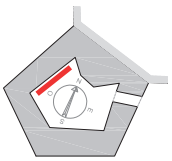


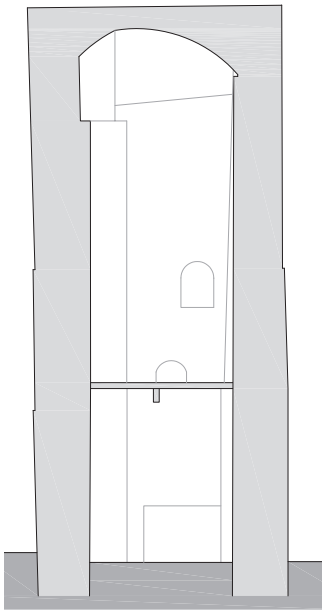
Prospetto interno nord



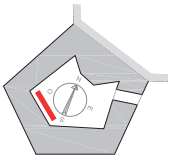


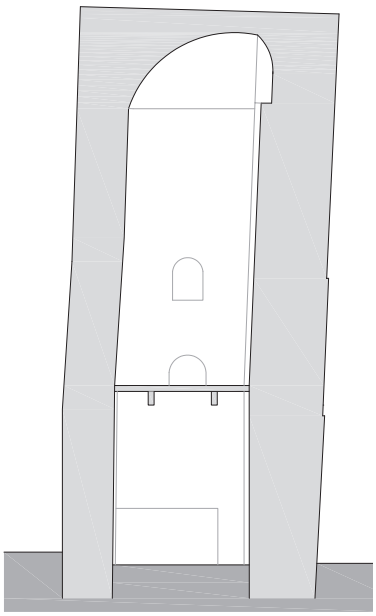
Prospetto interno ovest



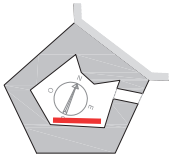


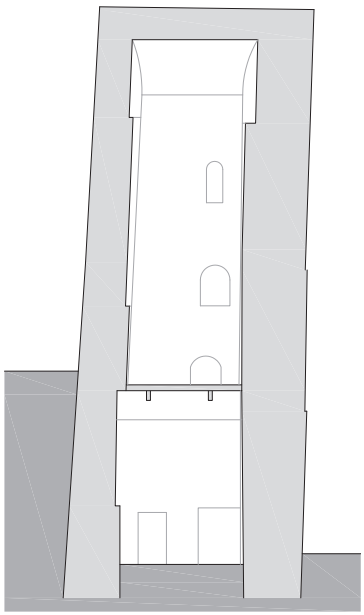
Prospetto interno sud-ovest



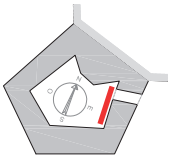


Prospetto interno sud-est





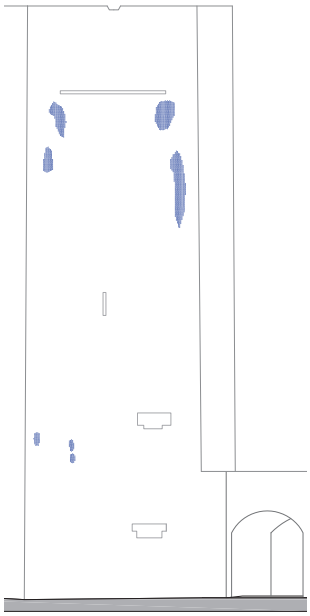
Prospetto interno est



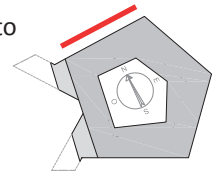
Localizzazione del fenomeno: **TORRE S. VITALE** - esterno

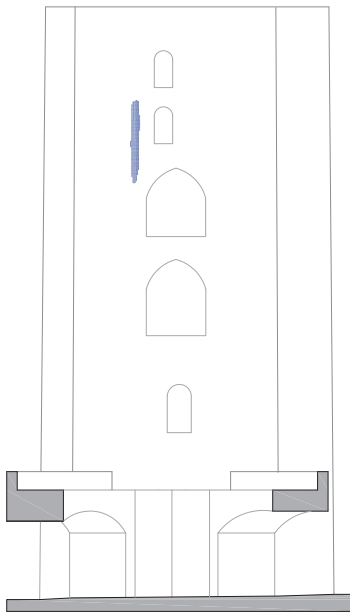
EFFLORESCENZA

Vedi Tav. R.57-R.61

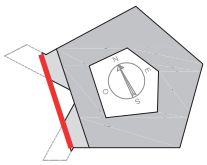


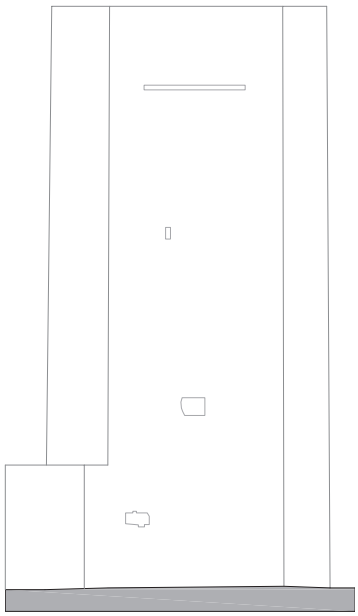
Prospetto esterno nord



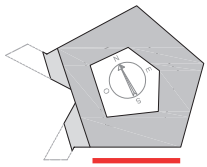


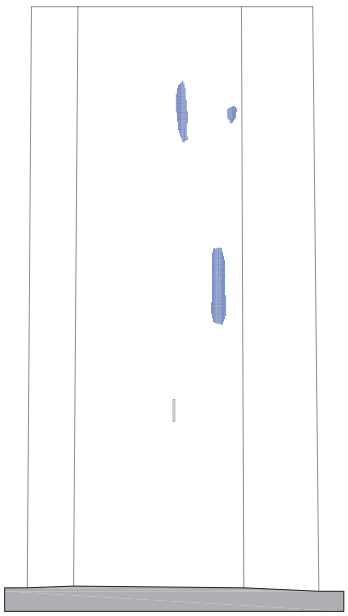
Prospetto esterno ovest



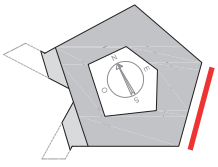


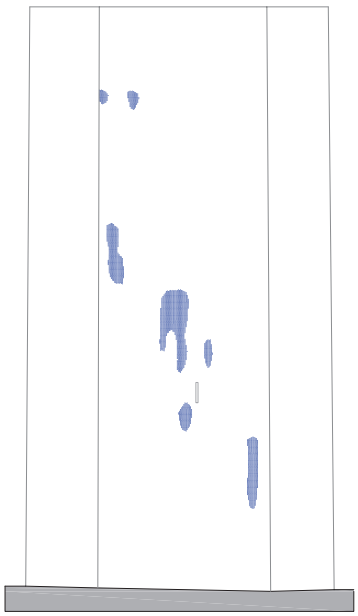
Prospetto esterno sud-ovest



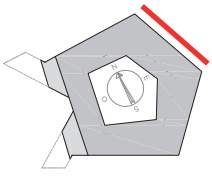


Prospetto esterno sud-est





Prospetto esterno nord-est



SCHEDA PATOLOGIA DI DEGRADO

Ferri ossidati

III

Definizione UNI 11182 ..... /

Descrizione del fenomeno ..... Presenza di elementi in ferro arrugginiti ancorati alla muratura, di dimensioni variabili.

Stato di progressione ..... Il fenomeno è concluso.

Localizzazione del fenomeno ..... Il fenomeno è presente in maniera più o meno diffusa su tutti i prospetti esterni ed interni di tutte e quattro le torri.

Ipotesi di cause ..... Elementi in ferro inseriti in passato nella muratura per ancorare strutture di vario tipo e cavi elettrici, che a contatto con l'atmosfera umida si sono corrosi e ossidati.

Possibili procedure d'intervento ..... Rimozione superficiale o totale (in base alla profondità di ancoraggio) degli elementi ossidati e successiva applicazione di uno strato ricoprente o stuccatura del foro.

Fotografie rappresentative della patologia di degrado:

1. Torre Gattoni, prospetto esterno est

2. Torre Gattoni, prospetto esterno sud-ovest

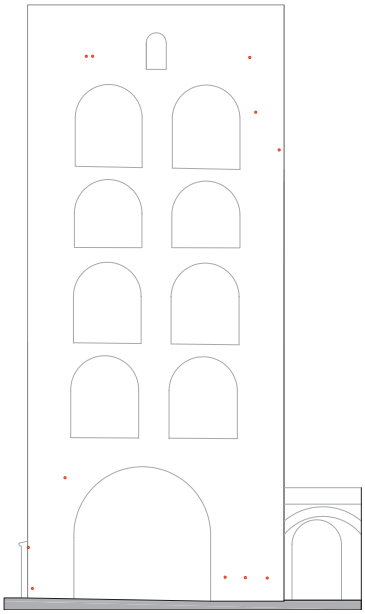
3. Torre Gattoni, prospetto esterno ovest

2. Torre San Vitale, prospetto esterno nord

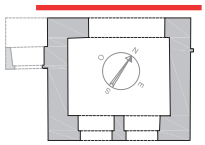
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE** - esterno

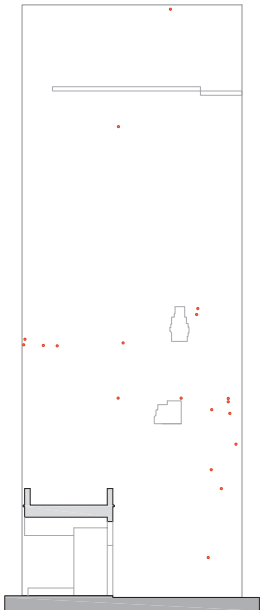
FERRI

Vedi Tav. R.35-R.38

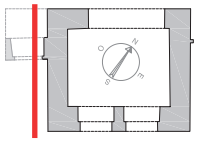


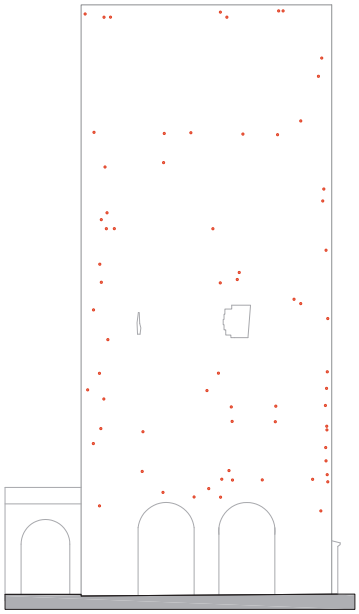
Prospetto esterno nord



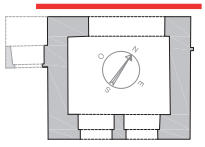


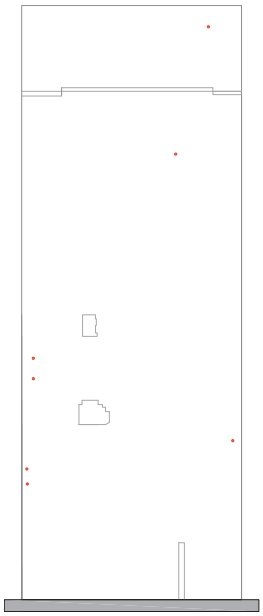
Prospetto esterno ovest



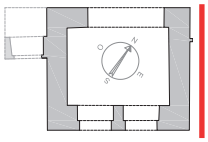


Prospetto esterno sud





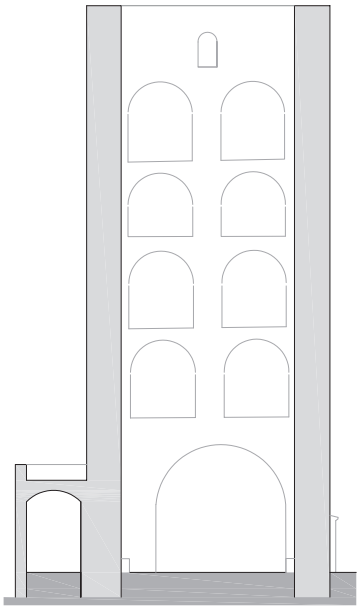
Prospetto esterno est



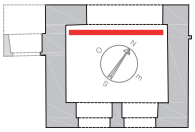
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE**- interno

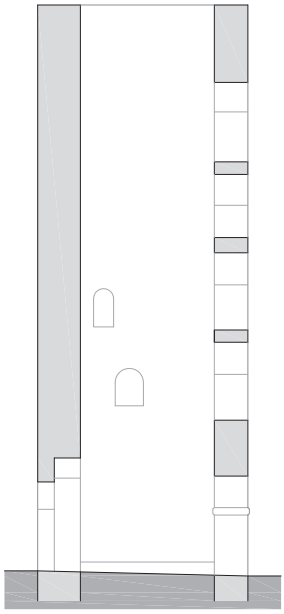
FERRI

Vedi Tav. R.39-R.42

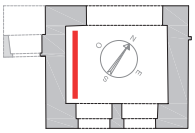


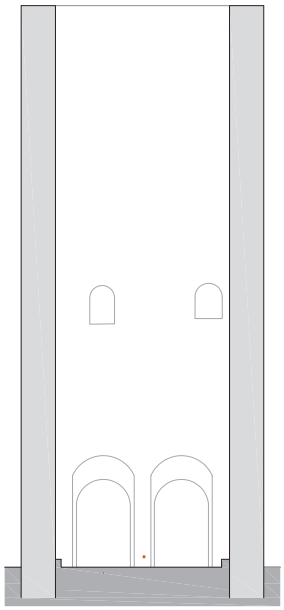
Prospetto interno nord



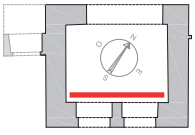


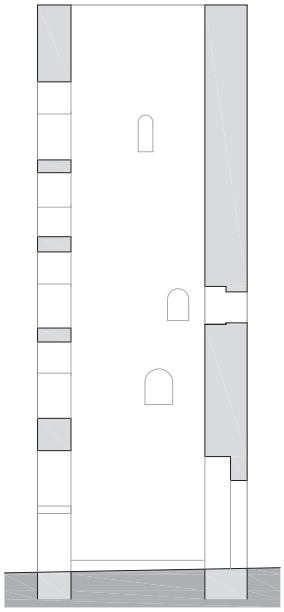
Prospetto interno ovest



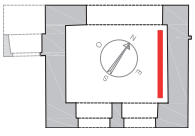


Prospetto interno sud





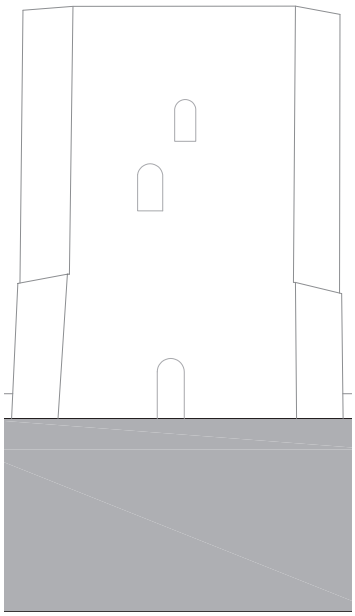
Prospetto interno est



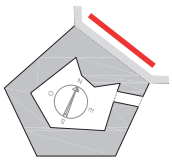
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - esterno

FERRI

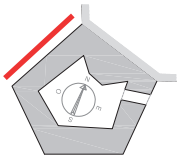
Vedi Tav. R.45-R.49

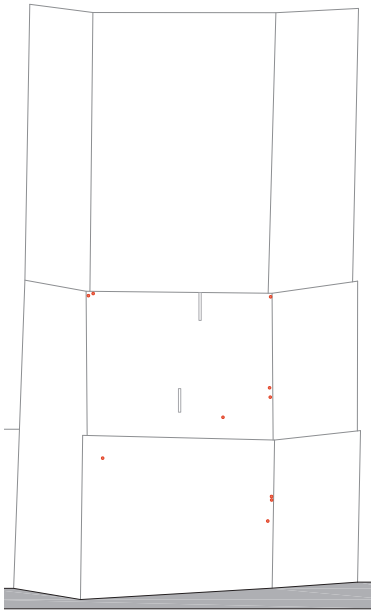


Prospetto esterno nord

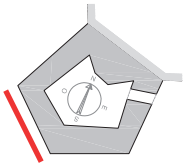


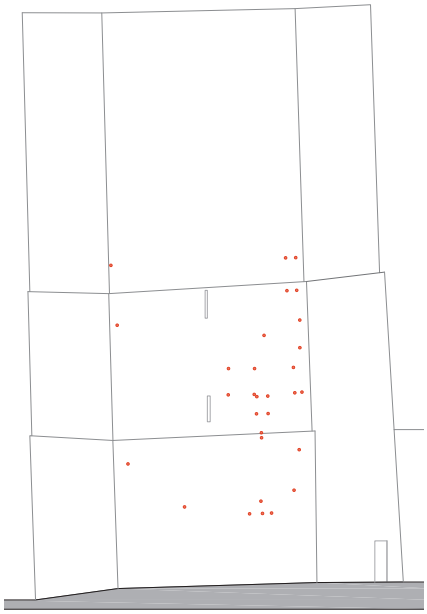
Prospetto esterno ovest



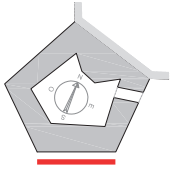


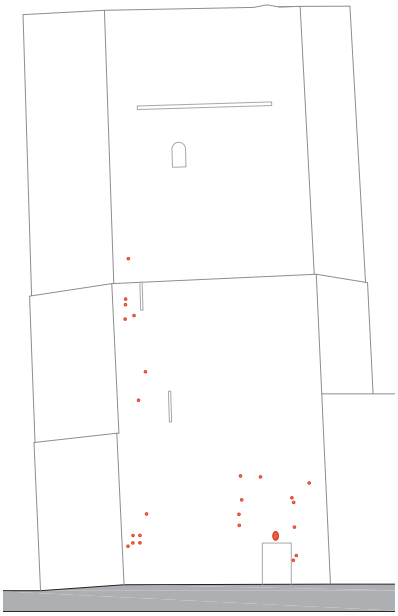
Prospetto esterno sud-ovest



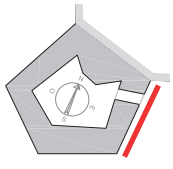


Prospetto esterno sud-est





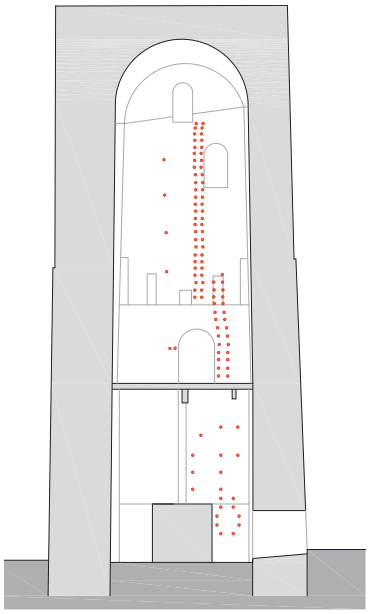
Prospetto esterno est



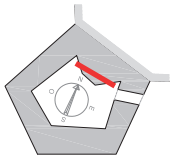
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - interno

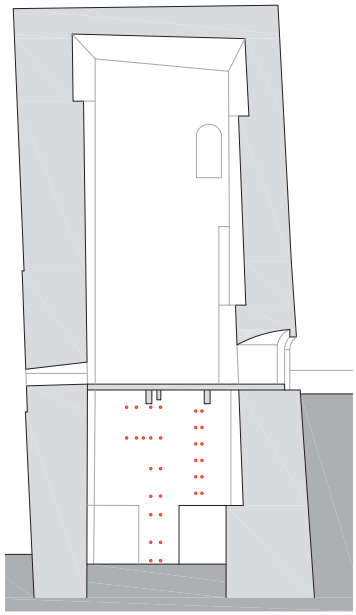
FERRI

Vedi Tav. R.50-R.54

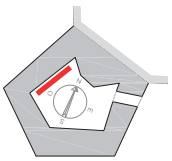


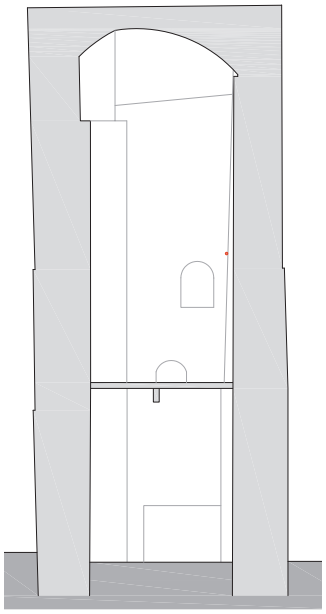
Prospetto interno nord



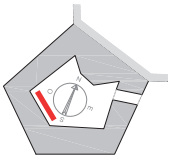


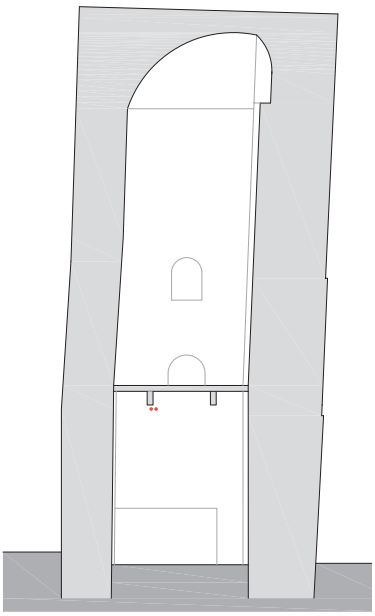
Prospetto interno ovest



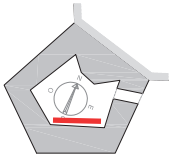


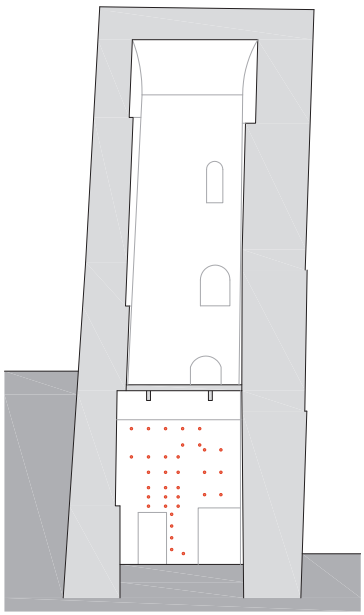
Prospetto interno sud-ovest



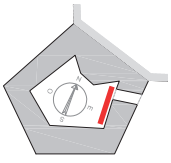


Prospetto interno sud-est





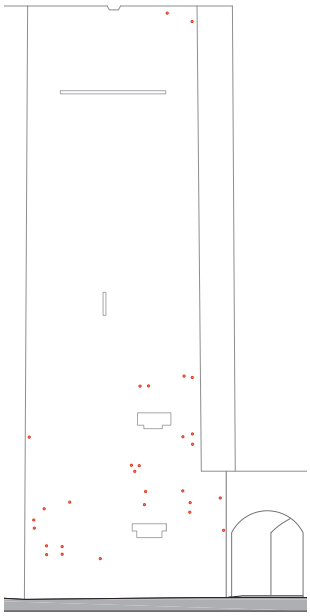
Prospetto interno est



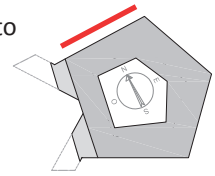
Localizzazione del fenomeno: **TORRE S. VITALE** - esterno

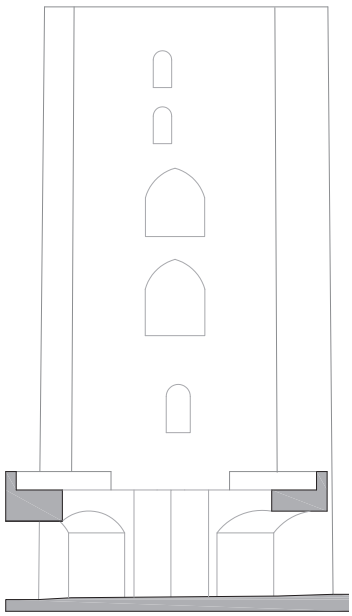
FERRI

Vedi Tav. R.57-R.61

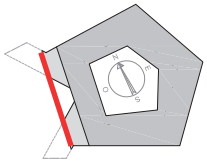


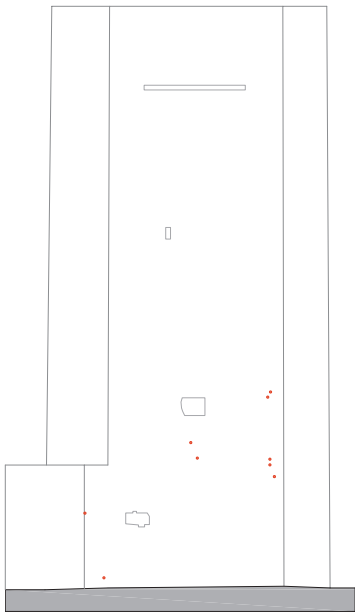
Prospetto esterno nord



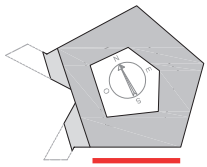


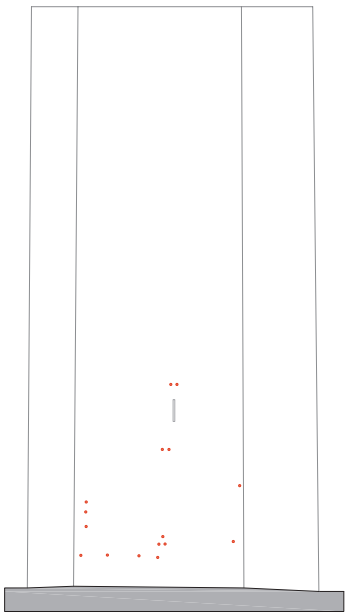
Prospetto esterno ovest



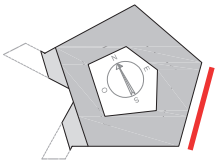


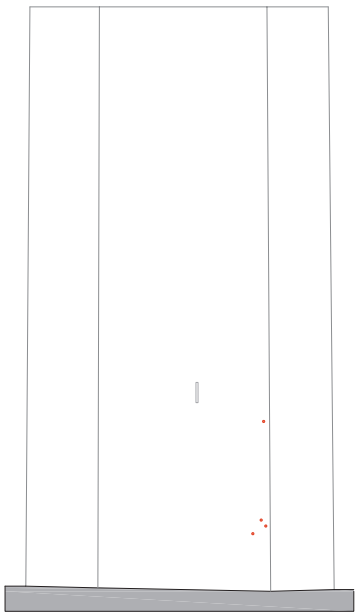
Prospetto esterno sud-ovest



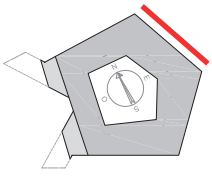


Prospetto esterno sud-est





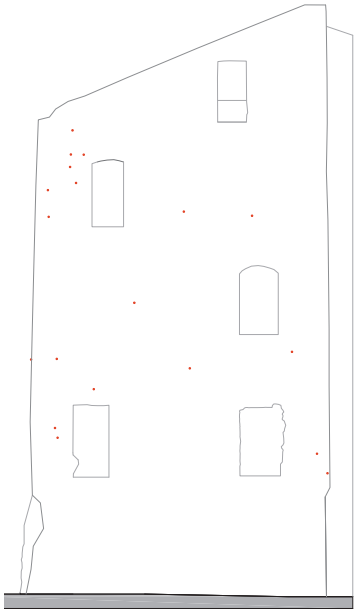
Prospetto esterno nord-est



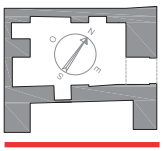
Localizzazione del fenomeno: **TORRE PANTERA** - esterno ed interno

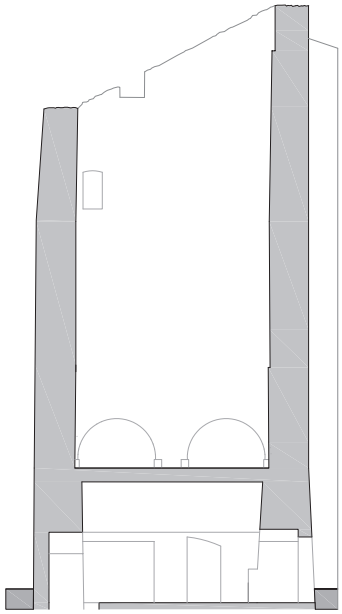
FERRI

Vedi Tav. R.63-R.68

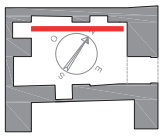


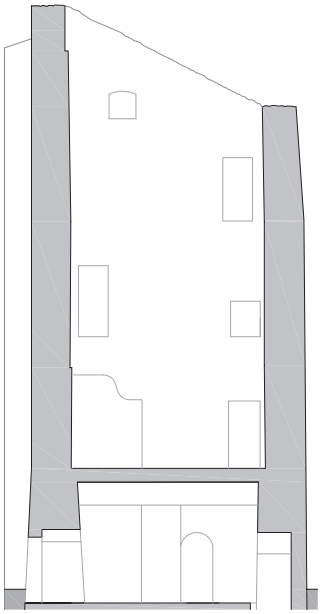
Prospetto esterno sud



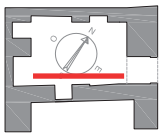


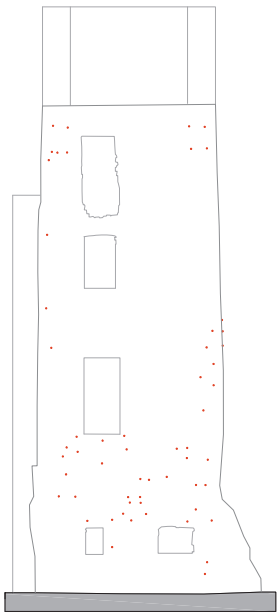
Prospetto interno nord



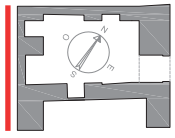


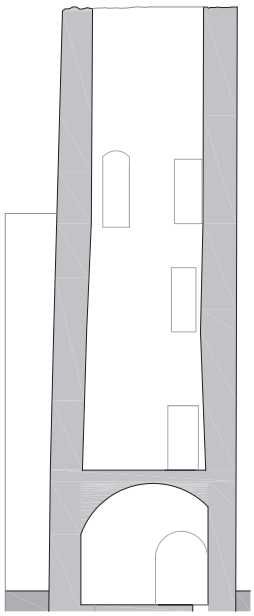
Prospetto interno sud



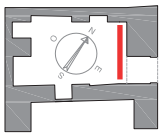


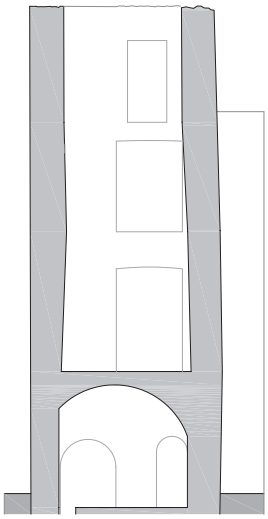
Prospetto esterno ovest



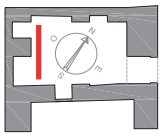


Prospetto interno est





Prospetto interno ovest



SCHEDA PATOLOGIA DI DEGRADO

Fessurazione

IV

Definizione UNI 11182 ..... Soluzione di continuità nel materiale e che implica lo spostamento reciproco delle parti.

Descrizione del fenomeno ..... Fessurazioni e fratturazioni, di spessori e lunghezze variabili, presenti nei giunti fra gli elementi lapidei, e negli elementi lapidei stessi.

Stato di progressione ..... Il fenomeno è in progressione.

Localizzazione del fenomeno ..... Il fenomeno è presente in maniera più o meno diffusa su tutti i prospetti esterni ed interni delle torri Gattoni, San Vitale e Pantera, spesso nella fascia alta di coronamento e nei pressi delle aperturee degli spigoli. Porta torre è invece meno affetta da questa patologia di degrado.

Ipotesi di cause ..... Le fessurazioni o fratturazioni possono essere dovute a effetti meccanici, a cicli di gelo-disgelo, ad alternanza di umidità ed essiccamento, a pressioni di cristallizzazione e di idratazione.

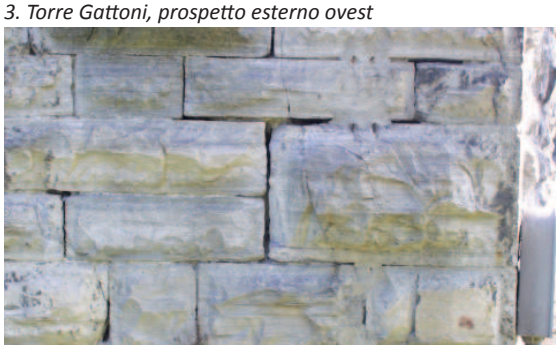
Possibili procedure d'intervento ..... Ristilatura dei giunti; ove necessario inserimento nei giunti di malta di una maglia continua costituita da sottili trefoli in acciaio i cui nodi sono fissati mediante barre metalliche trasversali al paramento murario (tecnica reticolatus); eventuale consolidamento per impregnazione delle pietre fessurate.

Fotografie rappresentative della patologia di degrado:

1. Torre Gattoni, prospetto esterno sud-ovest

2. Torre Gattoni, prospetto esterno ovest

3. Torre Gattoni, prospetto esterno ovest

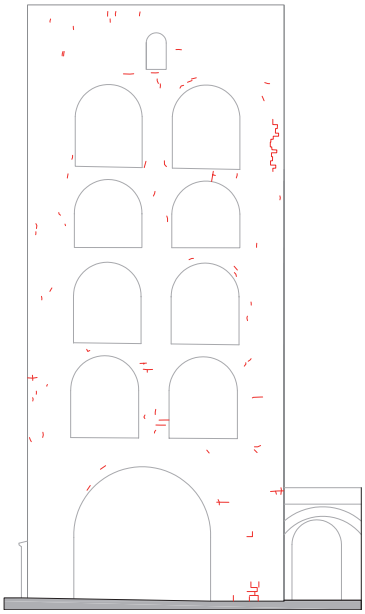


2. Torre San Vitale, prospetto esterno sud-est

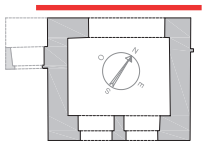
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE** - esterno

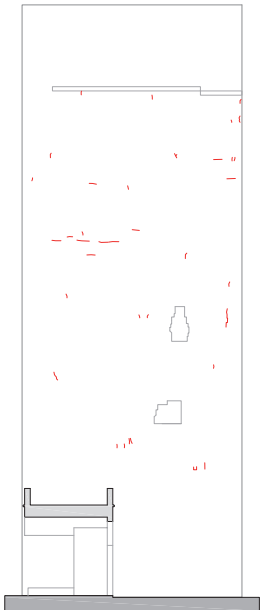
FESSURAZIONI

Vedi Tav. R.35-R.38

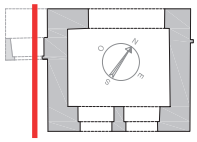


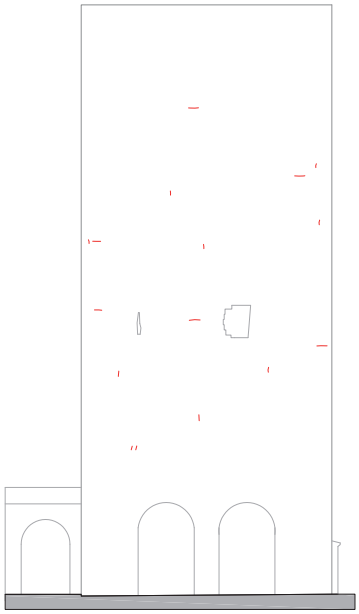
Prospetto esterno nord



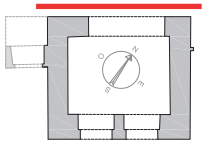


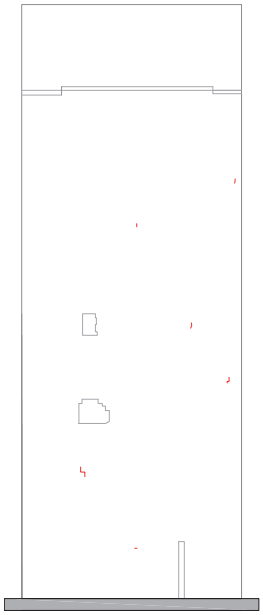
Prospetto esterno ovest



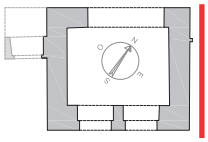


Prospetto esterno sud





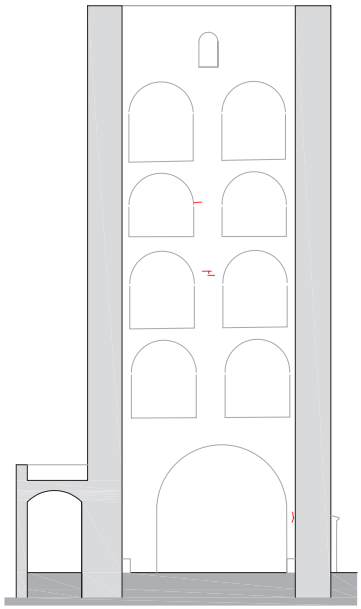
Prospetto esterno est



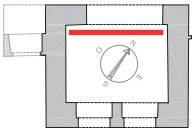
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE** - interno

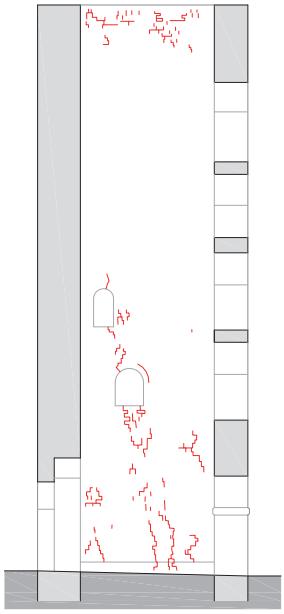
FESSURAZIONI

Vedi Tav. R.39-R.42

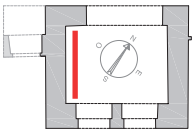


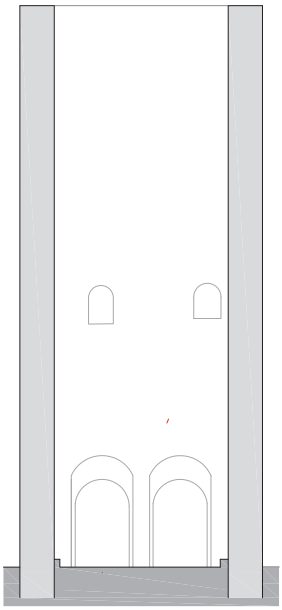
Prospetto interno nord



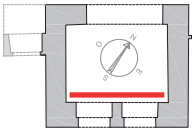


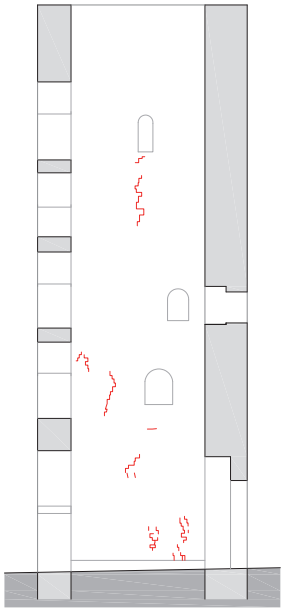
Prospetto interno ovest



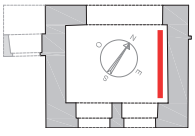


Prospetto interno sud





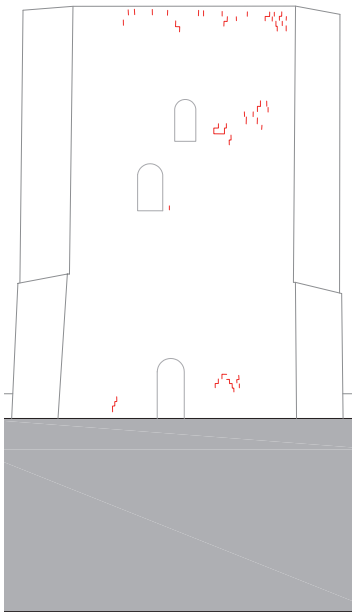
Prospetto interno est



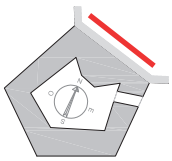
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - esterno

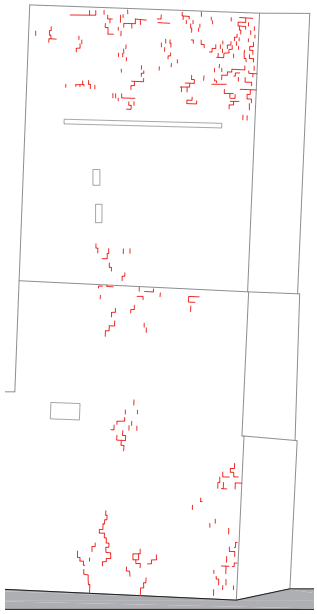
FESSURAZIONI

Vedi Tav. R.45-R.49

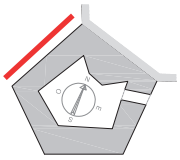


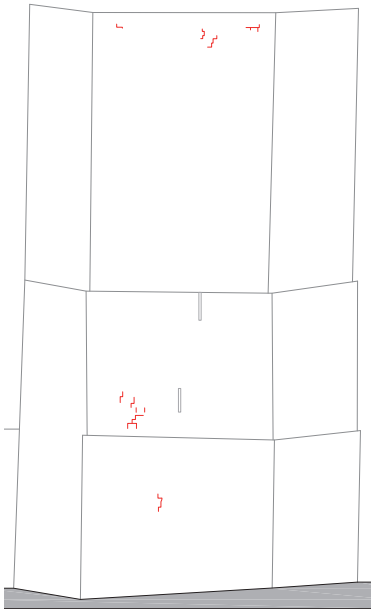
Prospetto esterno nord



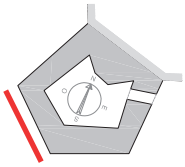


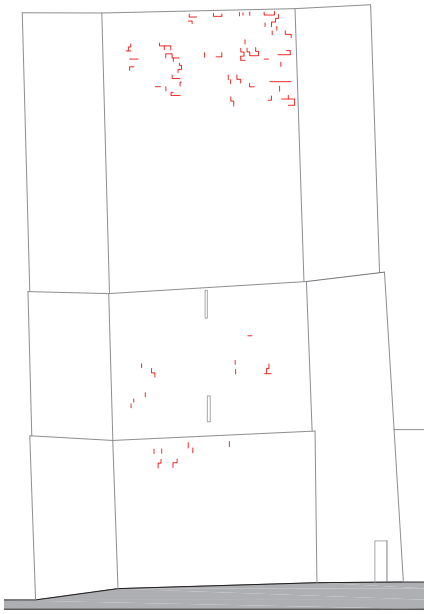
Prospetto esterno ovest



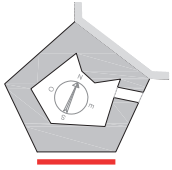


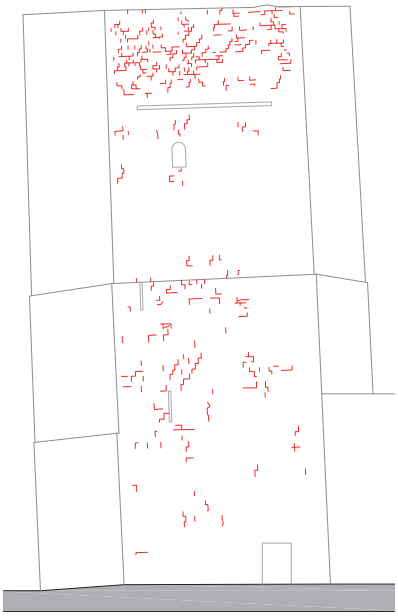
Prospetto esterno sud-ovest



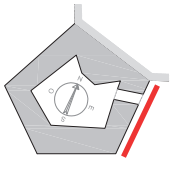


Prospetto esterno sud-est





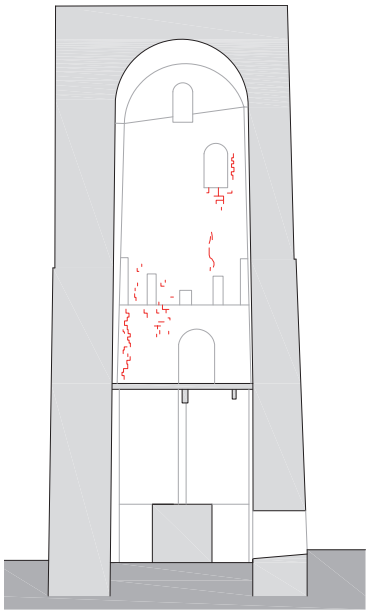
Prospetto esterno est



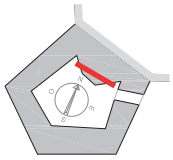
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - interno

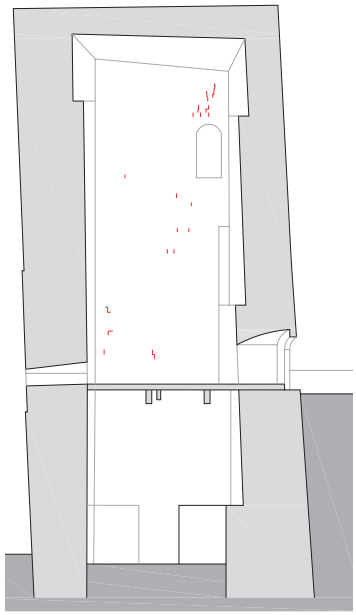
FESSURAZIONI

Vedi Tav. R.50-R.54

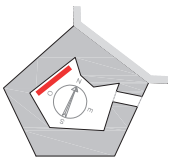


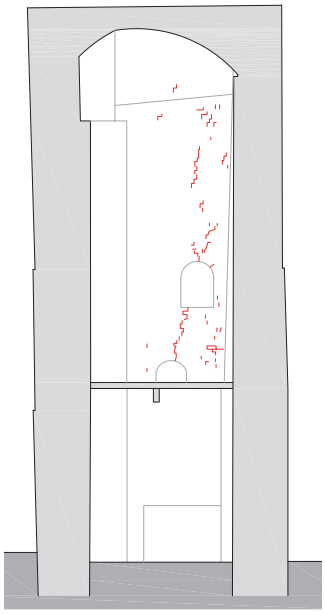
Prospetto interno nord



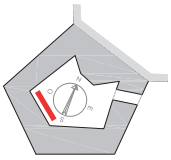


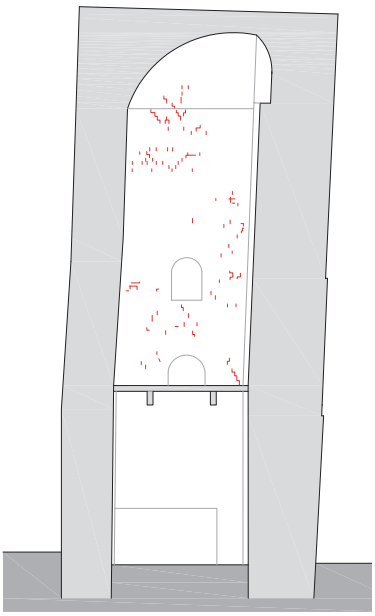
Prospetto interno ovest



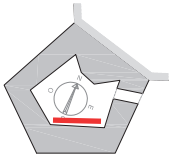


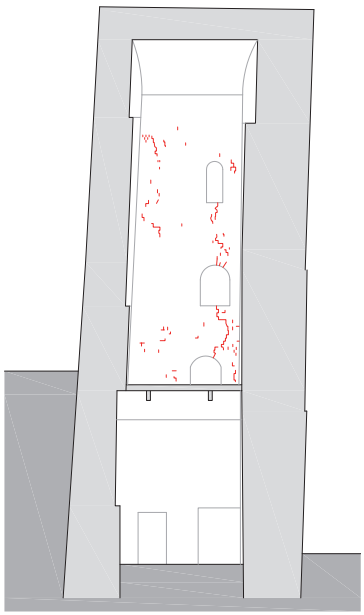
Prospetto interno sud-ovest



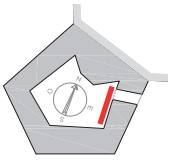


Prospetto interno sud-est





Prospetto interno est

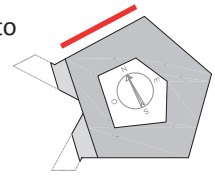


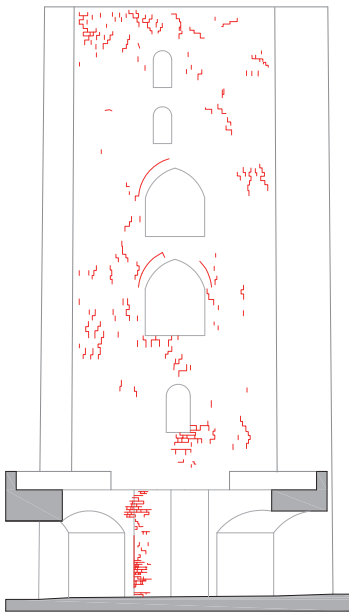
Localizzazione del fenomeno: **TORRE S. VITALE** - esterno

FESSURAZIONI

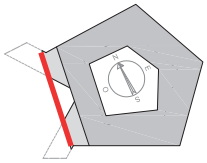
Vedi Tav. R.57-R.61

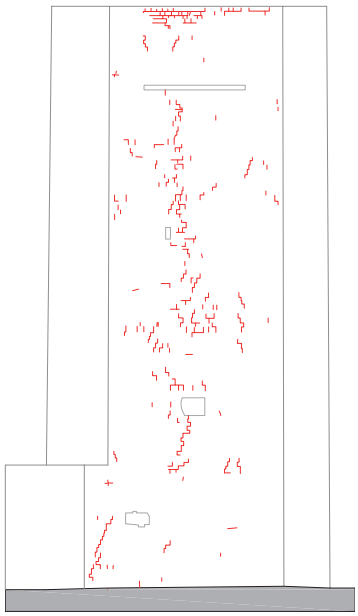
Prospetto esterno nord



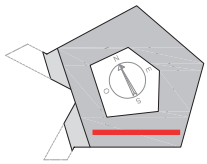


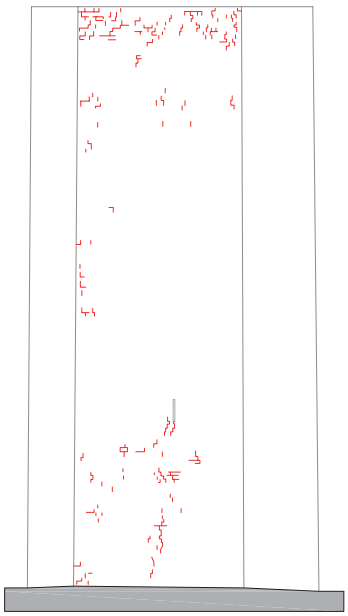
Prospetto esterno ovest



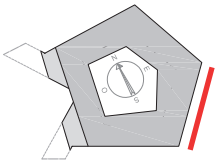


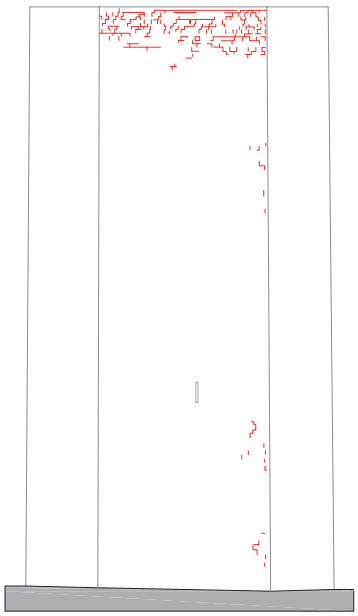
Prospetto esterno sud-ovest



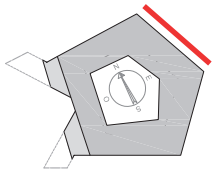


Prospetto esterno sud-est





Prospetto esterno nord-est

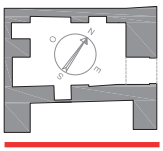


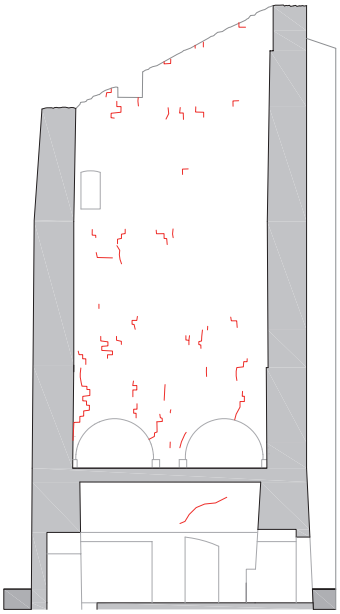
Localizzazione del fenomeno: **TORRE PANTERA** - esterno ed interno

FESSURAZIONI

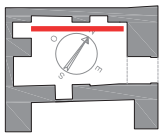
Vedi Tav. R.63-R.68

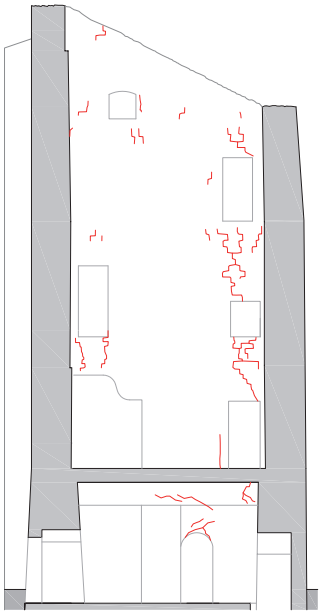
Prospetto esterno sud



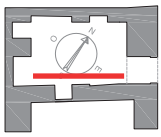


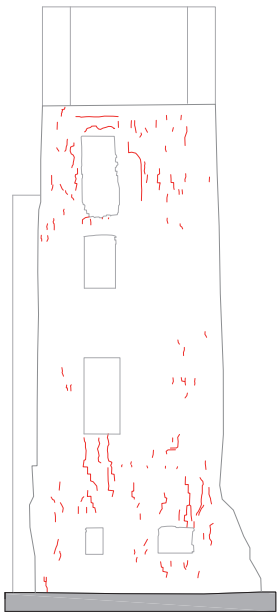
Prospetto interno nord



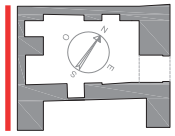


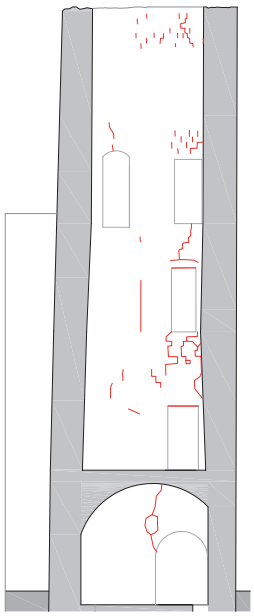
Prospetto interno sud



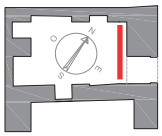


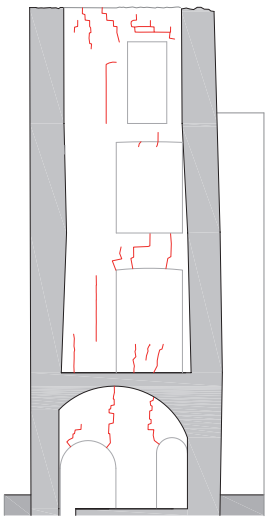
Prospetto esterno ovest



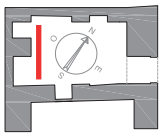


Prospetto interno est





Prospetto interno ovest



SCHEDA PATOLOGIA DI DEGRADO

Fronte di risalita V

Definizione UNI 11182 ..... Limite di migrazione dell'acqua che si manifesta con la formazione di efflorescenze e/o perdita di materiale. E' generalmente accompagnato da variazioni della saturazione del colore nella zona sottostante.

Descrizione del fenomeno ..... Parti di muratura particolarmente umide o addirittura "bagnate" al tatto. L'acqua si fa strada prima nei giunti e nei laterizi, successivamente all'interno degli elementi lapidei.

Stato di progressione ..... Il fenomeno è in progressione.

Localizzazione del fenomeno ..... Il fenomeno è presente su quasi tutti i prospetti interni della torre Gattoni, su di un prospetto esterno ed uno interno di Porta torre (est), e su gran parte dei prospetti esterni ed interni di torre Pantera. Lo si individua in particolare sotto le aperture.

Ipotesi di cause ..... Infiltrazioni d'acqua provenienti dalla copertura, o attraverso le fessurazioni, o, nel caso di torre Gattoni, dal terrapieno delle mura, e favorite anche dalla presenza di vegetazione.

Possibili procedure d'intervento ..... Estirpazione degli apparati vegetali, ristilatura dei giunti e delle fessure, inserimento di un nuovo strato di tenuta in copertura, realizzazione di un drenaggio nel terrapieno delle mura adiacenti alla torre Gattoni.

Fotografie rappresentative della patologia di degrado:

1. Torre Gattoni, prospetto interno e

2. Torre Gattoni, prospetto interno e

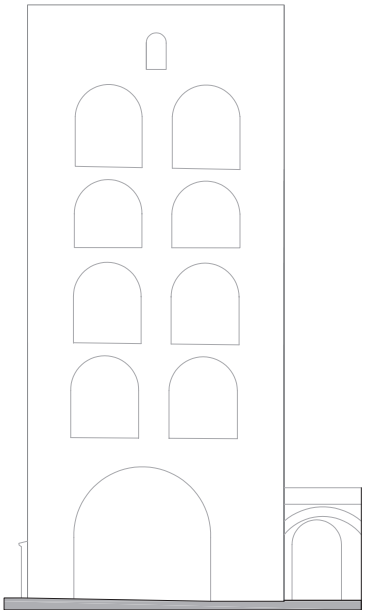
3. Torre Pantera, prospetto esterno sud

2. Torre Pantera, prospetto esterno sud

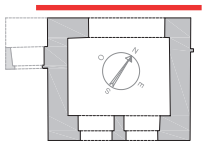
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE** - esterno

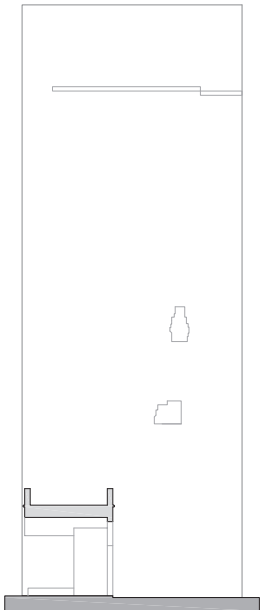
INFILTRAZIONI D'ACQUA

Vedi Tav. R.35-R.38

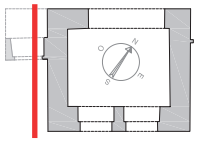


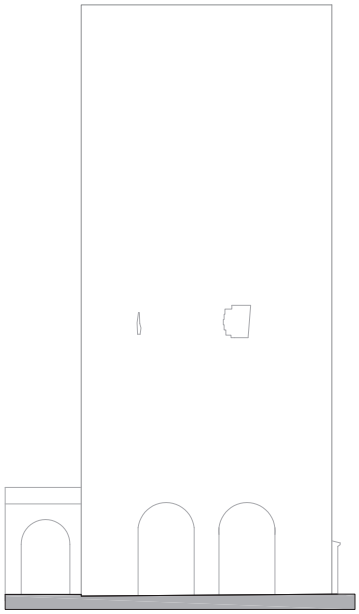
Prospetto esterno nord



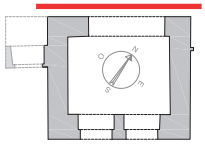


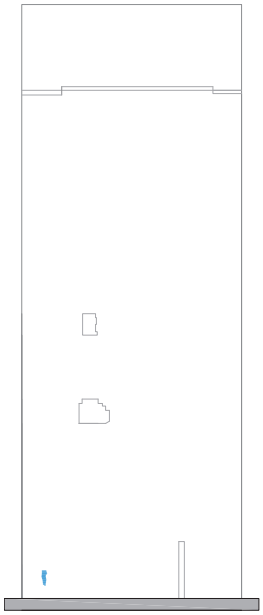
Prospetto esterno ovest



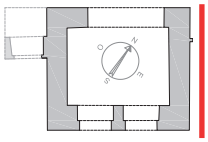


Prospetto esterno sud





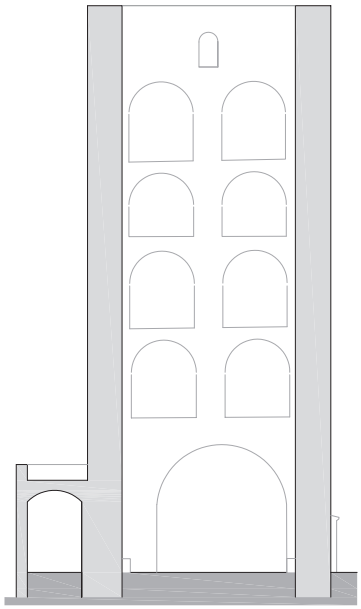
Prospetto esterno est



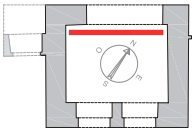
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE** - interno

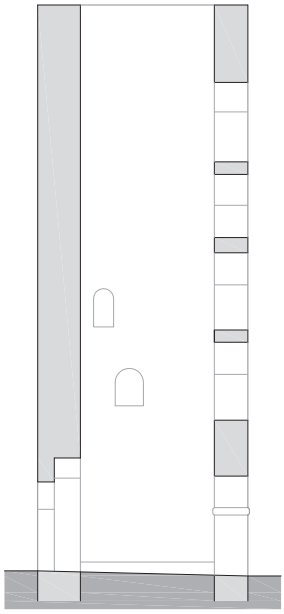
INFILTRAZIONI D'ACQUA

Vedi Tav. R.39-R.42

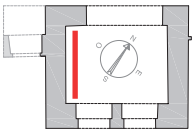


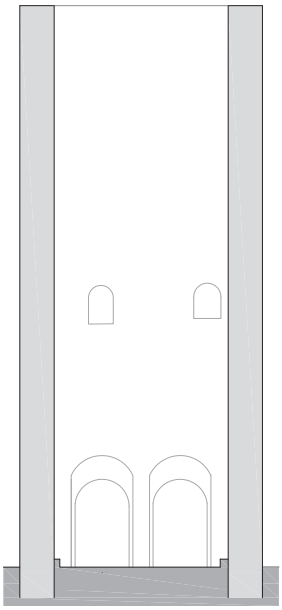
Prospetto interno nord



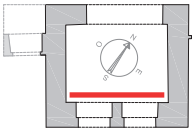


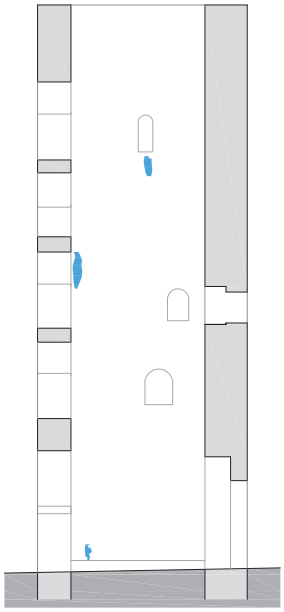
Prospetto interno ovest



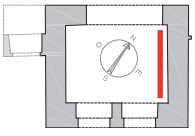


Prospetto interno sud





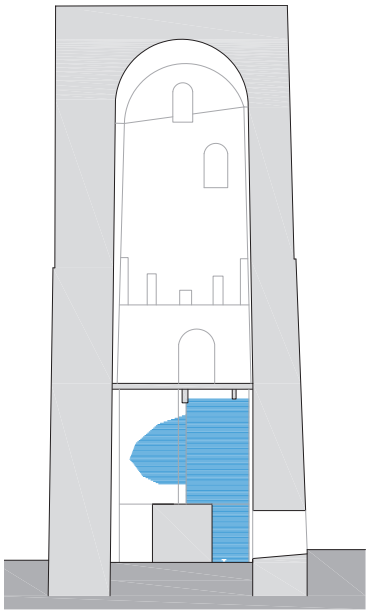
Prospetto interno est



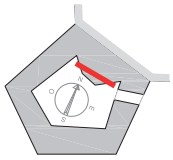
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - interno

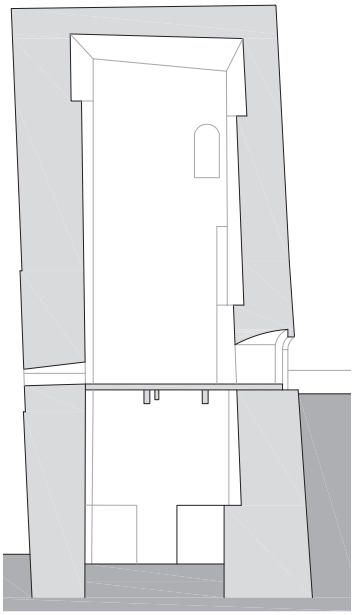
INFILTRAZIONI D'ACQUA

Vedi Tav. R.50-R.54

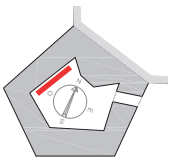


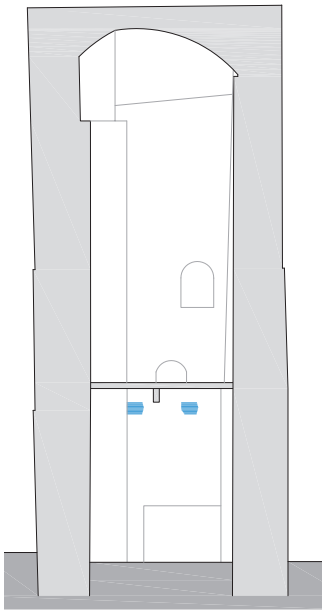
Prospetto interno nord



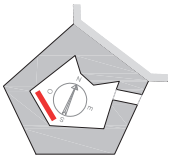


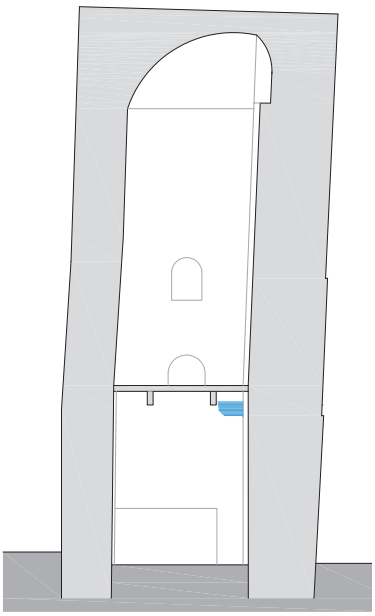
Prospetto interno ovest



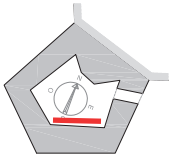


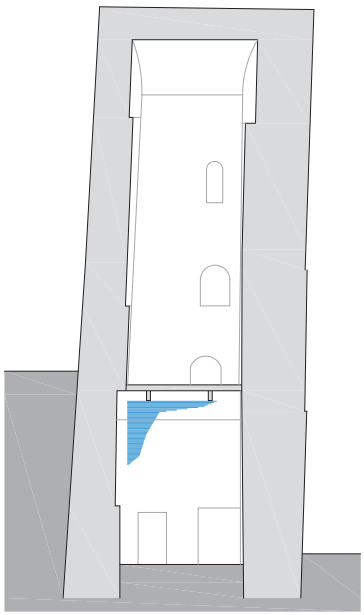
Prospetto interno sud-ovest



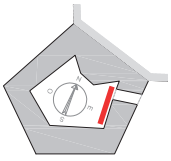


Prospetto interno sud-est





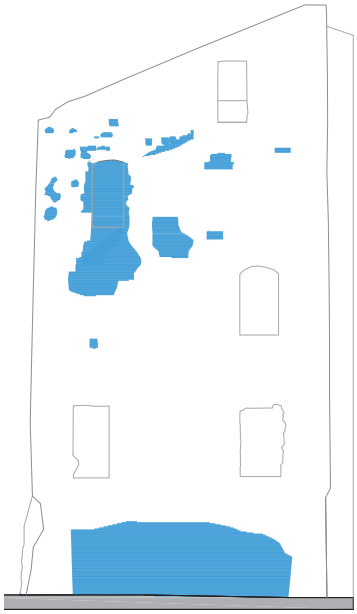
Prospetto interno est



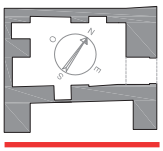
Localizzazione del fenomeno: **TORRE PANTERA** - esterno ed interno

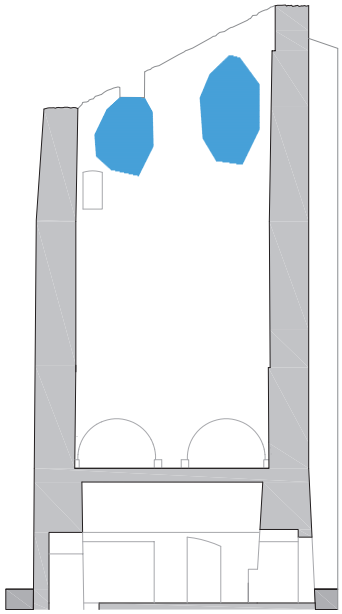
INFILTRAZIONI D'ACQUA

Vedi Tav. R.63-R.68

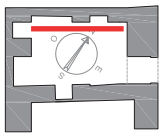


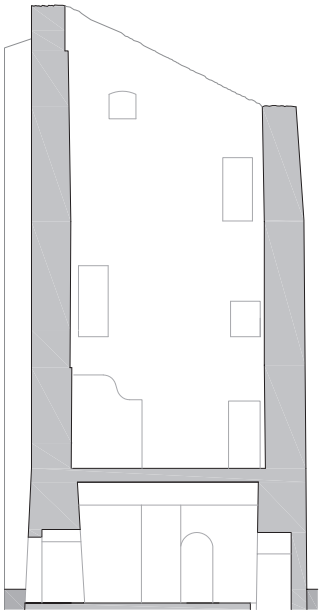
Prospetto esterno sud



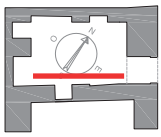


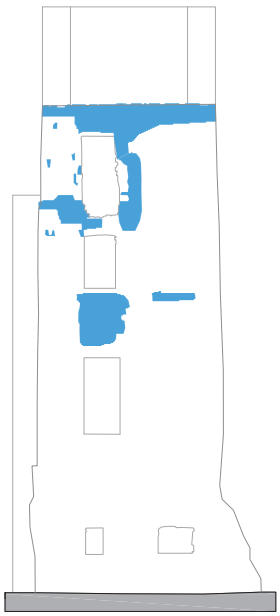
Prospetto interno nord



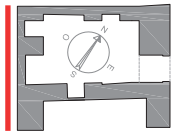


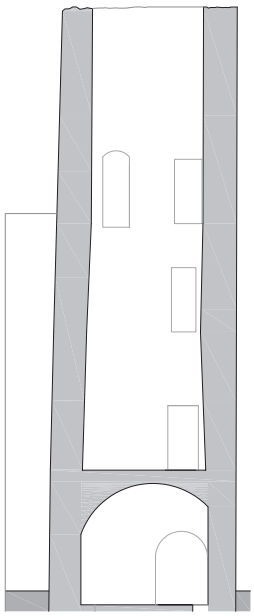
Prospetto interno sud



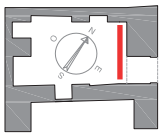


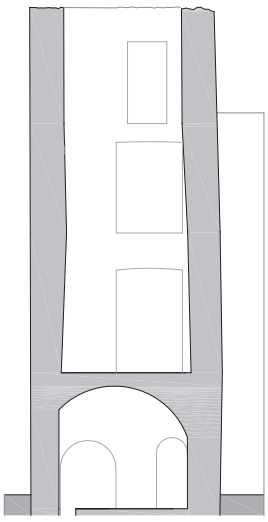
Prospetto esterno ovest



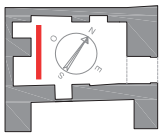


Prospetto interno est





Prospetto interno ovest



SCHEDA PATOLOGIA DI DEGRADO

Graffito vandalico VI

Definizione UNI 11182 ..... Apposizione indesiderata sulla superficie di vernici colorate.

Descrizione del fenomeno ..... Alterazione artificiale (degrado antropico) della tinta di parti degli elementi lapidei a livello terra, legata alla presenza di scritte/disegni. Si tratta di un fenomeno che non comporta una diminuzione della resistenza del materiale ma solo una variazione dei parametri di percezione visiva.

Stato di progressione ..... Il fenomeno è in progressione.

Localizzazione del fenomeno ..... Il fenomeno è presente a livello terra di due facciate esterne della torre Gattoni (sud-ovest ed est), di due facciate esterne di Porta torre (est e nord) e di una facciata interna sempre di Porta torre (sud).

Ipotesi di cause ..... Le cause sono in questo caso antropiche e sono di conseguenza legate all'accessibilità interna ed esterna delle torri.

Possibili procedure d'intervento ..... Pulitura con idrocarburi clorurati mischiati con alcole metilico, un attivatore, una cera, una sostanza disperdente, un tensioattivo e un agente addensante; oppure lavaggio con altri prodotti a base acquosa a bassa pressione; oppure pulitura con microaerabrasivatura ad umido.

Fotografie rappresentative della patologia di degrado:

1. Torre Gattoni, prospetto esterno est

2. Porta Torre, prospetto esterno nord

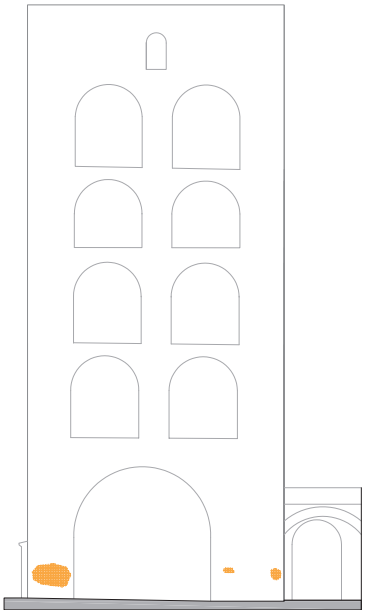
3. Torre Gattoni, prospetto esterno sud-ovest

2. Porta Torre, prospetto esterno est

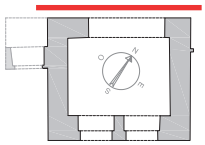
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE** - esterno

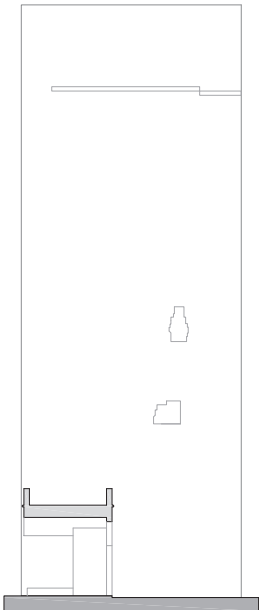
ALTERAZIONE CROMATICA

Vedi Tav. R.35-R.38

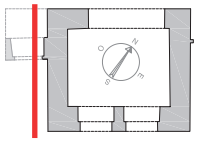


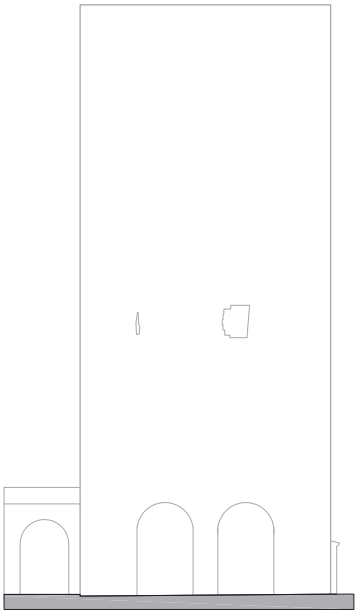
Prospetto esterno nord



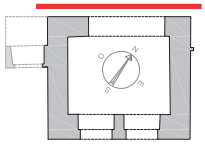


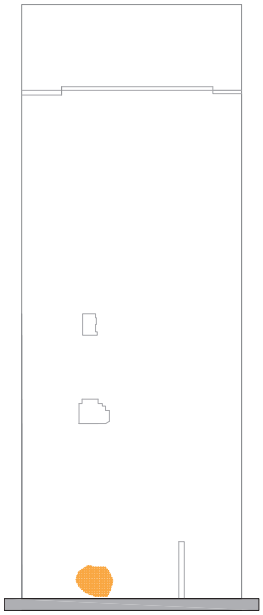
Prospetto esterno ovest



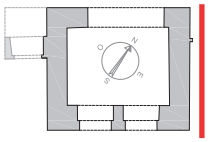


Prospetto esterno sud





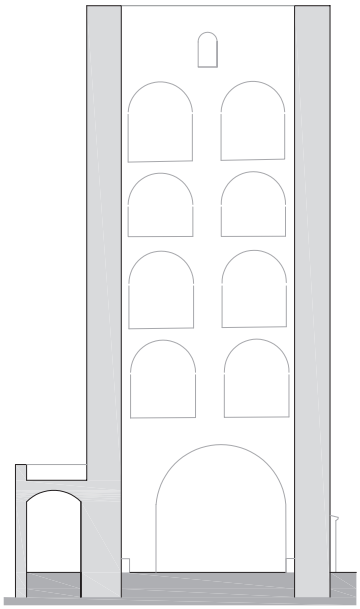
Prospetto esterno est



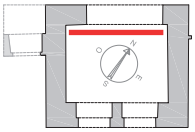
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE** - interno

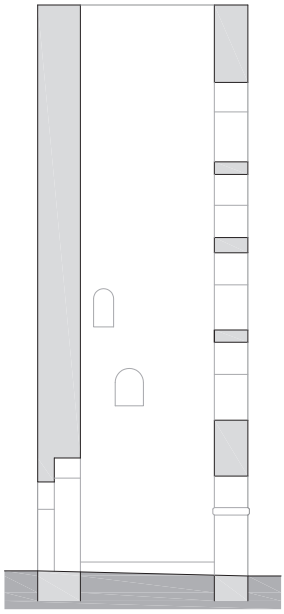
ALTERAZIONE CROMATICA

Vedi Tav. R.39-R.42

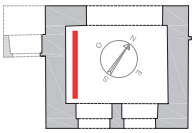


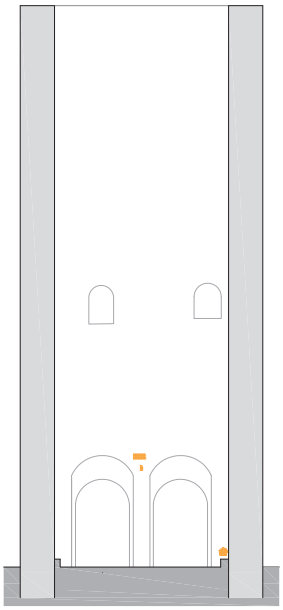
Prospetto interno nord



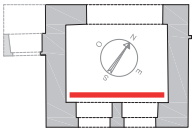


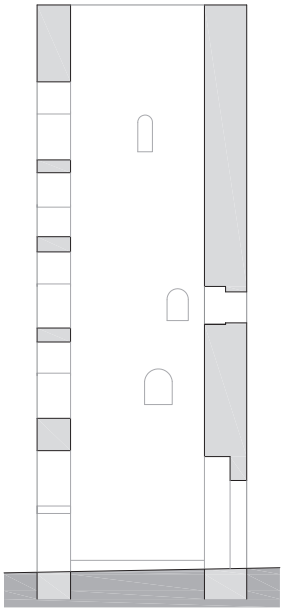
Prospetto interno ovest



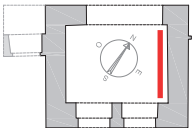


Prospetto interno sud





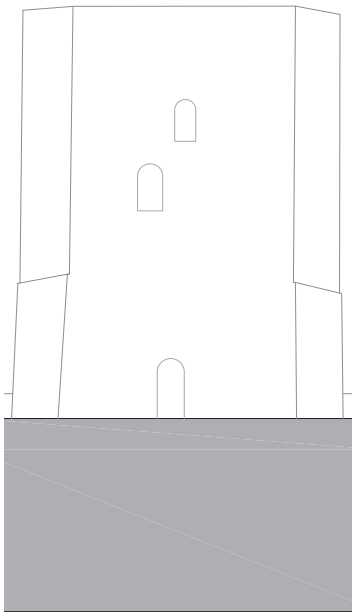
Prospetto interno est



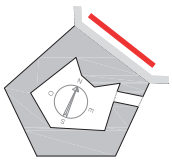
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - esterno

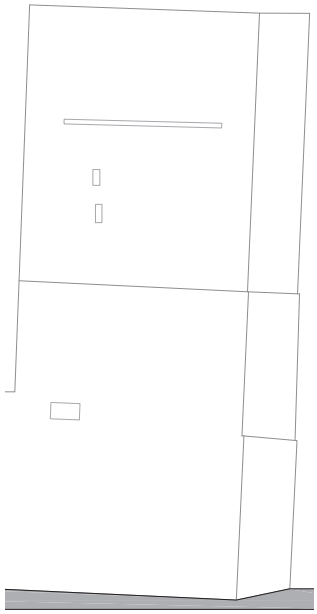
ALTERAZIONE CROMATICA

Vedi Tav. R.45-R.49

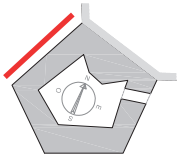


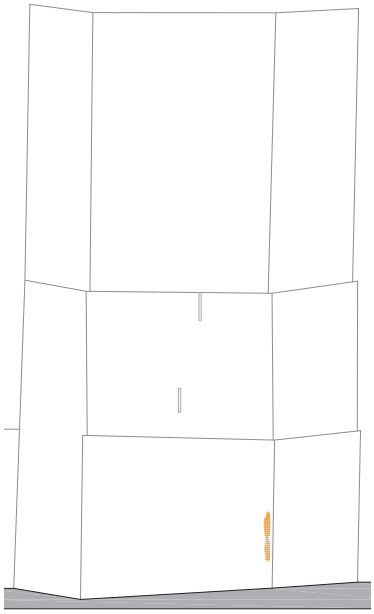
Prospetto esterno nord



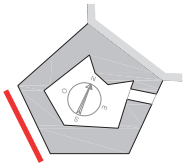


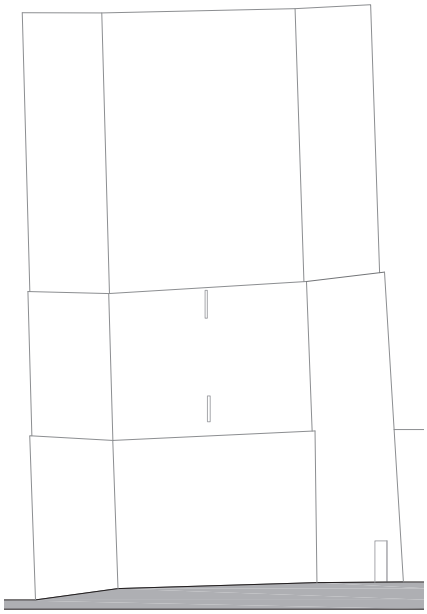
Prospetto esterno ovest



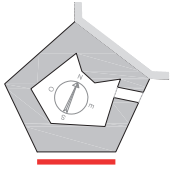


Prospetto esterno sud-ovest

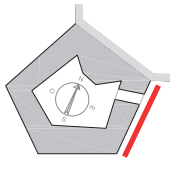




Prospetto esterno sud-est



Prospetto esterno est



SCHEDA PATOLOGIA DI DEGRADO

Macchie di ruggine VII

Definizione UNI 11182 ..... Variazione cromatica localizzata della superficie, correlata sia alla presenza di determinati componenti naturali del materiale (concentrazione di pirite nei marmi), sia alla presenza di materiali estranei (acqua, prodotti di ossidazione di materiali metallici, sostannze organiche, vernici , microrganismi, per esempio)

Descrizione del fenomeno ..... Macchie di ruggine collocate in prossimità di oggetti in ferro inclusi nella muratura e più o meno aggettanti rispetto ad essa.

Stato di progressione ..... Il fenomeno è in progressione.

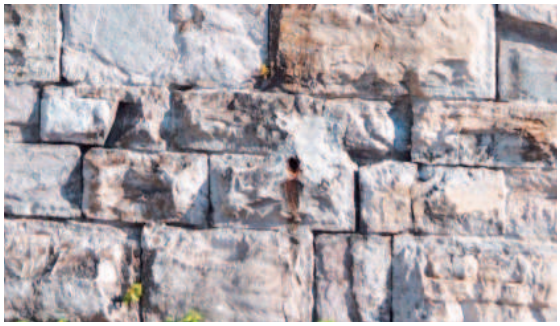
Localizzazione del fenomeno ..... Il fenomeno è presente in maniera isolata su tutti i prospetti esterni di Porta torre, sul prospetto esterno ovest ed interno e di torre Gattoni, sui prospetti esterni nord e sud-est della torre San Vitale, e sul prospetto esterno sud della torre Pantera. Si colloca sotto elementi in ferro inclusi nella muratura.

Ipotesi di cause ..... Presenza di oggetti in ferro inclusi nella muratura che si sono corrosi a contatto con l'atmosfera umida e si sono ossidati trasformando il loro strato superificiale in ruggine. Il dilavamento ha poi trasportato parte di questo strato superficiale sulla pietra sottostante, creando delle macchie.

Possibili procedure d'intervento ..... Pulitura con soluzioni acide a base di fosfato di ammonio, oppure con soluzione satura di bifluoruro di ammonio, oppure con ETDA in soluzione ammoniacale.

Fotografie rappresentative della patologia di degrado:

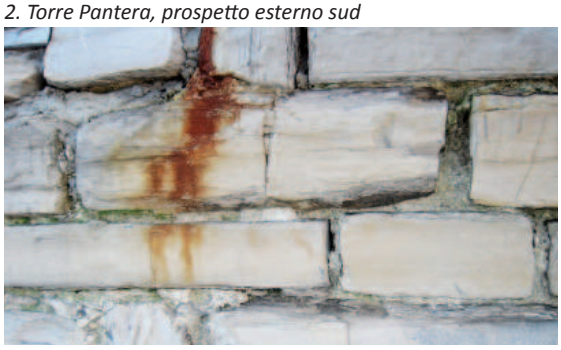
1. Torre San Vitale, prospetto esterno sud-ovest



2. Porta Torre, prospetto esterno ovest

3. Torre Gattoni, prospetto esterno ovest

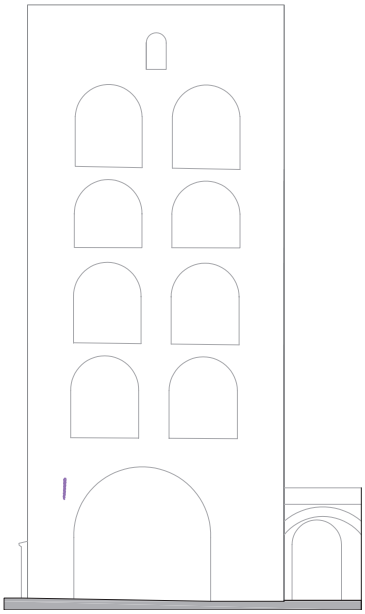
2. Torre Pantera, prospetto esterno sud



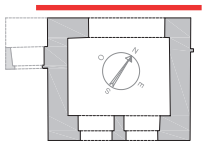
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE** - esterno

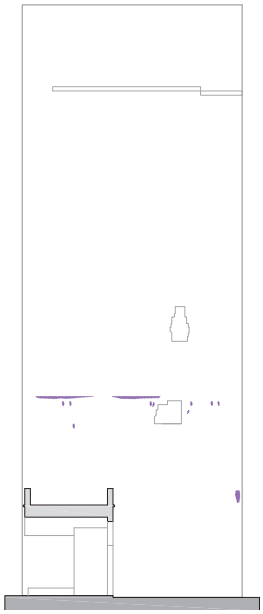
MACCHIE DI RUGGINE

Vedi Tav. R.35-R.38

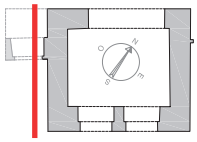


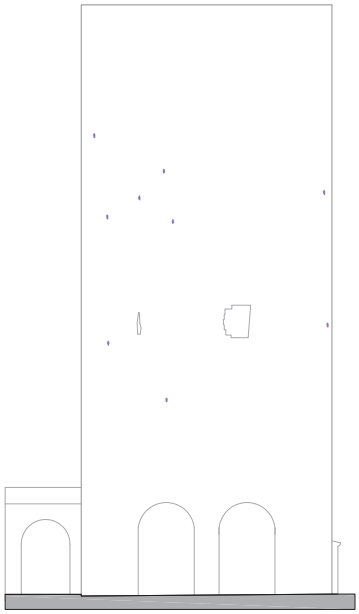
Prospetto esterno nord



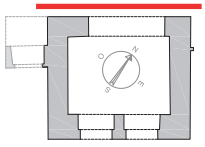


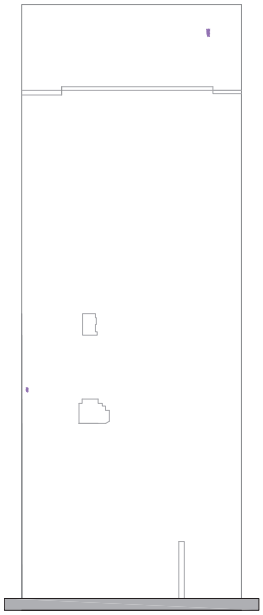
Prospetto esterno ovest



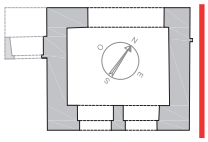


Prospetto esterno sud





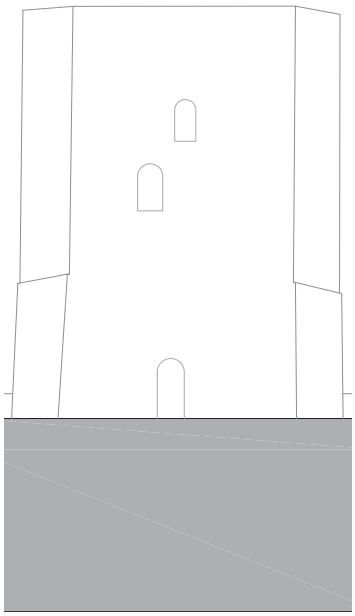
Prospetto esterno est



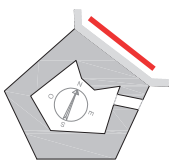
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - esterno

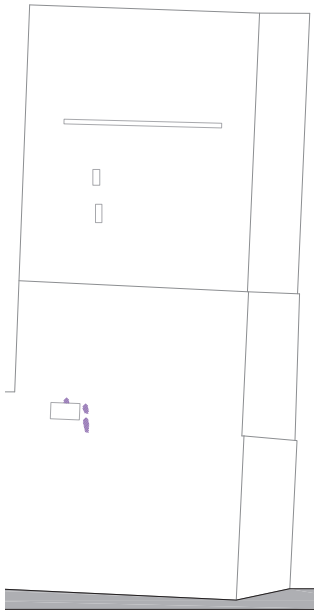
MACCHIE DI RUGGINE

Vedi Tav. R.45-R.49

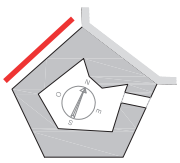


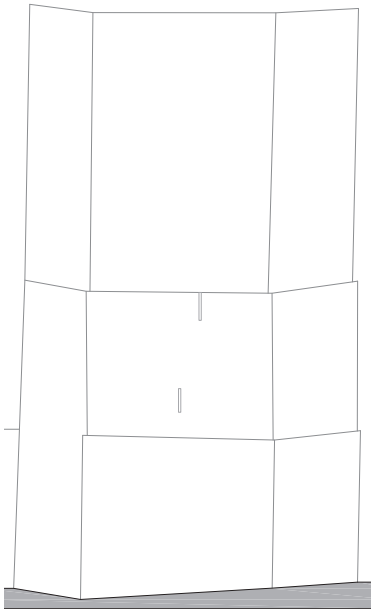
Prospetto esterno nord



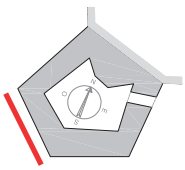


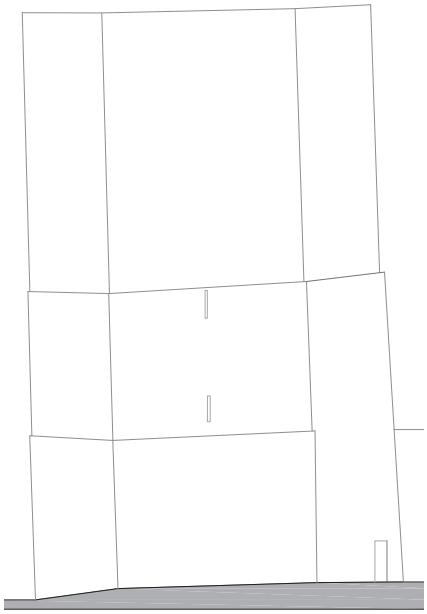
Prospetto esterno ovest



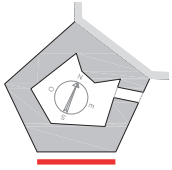


Prospetto esterno sud-ovest

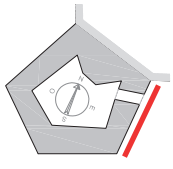




Prospetto esterno sud-est



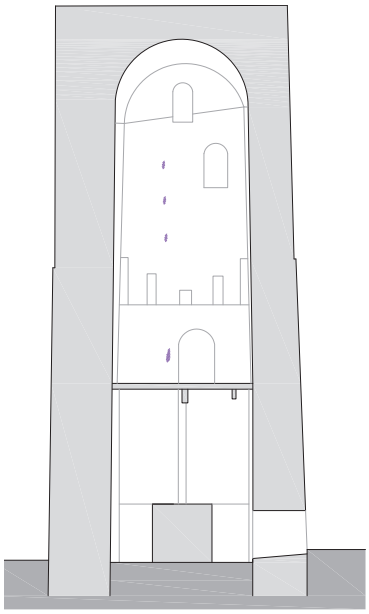
Prospetto esterno est



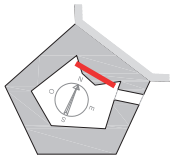
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - interno

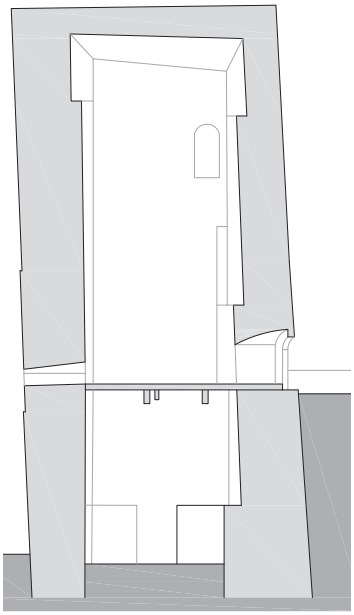
MACCHIE DI RUGGINE

Vedi Tav. R.50-R.54

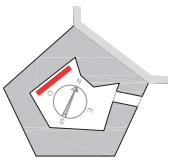


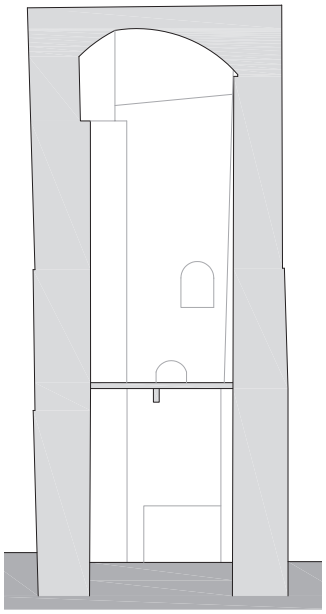
Prospetto interno nord



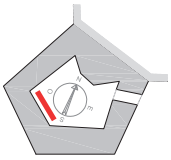


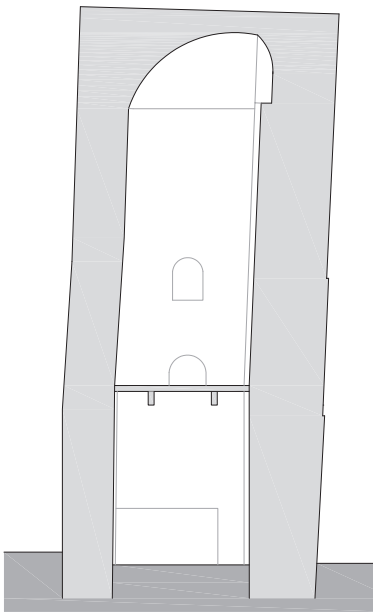
Prospetto interno ovest



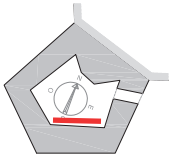


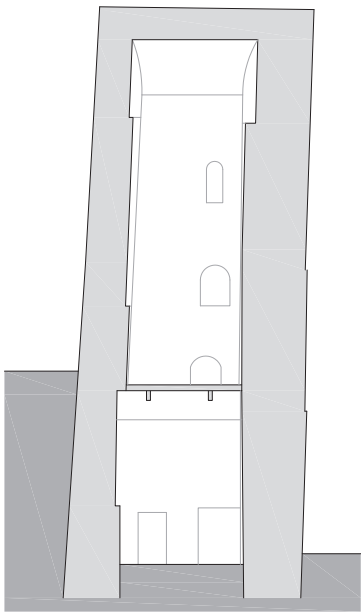
Prospetto interno sud-ovest



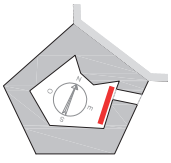


Prospetto interno sud-est





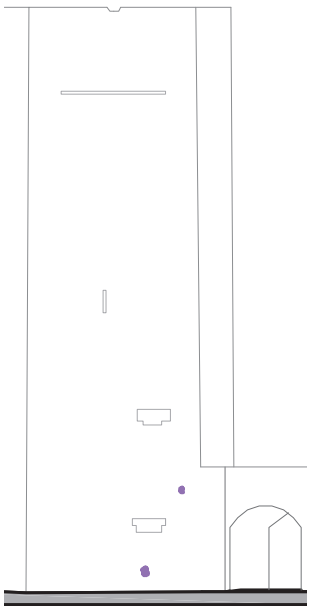
Prospetto interno est



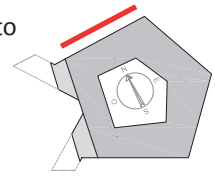
Localizzazione del fenomeno: **TORRE S. VITALE** - esterno

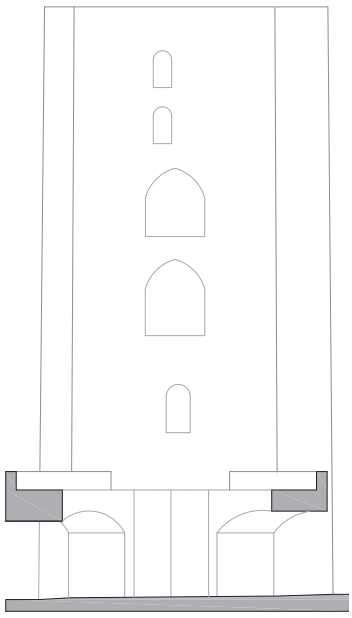
MACCHIE DI RUGGINE

Vedi Tav. R.57-R.61

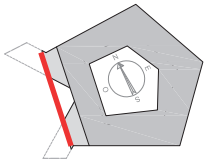


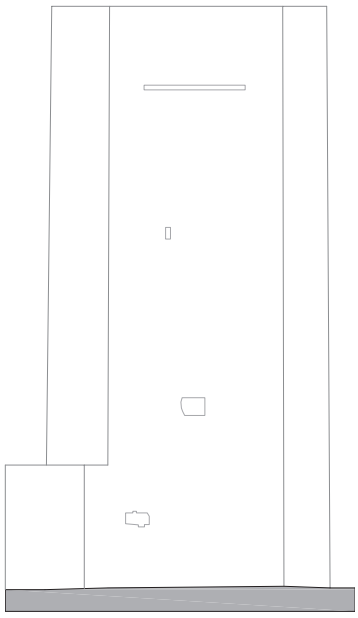
Prospetto esterno nord



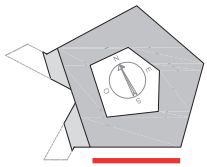


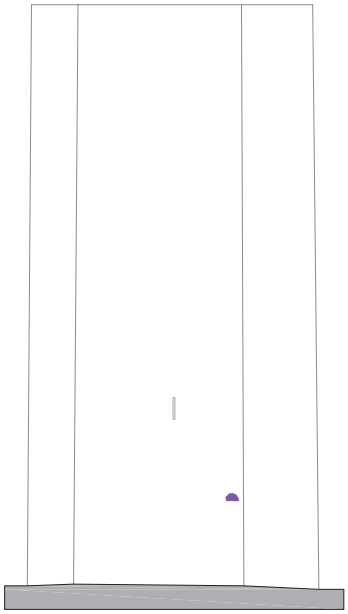
Prospetto esterno ovest



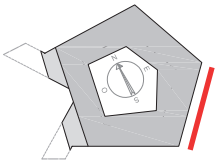


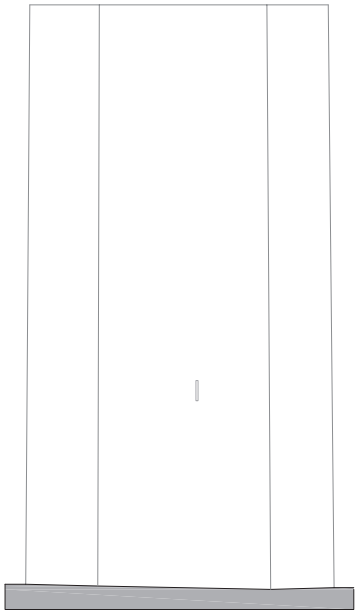
Prospetto esterno sud-ovest



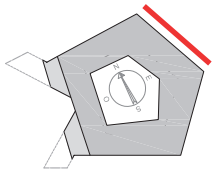


Prospetto esterno sud-est





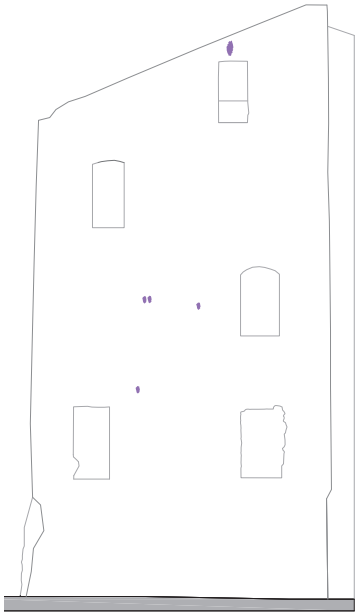
Prospetto esterno nord-est



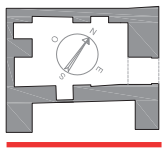
Localizzazione del fenomeno: **TORRE PANTERA** - esterno ed interno

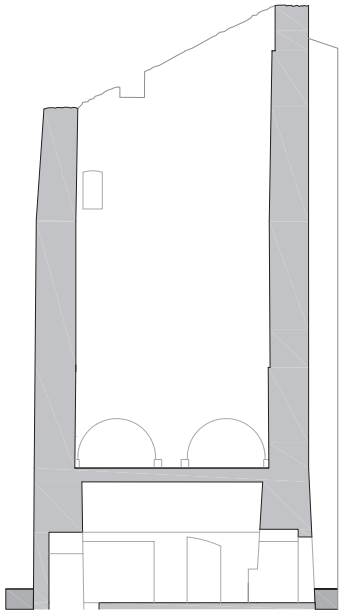
MACCHIE DI RUGGINE

Vedi Tav. R.63-R.68

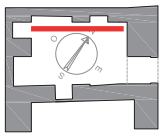


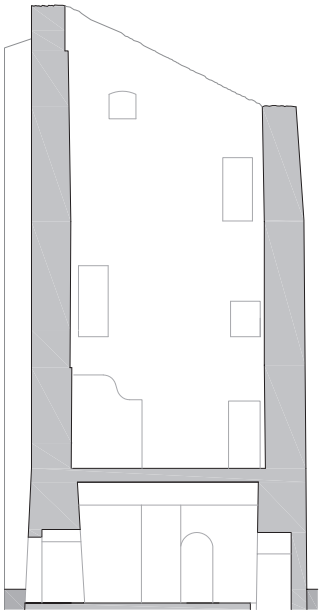
Prospetto esterno sud



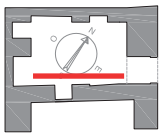


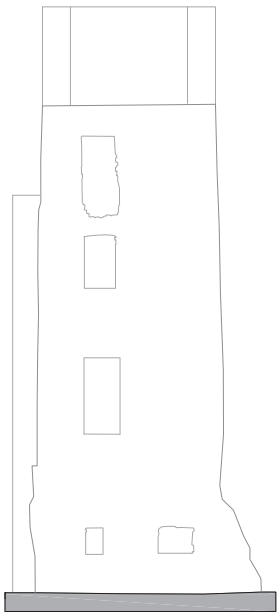
Prospetto interno nord



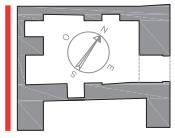


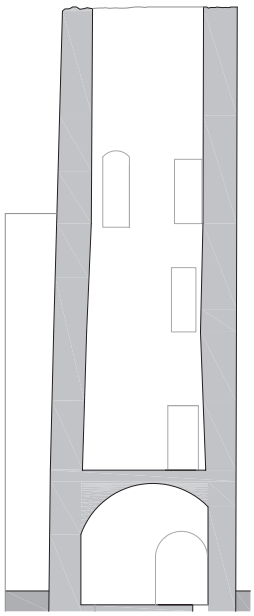
Prospetto interno sud



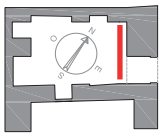


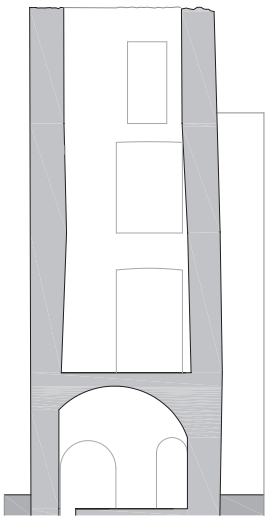
Prospetto esterno ovest



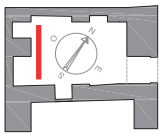


Prospetto interno est





Prospetto interno ovest



SCHEDA PATOLOGIA DI DEGRADO | **Mancanza** | **VIII**

Definizione UNI 11182 ..... Perdita di elementi tridimensionali (braccio di una statua, ansa di un'anfora, brano di una decorazione a rilievo, ecc...)

Descrizione del fenomeno ..... Frattura e conseguente caduta di una parte dell'elemento lapideo.

Stato di progressione ..... Il fenomeno è in progressione.

Localizzazione del fenomeno ..... Il fenomeno è presente in maniera più o meno diffusa su tutte le facciate esterne e su alcune interne delle quattro torri, in particolare nelle parti più alte e vicino alle fessurazioni.

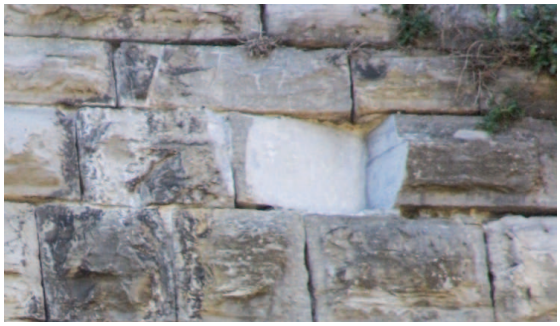
Ipotesi di cause ..... Fratture conseguenti alla presenza di fessurazioni e/o di lesioni strutturali, dovute alle deformazioni termiche e all'umidità. Caduta per effetto delle raffiche di vento.

Possibili procedure d'intervento ..... Cauta rimozione di eventuali porzioni instabili e decoesi non più riparabili; pulitura a secco con pennelli e/o spazzole a setole morbide, spugne e aspiratori a bassa pressione al fine di rimuovere depositi polverulenti; eventuale consolidamento per impregnazione dell'elemento lapideo.

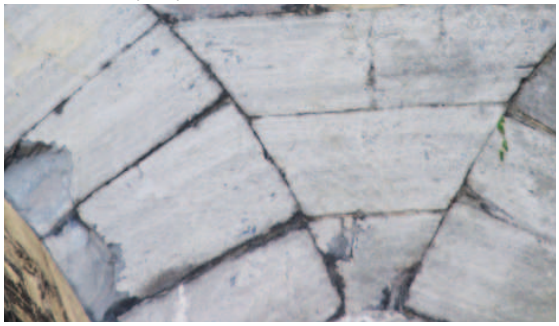
Fotografie rappresentative della patologia di degrado:

1. Torre Gattoni, prospetto esterno est

2. Torre San Vitale, prospetto esterno ovest



3. Porta torre, prospetto interno sud

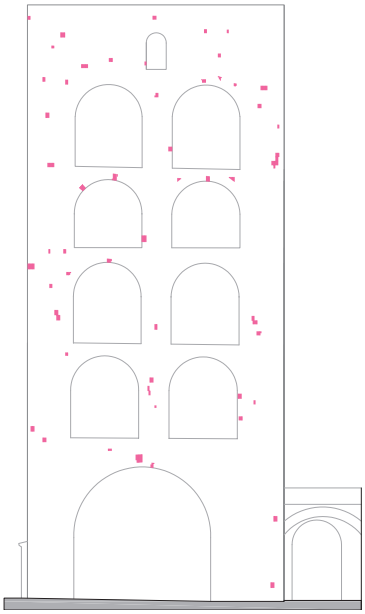


2. Torre Gattoni, prospetto esterno ovest

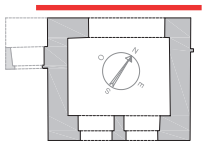
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE**- esterno

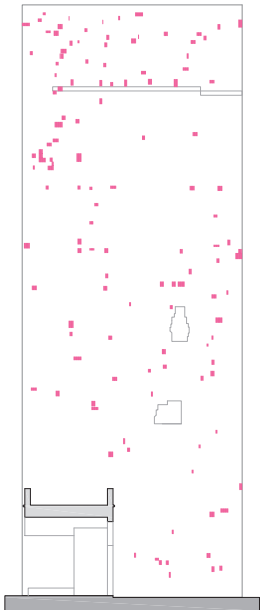
MANCANZA

Vedi Tav. R.35-R.38

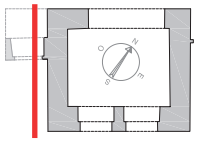


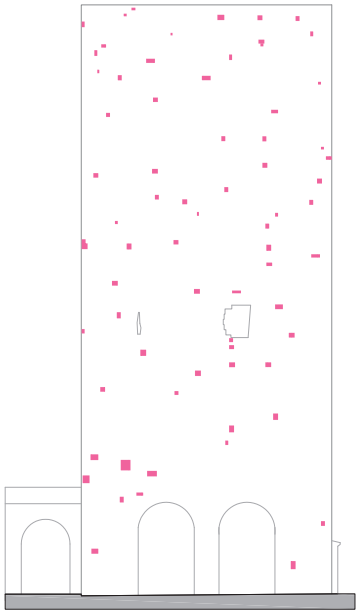
Prospetto esterno nord



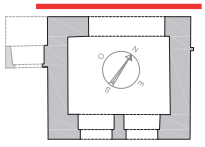


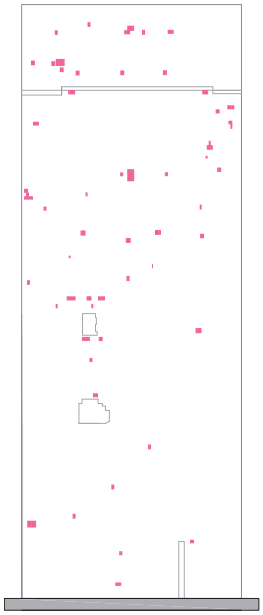
Prospetto esterno ovest



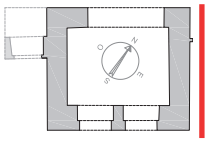


Prospetto esterno sud





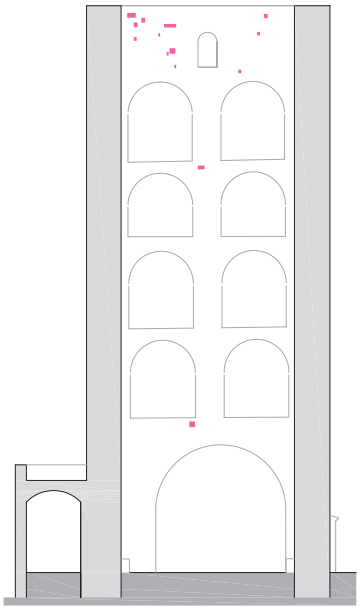
Prospetto esterno est



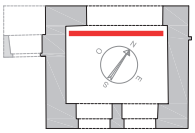
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE**- interno

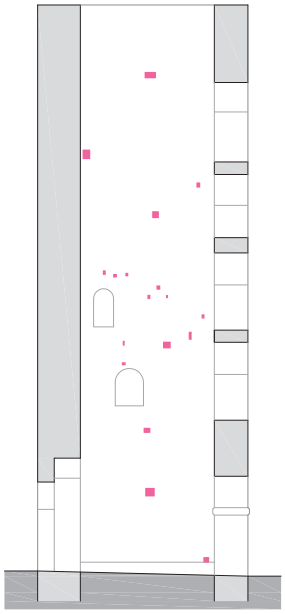
MANCANZA

Vedi Tav. R.39-R.42

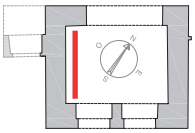


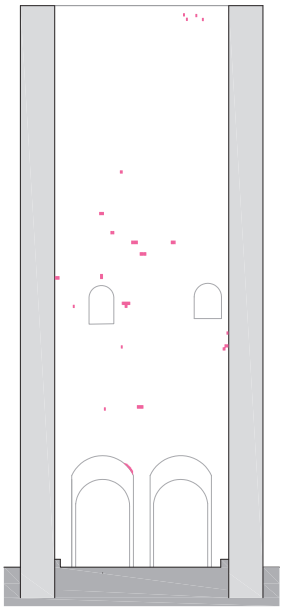
Prospetto interno nord



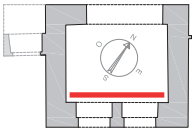


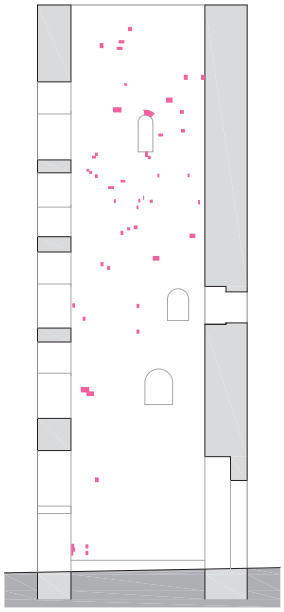
Prospetto interno ovest



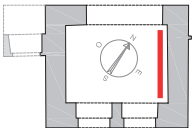


Prospetto interno sud





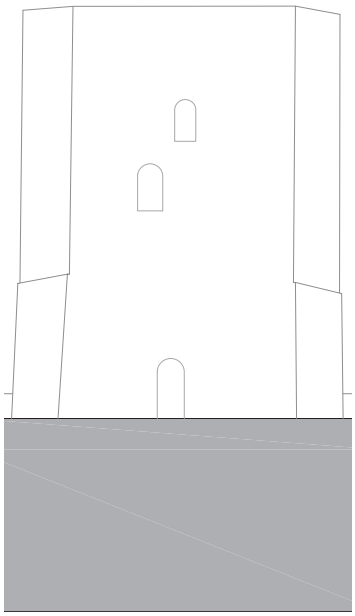
Prospetto interno est



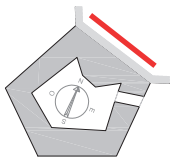
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - esterno

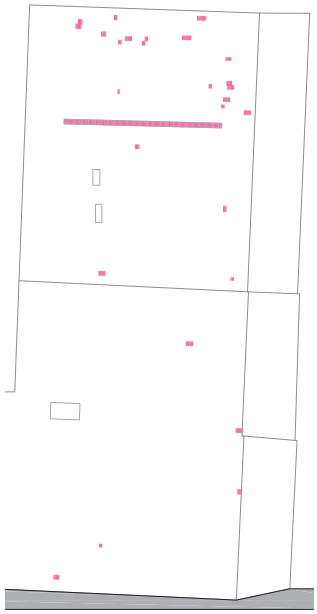
MANCANZA

Vedi Tav. R.45-R.49

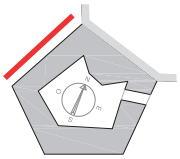


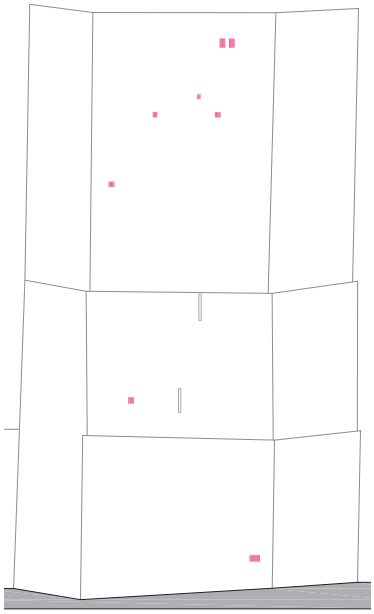
Prospetto esterno nord



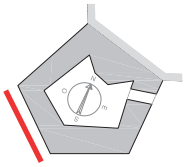


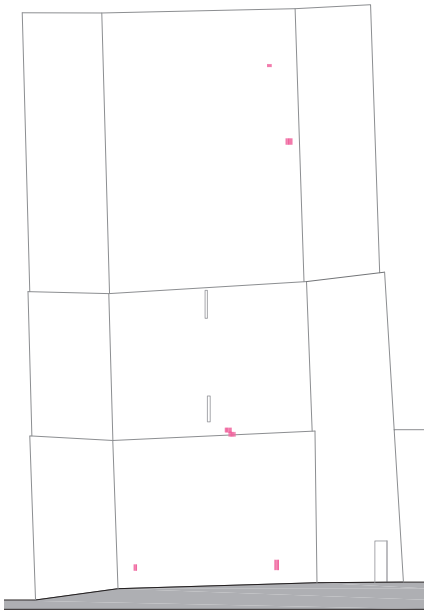
Prospetto esterno ovest



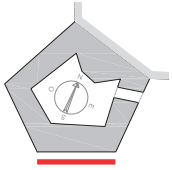


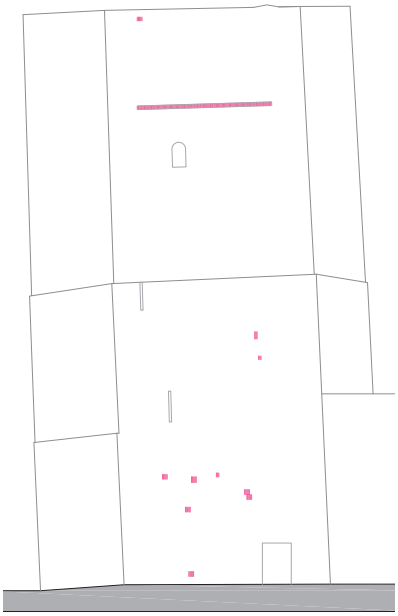
Prospetto esterno sud-ovest



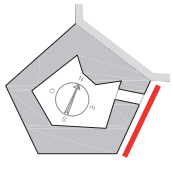


Prospetto esterno sud-est





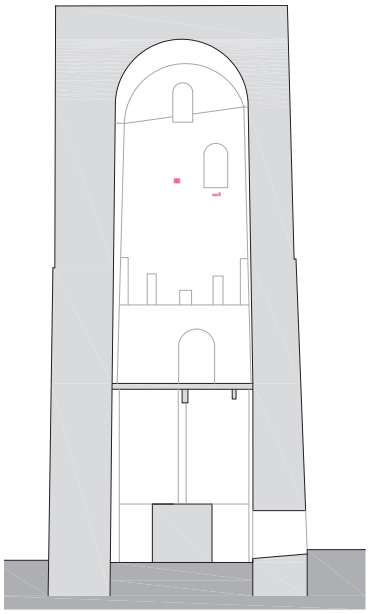
Prospetto esterno est



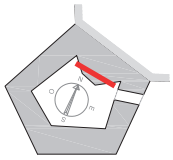
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - interno

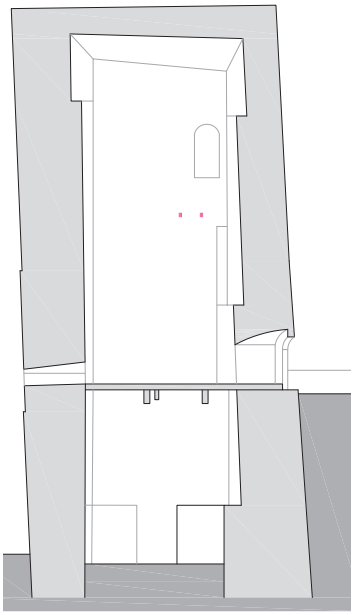
MANCANZA

Vedi Tav. R.50-R.54

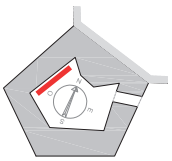


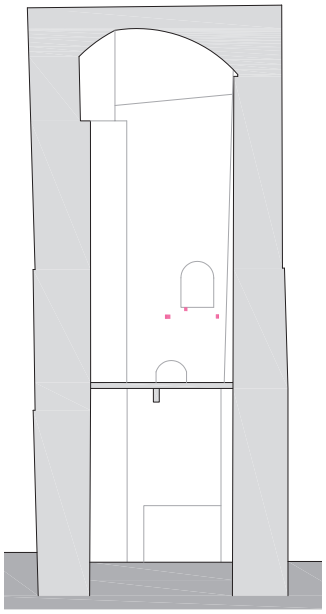
Prospetto interno nord



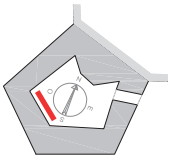


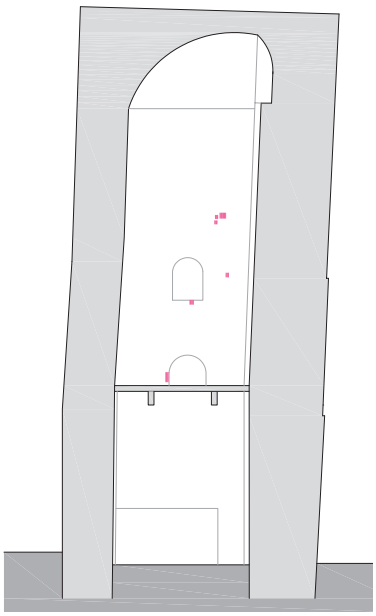
Prospetto interno ovest



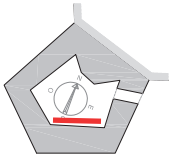


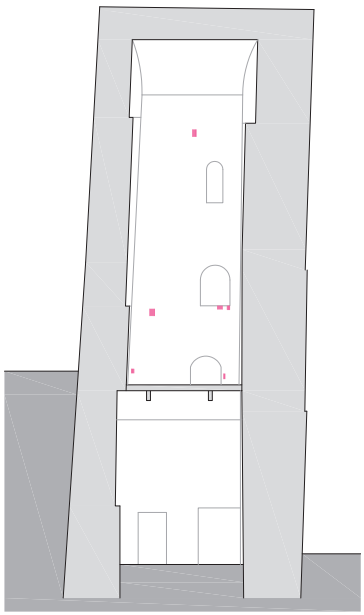
Prospetto interno sud-ovest



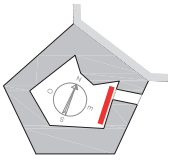


Prospetto interno sud-est





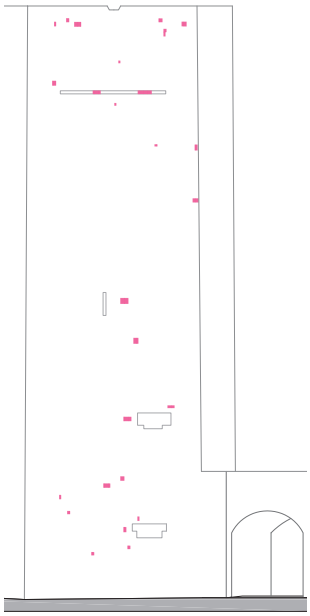
Prospetto interno est



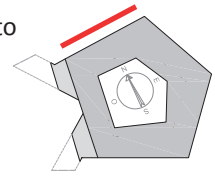
Localizzazione del fenomeno: **TORRE S. VITALE** - esterno

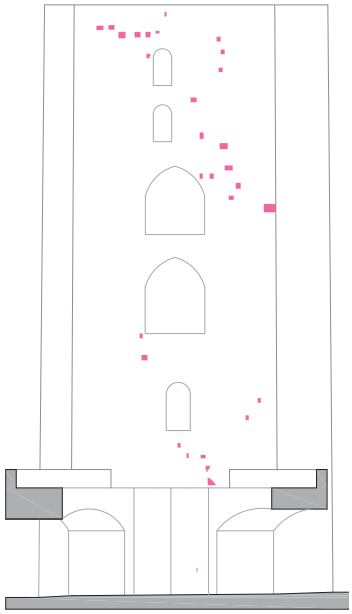
MANCANZA

Vedi Tav. R.57-R.61

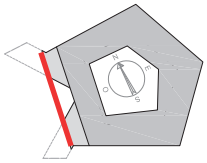


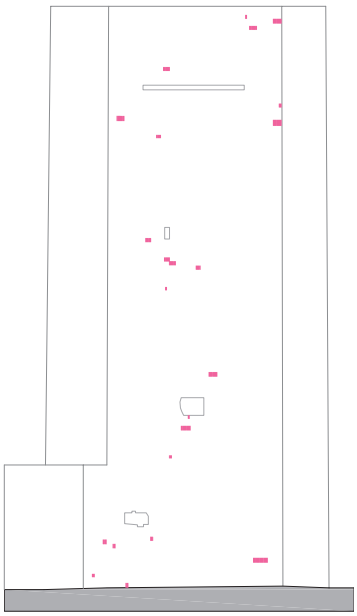
Prospetto esterno nord



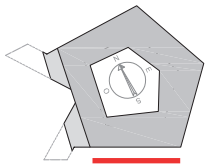


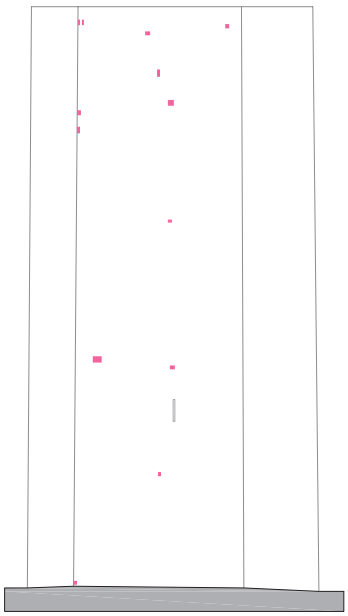
Prospetto esterno ovest



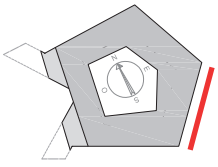


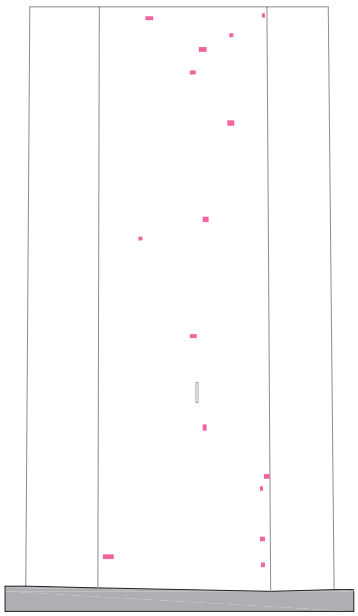
Prospetto esterno sud-ovest



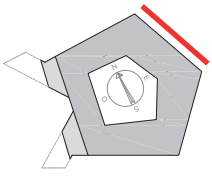


Prospetto esterno sud-est





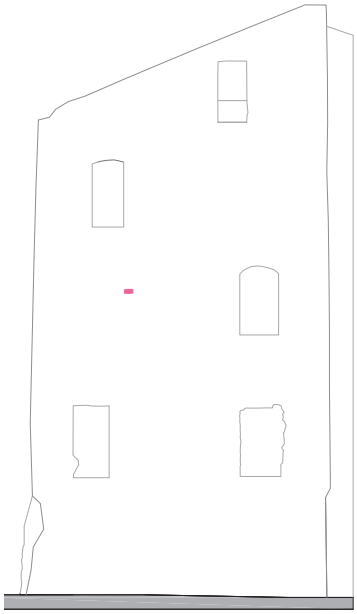
Prospetto esterno nord-est



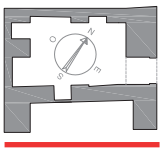
Localizzazione del fenomeno: **TORRE PANTERA** - esterno ed interno

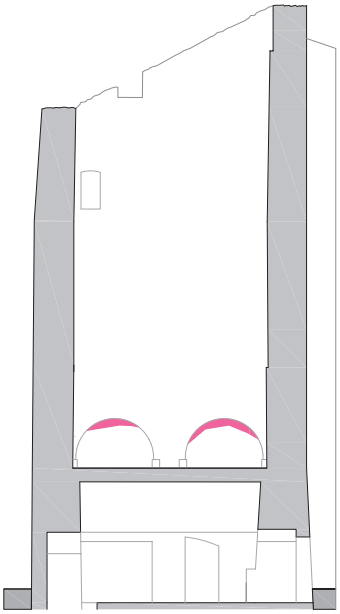
MANCANZA

Vedi Tav. R.63-R.68

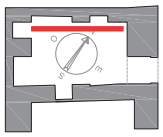


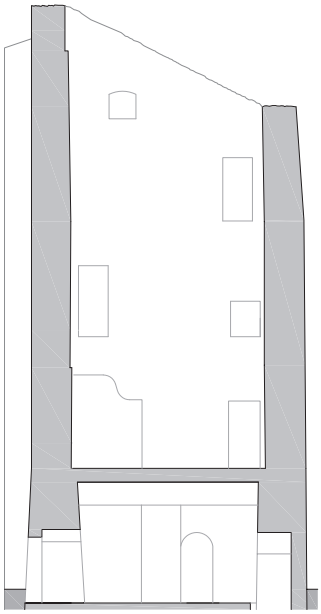
Prospetto esterno sud



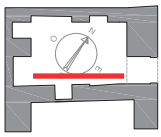


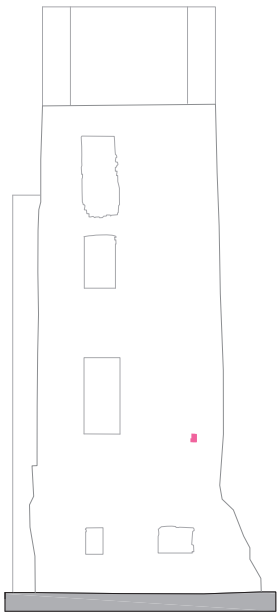
Prospetto interno nord



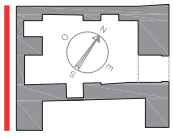


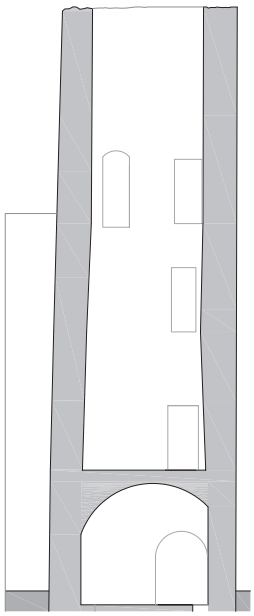
Prospetto interno sud



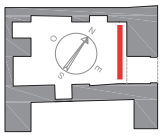


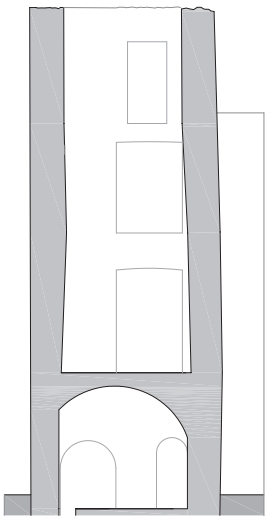
Prospetto esterno ovest



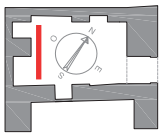


Prospetto interno est





Prospetto interno ovest



SCHEDA PATOLOGIA DI DEGRADO

Patina biologica

IX

Definizione UNI 11182 ..... Strato sottile ed omogeneo costituito prevalentemente da microrganismi, variabile per consistenza, colore e adesione al substrato.

Descrizione del fenomeno ..... Azioni di tipo chimico, fisico e meccanico, prodotte o mediate da organismi viventi, che portano ad alterazioni del substrato su cui si verificano e in particolare alla creazione di estese pellicole, di colore e spessore variabili, sulla superficie degli elementi lapidei.

Stato di progressione ..... Il fenomeno è in progressione.

Localizzazione del fenomeno ..... Il fenomeno è presente in maniera sporadica su alcuni prospetti esterni di Porta torre (nord e ovest), torre Gattoni (ovest), e San Vitale (nord e ovest), nonchè su alcune facciate interne di torre Gattoni (b e c) e su quasi tutti i prospetti di torre Pantera. Si individua nelle parti di muratura più umide.

Ipotesi di cause ..... Pareti umide e con infiltrazioni d'acqua sono particolarmente soggette agli attacchi biologici. La mancanza di manutenzione permette a licheni, alghe e piante superiori di proliferare.

Possibili procedure d'intervento ..... Pulitura per mezzo di spazzole rigide, bisturi, spatole e microsabbiature. Nel caso di incrostazioni molto spesse: trattamento preliminare con soluzioni basiche che, rigonfiando e ammorbidendo il tallo ne facilitano l'asportazione. Successivo trattamento idrorepellente e biocida.

Fotografie rappresentative della patologia di degrado:

1. Torre Pantera, prospetto interno nord

2. Torre Pantera, prospetto esterno sud

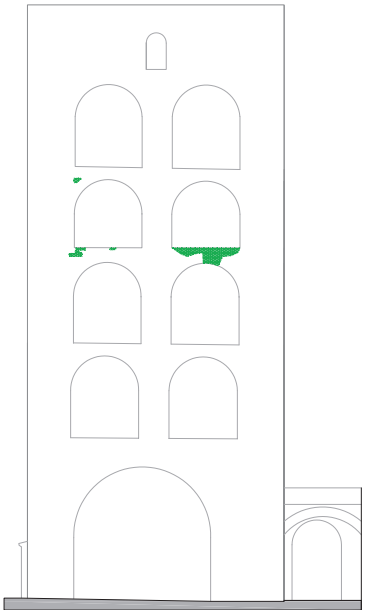
3. Torre Pantera, prospetto interno est

2. Torre San Vitale, prospetto esterno nord

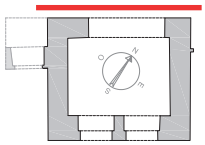
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE** - esterno

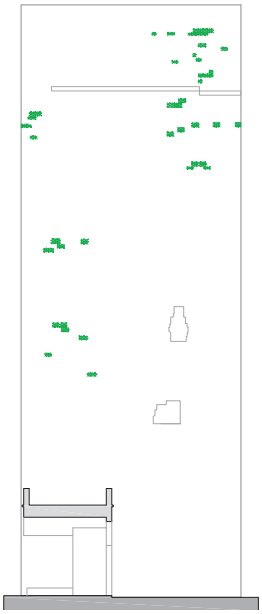
PATINA BIOLOGICA

Vedi Tav. R.35-R.38

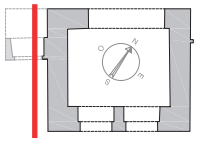


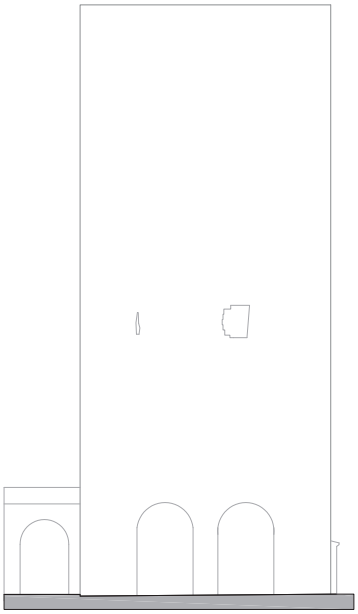
Prospetto esterno nord



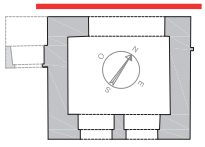


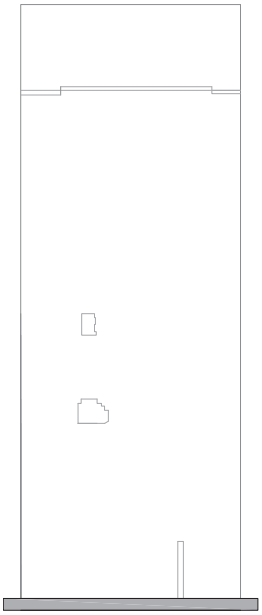
Prospetto esterno ovest



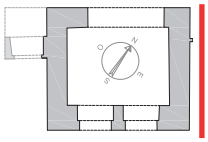


Prospetto esterno sud





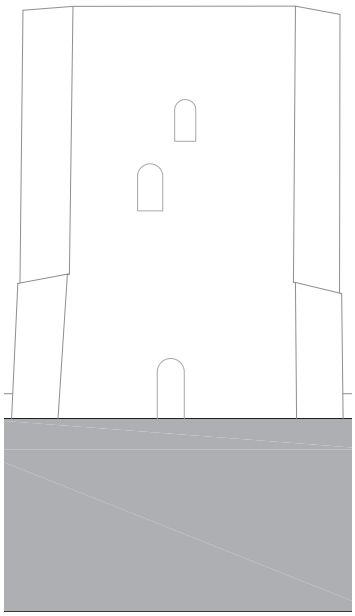
Prospetto esterno est



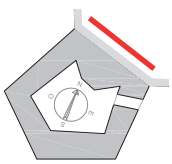
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - esterno

PATINA BIOLOGICA

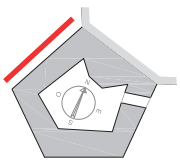
Vedi Tav. R.45-R.49

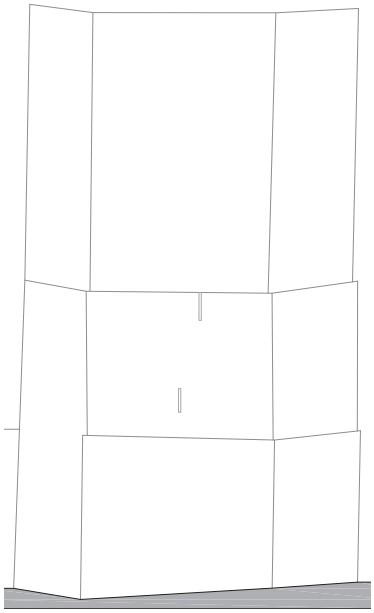


Prospetto esterno nord

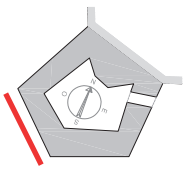


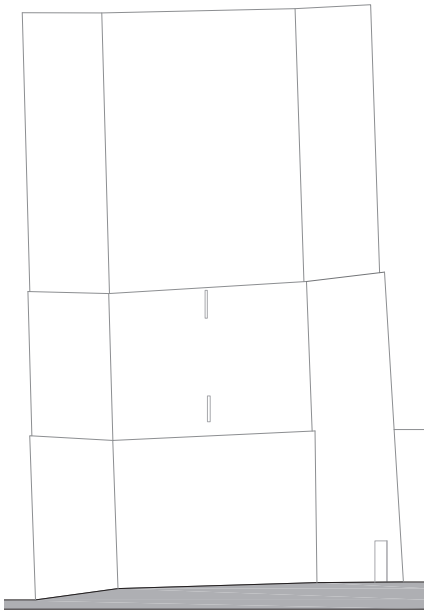
Prospetto esterno ovest



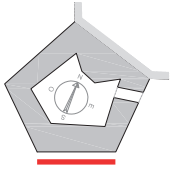


Prospetto esterno sud-ovest

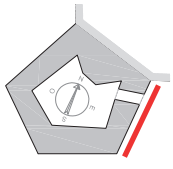




Prospetto esterno sud-est



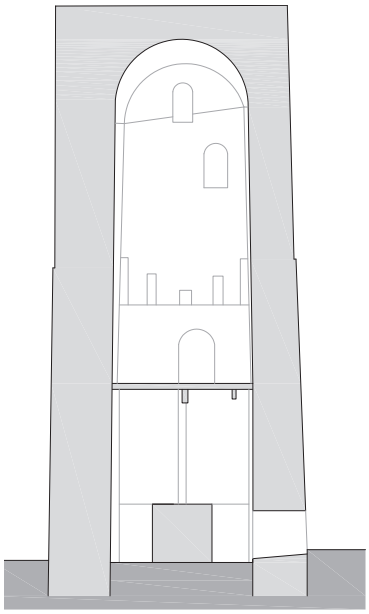
Prospetto esterno est



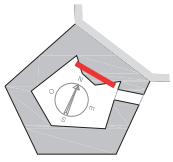
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - interno

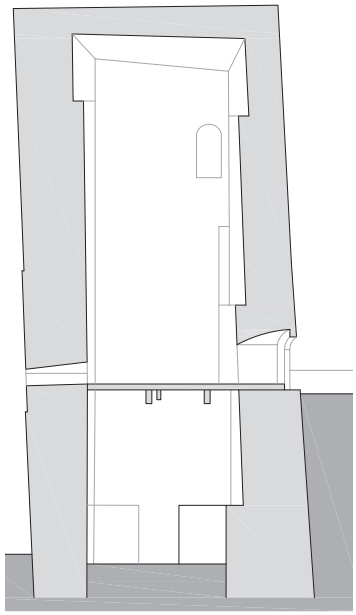
PATINA BIOLOGICA

Vedi Tav. R.50-R.54

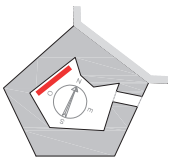


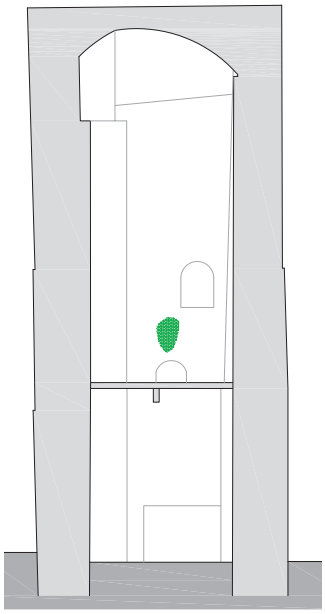
Prospetto interno nord



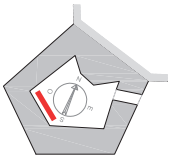


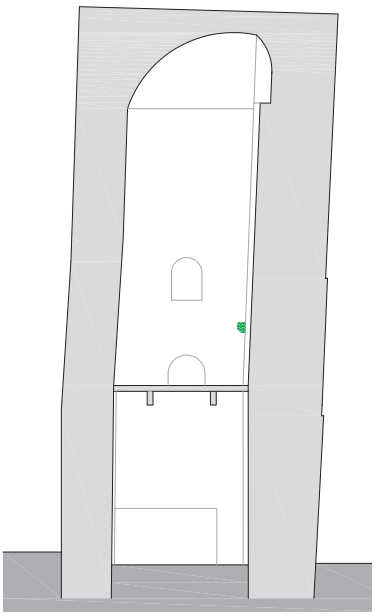
Prospetto interno ovest



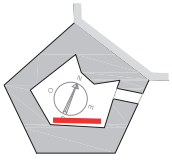


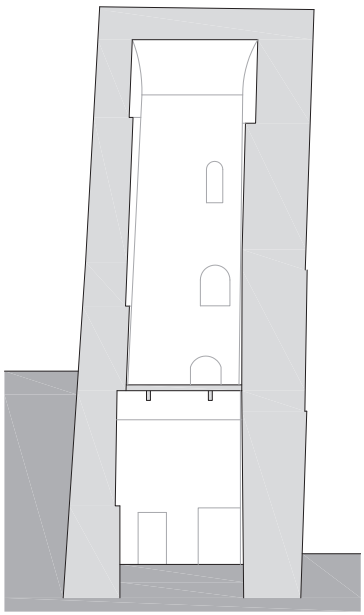
Prospetto interno sud-ovest



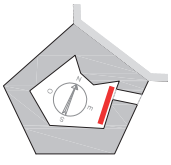


Prospetto interno sud-est





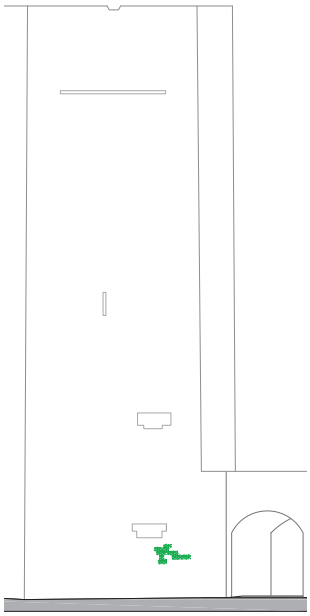
Prospetto interno est



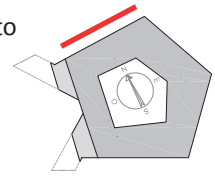
Localizzazione del fenomeno: **TORRE S. VITALE** - esterno

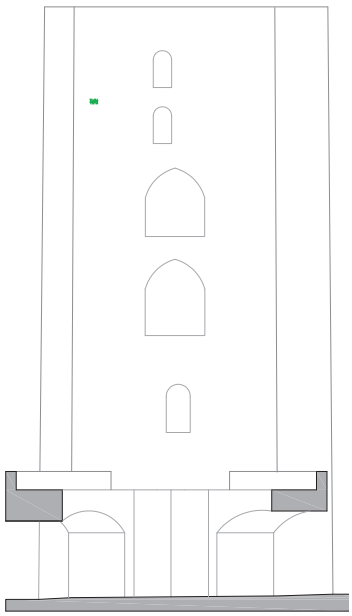
PATINA BIOLOGICA

Vedi Tav. R.57-R.61

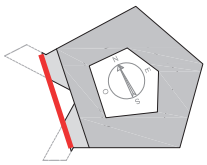


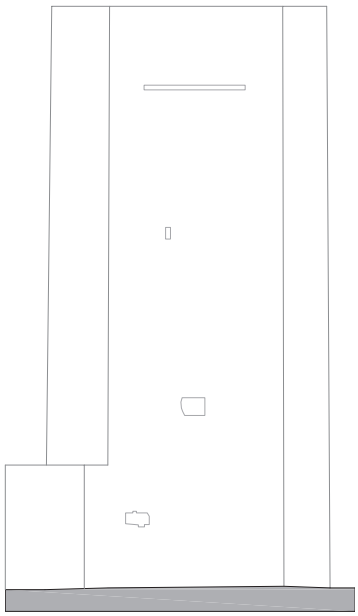
Prospetto esterno nord



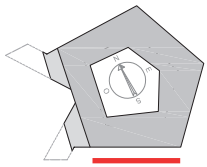


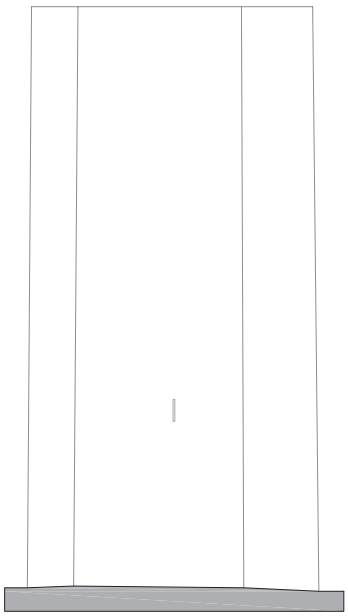
Prospetto esterno ovest



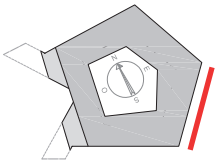


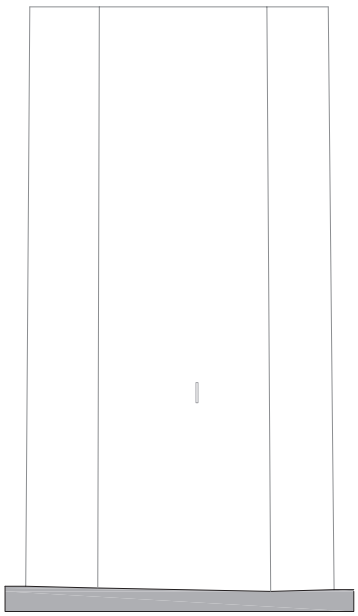
Prospetto esterno sud-ovest



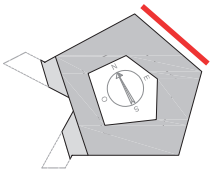


Prospetto esterno sud-est





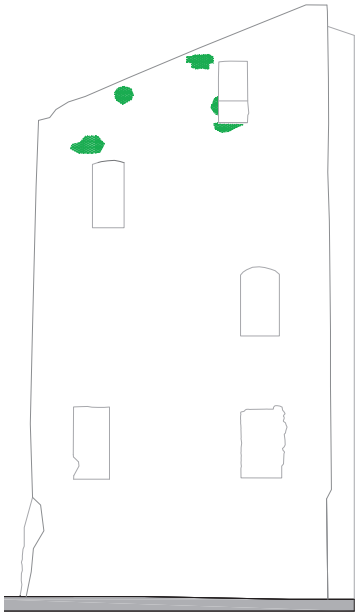
Prospetto esterno nord-est



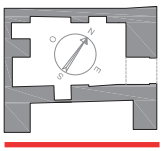
Localizzazione del fenomeno: **TORRE PANTERA** - esterno ed interno

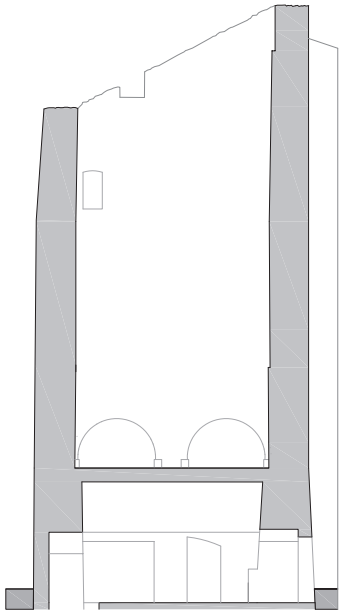
PATINA BIOLOGICA

Vedi Tav. R.63-R.68

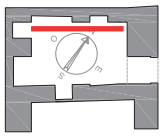


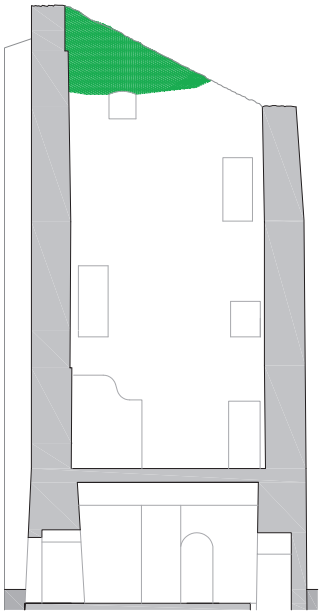
Prospetto esterno sud



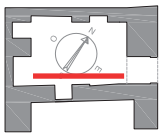


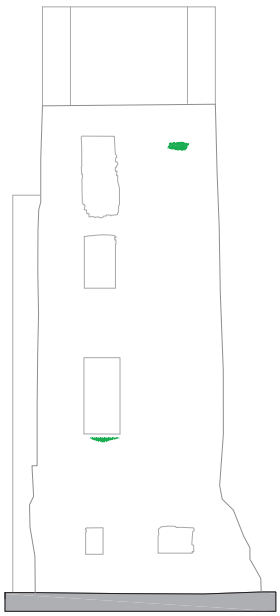
Prospetto interno nord



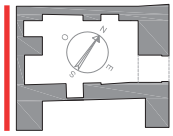


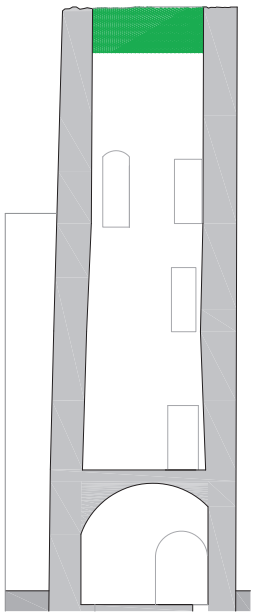
Prospetto interno sud



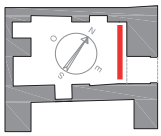


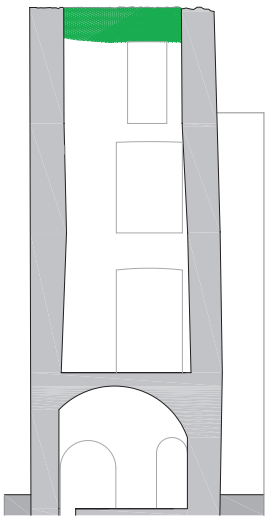
Prospetto esterno ovest



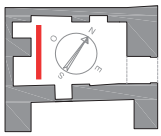


Prospetto interno est





Prospetto interno ovest



SCHEDA PATOLOGIA DI DEGRADO

Scagliatura

X

Definizione UNI 11182 ..... Presenza di parti di forma irregolare, spessore consistente e non uniforme, dette scaglie, generalmente in corrispondenza di soluzioni di continuità del materiale originario.

Descrizione del fenomeno ..... Distacco di strati superficiali più o meno spessi di materiale (scaglie) dall'elemento lapideo, e successiva caduta degli stessi.

Stato di progressione ..... Il fenomeno è in progressione.

Localizzazione del fenomeno ..... Il fenomeno è presente in maniera sporadica e isolata su quasi tutti i prospetti esterni delle quattro torri e su due prospetti interni di Porta torre (sud e est).

Ipotesi di cause ..... Il fenomeno può essere causato da reazioni con inquinanti atmosferici, legato a fenomeni di condensazioni e di gelo, o provocato dagli effetti dei sali solubili.

Possibili procedure d'intervento ..... Impregnazione mediante spray finissimo e poi pennello con un prodotto, organico o inorganico, che, penetrando in profondità, migliori la coesione del materiale alterato e l'adesione fra questo ed il substrato sano. Quindi l'intera superficie dovrà essere ricoperta con fogli di carta giapponese e asciugata con aria calda. Trattamento da ripetere più volte.

Fotografie rappresentative della patologia di degrado:

1. Torre Gattoni, prospetto esterno sud-ovest

2. Torre Pantera, prospetto esterno sud

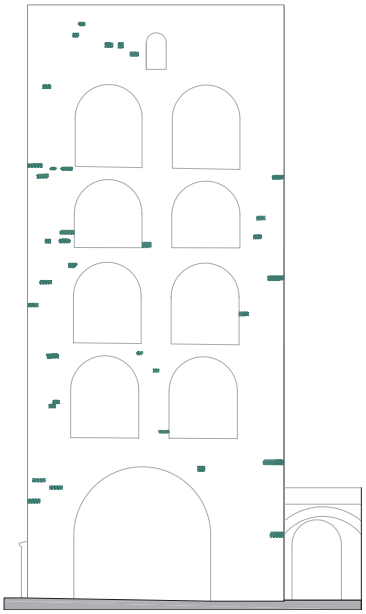
3. Porta Torre, prospetto interno sud

2. Torre San Vitale, prospetto esterno sud-est

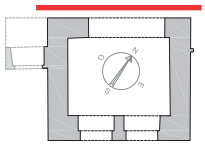
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE** - esterno

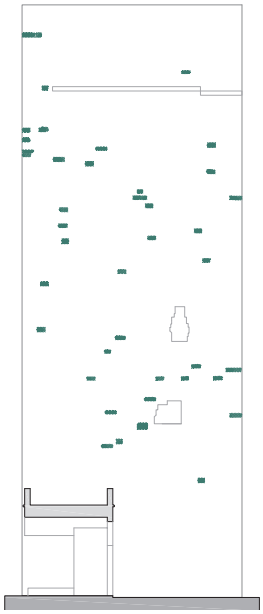
SCAGLIATURA

Vedi Tav. R.35-R.38

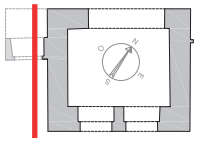


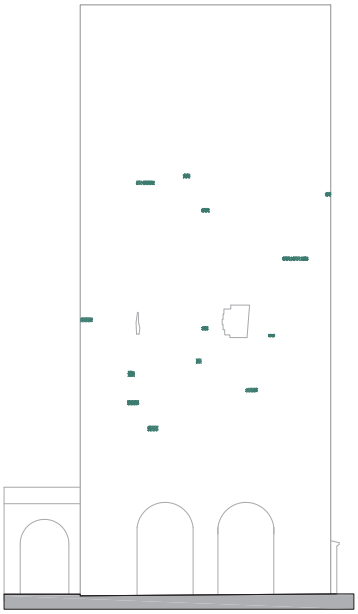
Prospetto esterno nord



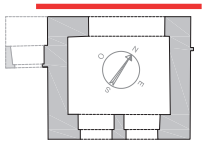


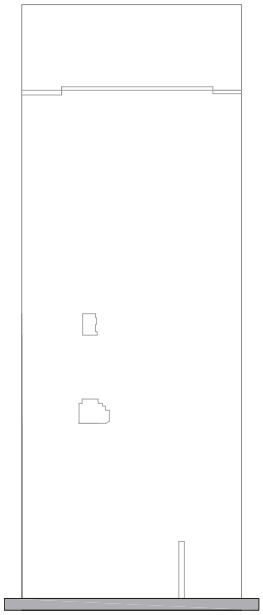
Prospetto esterno ovest



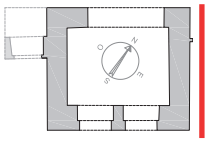


Prospetto esterno sud





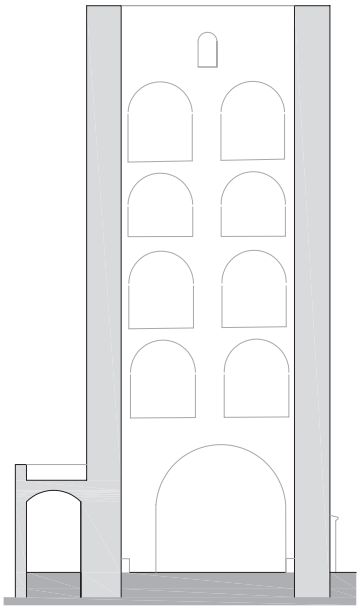
Prospetto esterno est



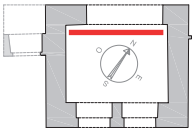
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE**- interno

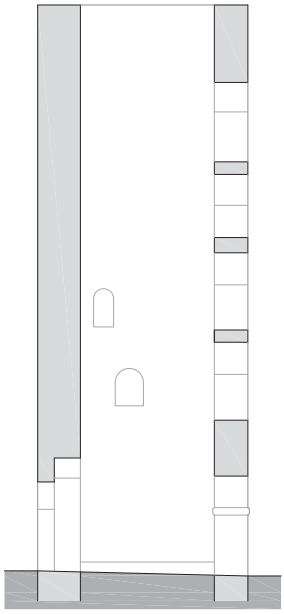
SCAGLIATURA

Vedi Tav. R.39-R.42

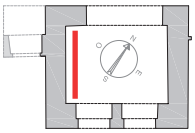


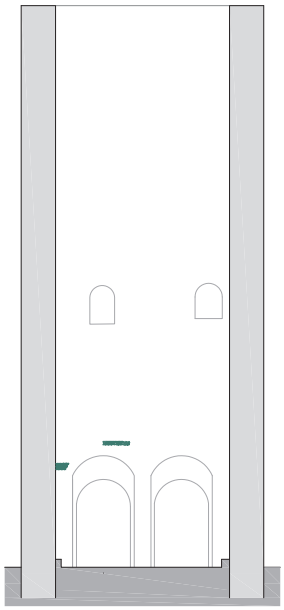
Prospetto interno nord



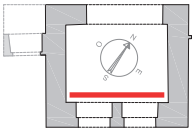


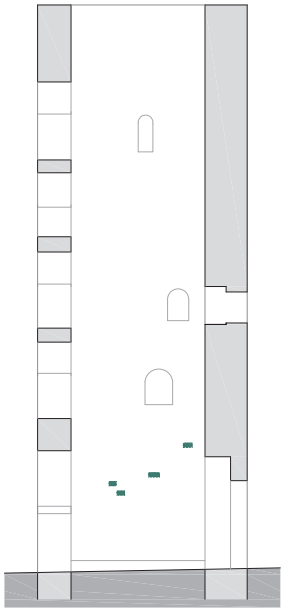
Prospetto interno ovest



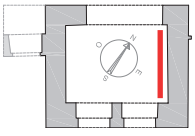


Prospetto interno sud





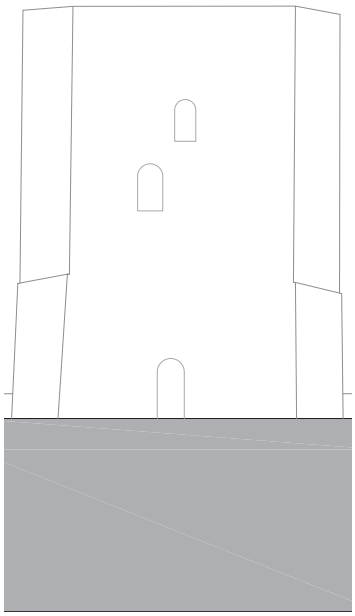
Prospetto interno est



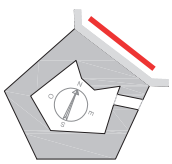
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - esterno

SCAGLIATURA

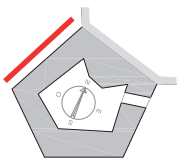
Vedi Tav. R.45-R.49

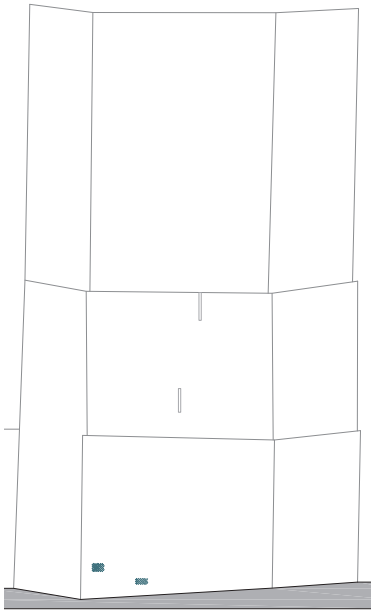


Prospetto esterno nord

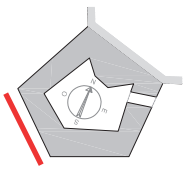


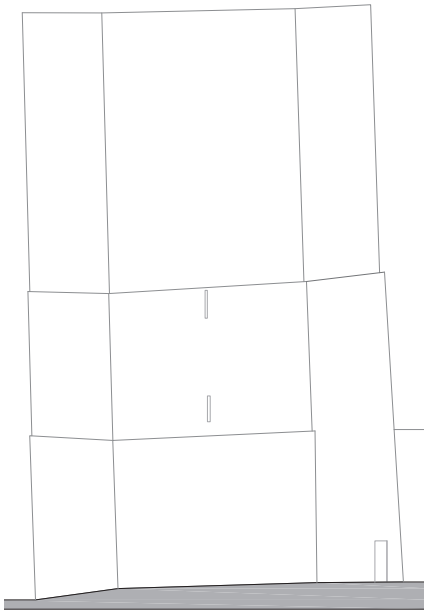
Prospetto esterno ovest



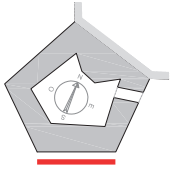


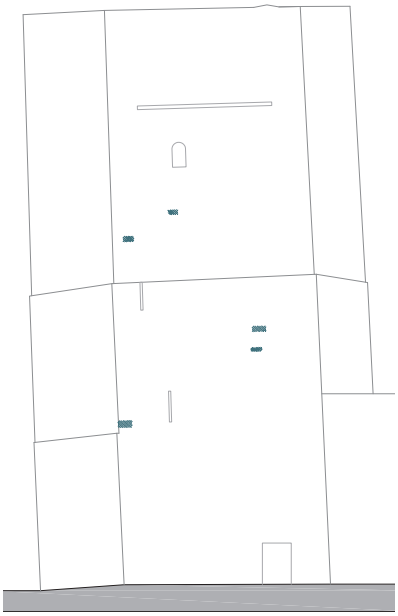
Prospetto esterno sud-ovest



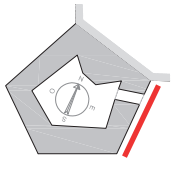


Prospetto esterno sud-est





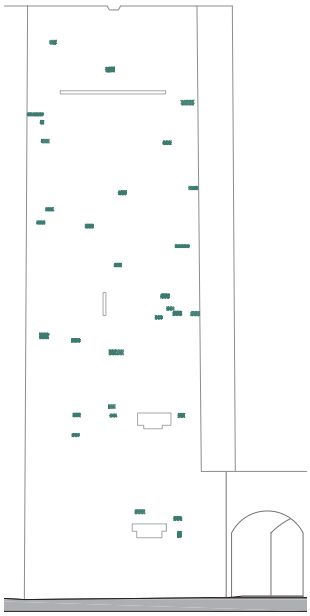
Prospetto esterno est



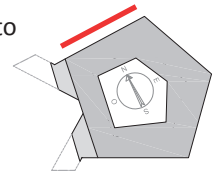
Localizzazione del fenomeno: **TORRE S. VITALE** - esterno

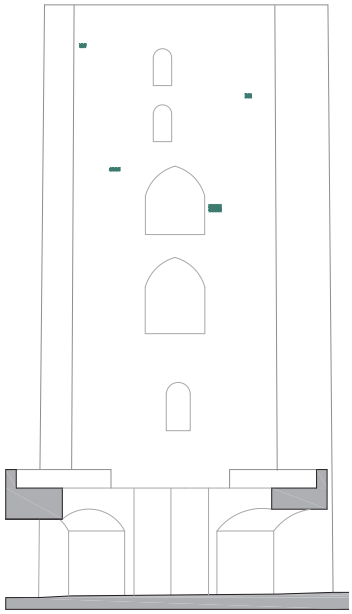
SCAGLIATURA

Vedi Tav. R.57-R.61

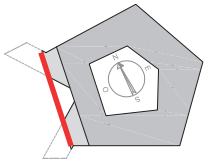


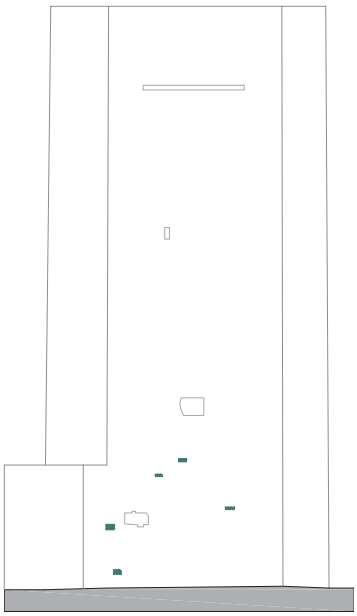
Prospetto esterno nord



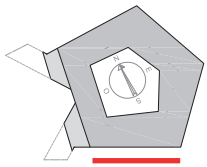


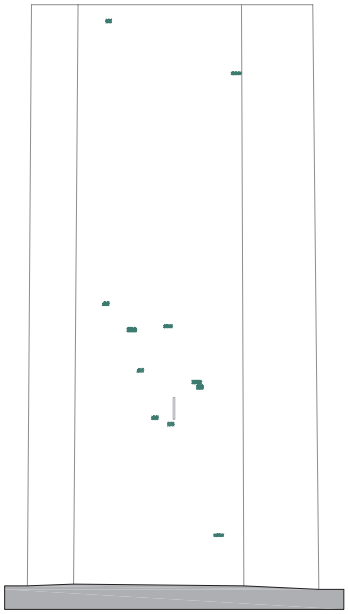
Prospetto esterno ovest



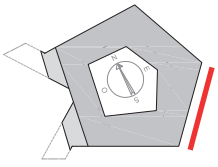


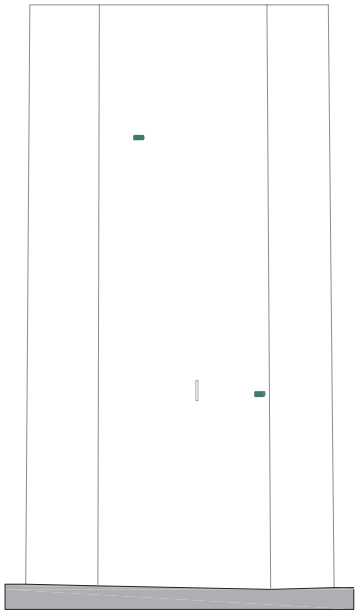
Prospetto esterno sud-ovest



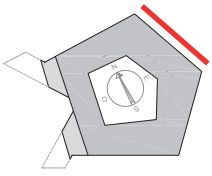


Prospetto esterno sud-est





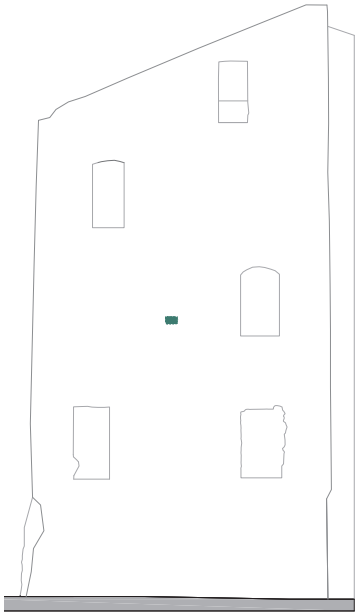
Prospetto esterno nord-est



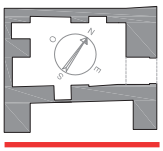
Localizzazione del fenomeno: **TORRE PANTERA** - esterno ed interno

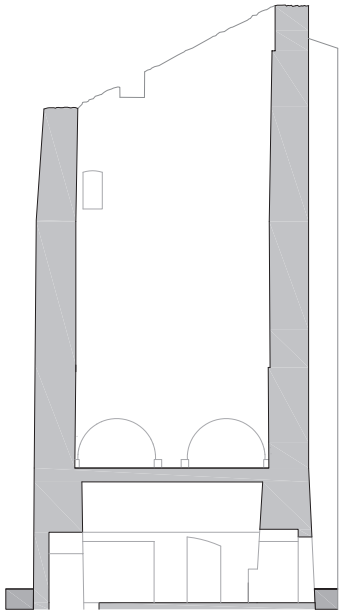
SCAGLIATURA

Vedi Tav. R.63-R.68

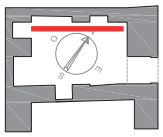


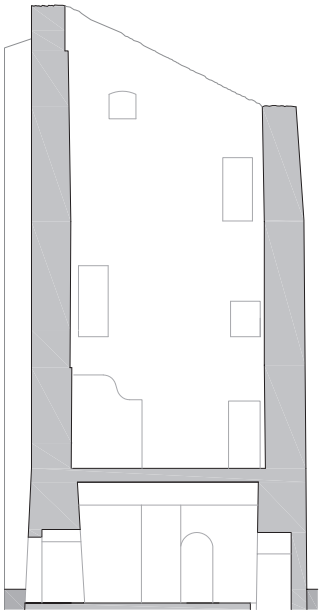
Prospetto esterno sud



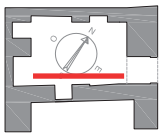


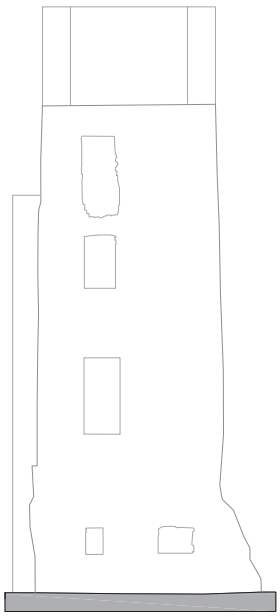
Prospetto interno nord



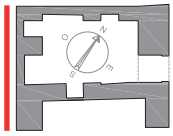


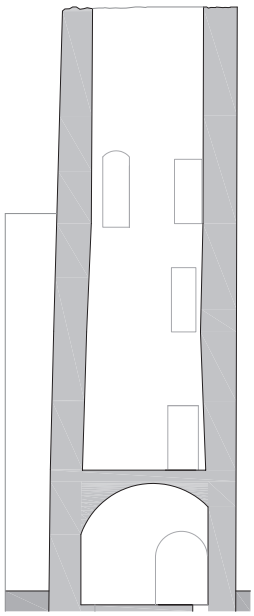
Prospetto interno sud



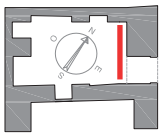


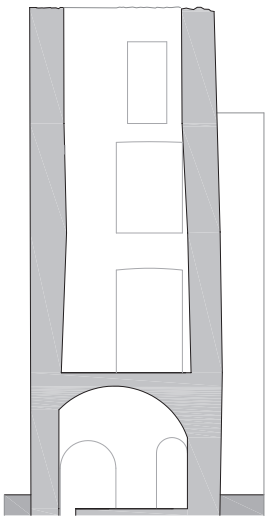
Prospetto esterno ovest



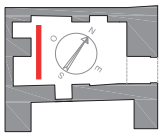


Prospetto interno est





Prospetto interno ovest



SCHEDA PATOLOGIA DI DEGRADO

Vegetazione

XI

Definizione UNI 11182 ..... Presenza di individui erbacei, arbustivi o arborei.

Descrizione del fenomeno ..... Presenza di muschi e piante superiori di dimensioni variabili.

Stato di progressione ..... Il fenomeno è in progressione.

Localizzazione del fenomeno ..... Il fenomeno è presente in maniera diffusa su tutti i prospetti esterni di Porta torre, torre Gattoni e torre San Vitale, ed è particolarmente esteso sui prospetti interni di Porta torre. Non è presente su torre Pantera.

Ipotesi di cause ..... Pareti umide e con infiltrazioni d'acqua sono particolarmente soggette agli attacchi biologici. La mancanza di manutenzione permette a licheni, alghe e piante superiori di proliferare.

Possibili procedure d'intervento ..... Trattamento diserbante con impiego di prodotti chimici applicati per irrorazione fogliare o iniezione nell'apparato radicale. Estirpazione manuale dopo 20-30 giorni e solo dopo totale essicazione delle strutture vegetative. Lavaggio delle superfici al fine di rimuovere i residui dell'agente diserbante e le rimanenti strutture vegetative disseccate.

Fotografie rappresentative della patologia di degrado:

1. Porta Torre, prospetto esterno nord

2. Porta Torre, prospetto interno est

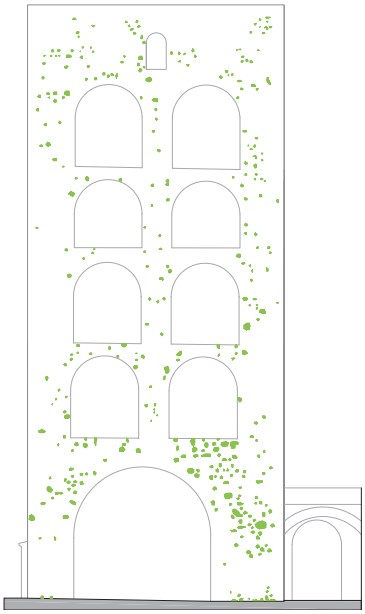
3. Torre San Vitale, prospetto esterno ovest

2. Porta Torre, prospetto interno nord

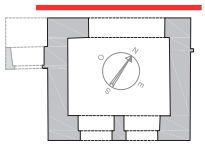
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE** - esterno

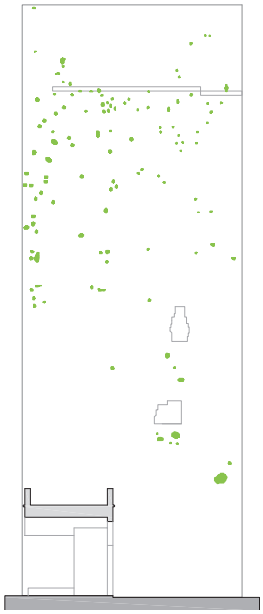
VEGETAZIONE

Vedi Tav. R.35-R.38

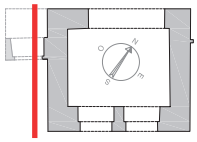


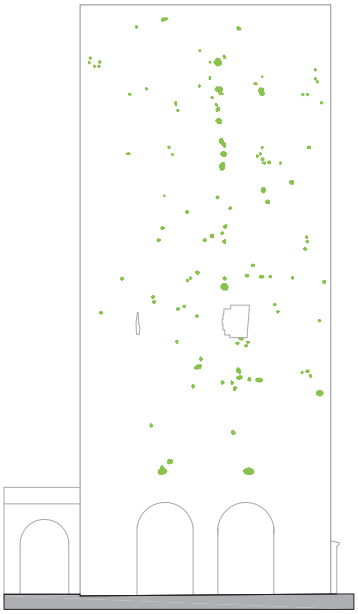
Prospetto esterno nord



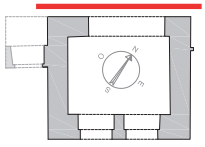


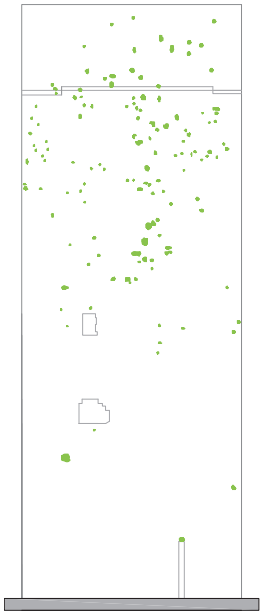
Prospetto esterno ovest



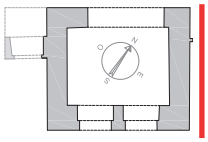


Prospetto esterno sud





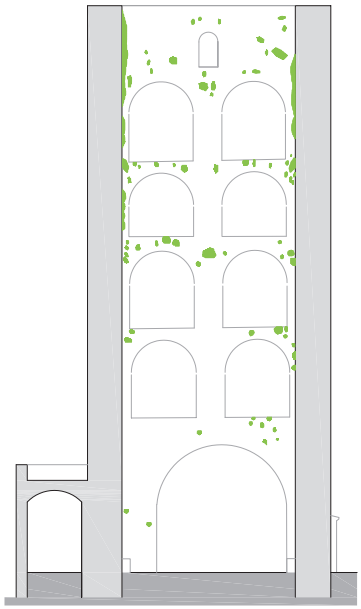
Prospetto esterno est



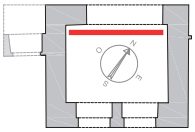
Localizzazione del fenomeno: **PORTA TORRE**- interno

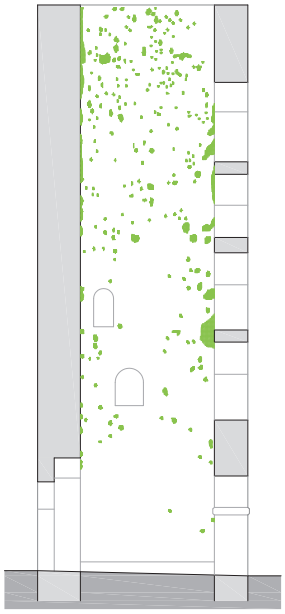
VEGETAZIONE

Vedi Tav. R.39-R.42

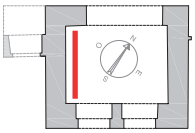


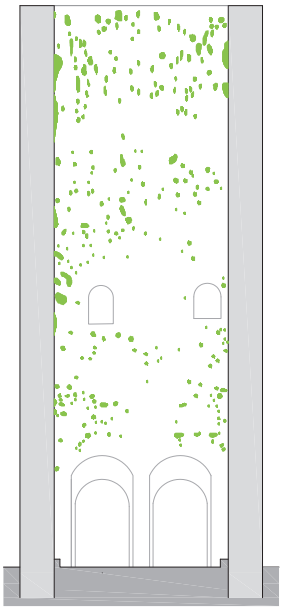
Prospetto interno nord



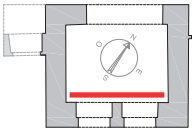


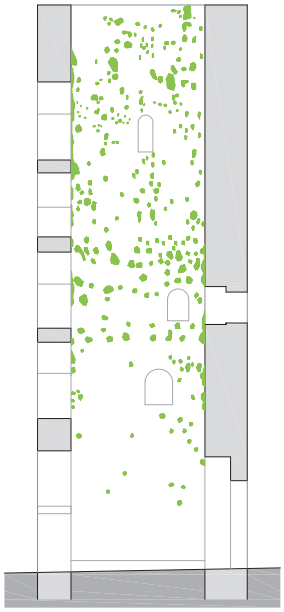
Prospetto interno ovest



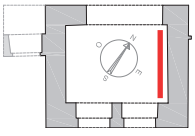


Prospetto interno sud





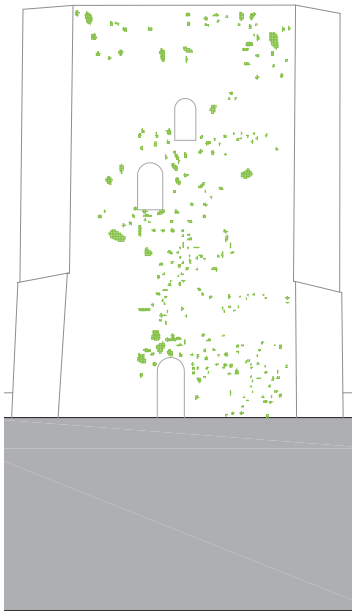
Prospetto interno est



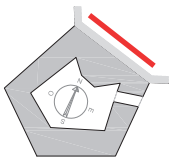
Localizzazione del fenomeno: **TORRE GATTONI** - esterno

VEGETAZIONE

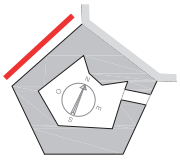
Vedi Tav. R.45-R.49

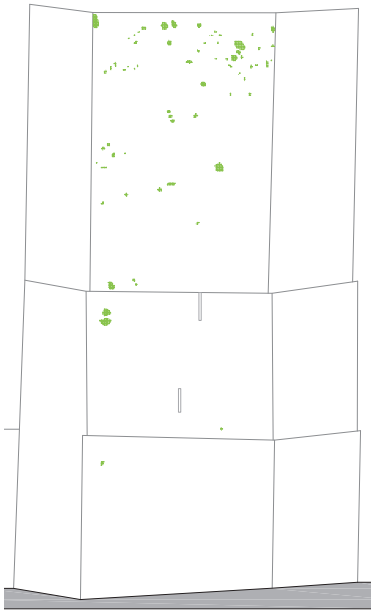


Prospetto esterno nord

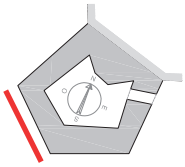


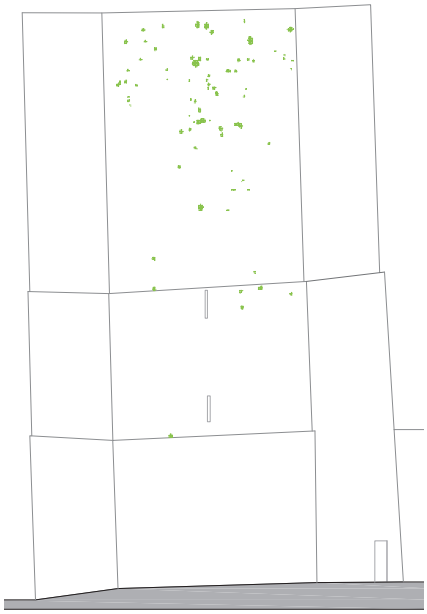
Prospetto esterno ovest



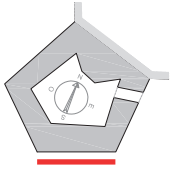


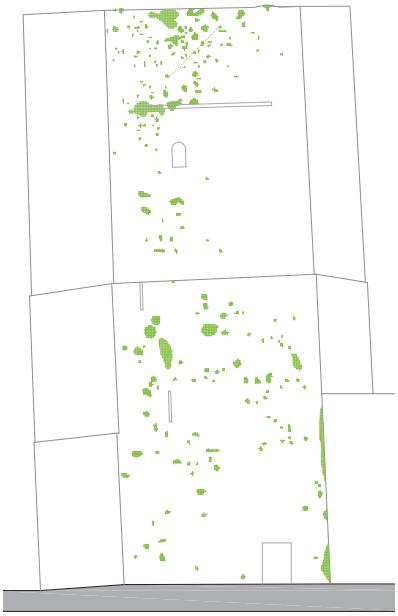
Prospetto esterno sud-ovest



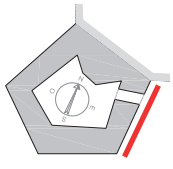


Prospetto esterno sud-est





Prospetto esterno est

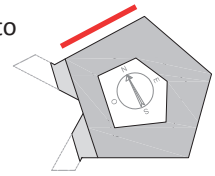


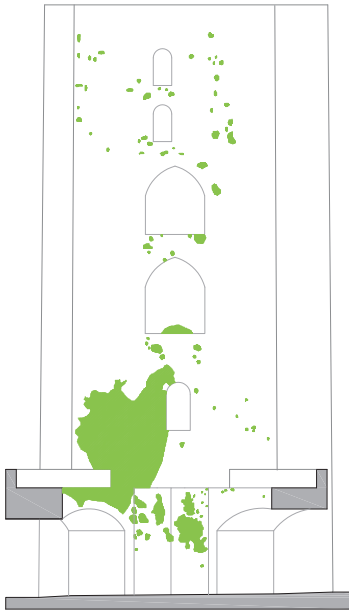
Localizzazione del fenomeno: **TORRE S. VITALE** - esterno

VEGETAZIONE

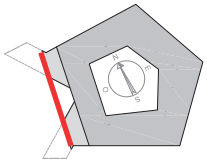
Vedi Tav. R.57-R.61

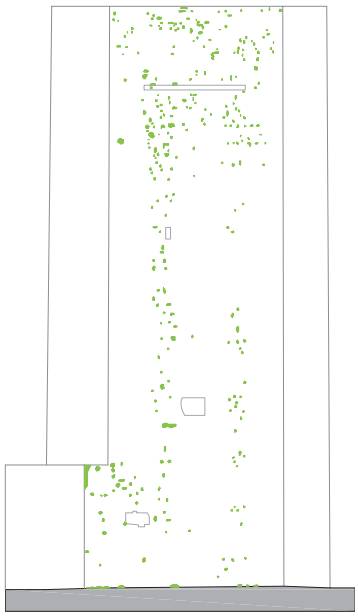
Prospetto esterno nord



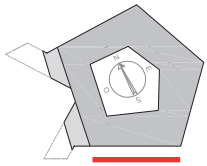


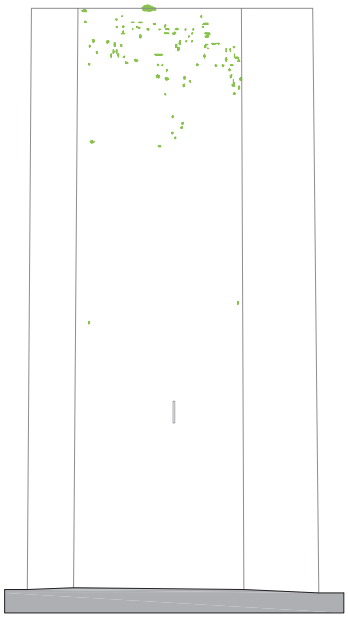
Prospetto esterno ovest



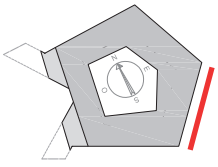


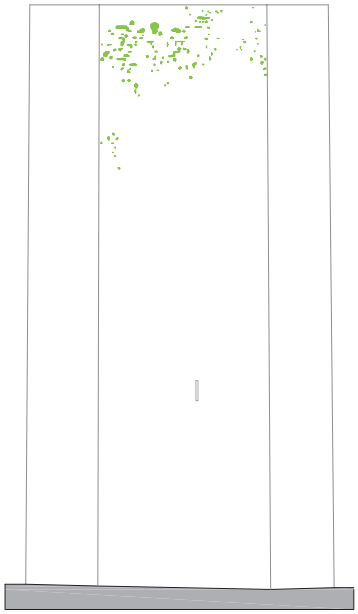
Prospetto esterno sud-ovest



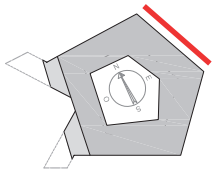


Prospetto esterno sud-est





Prospetto esterno nord-est



Allegato 3 – Schede progetto di diagnostica

Cfr. Capitolo 3

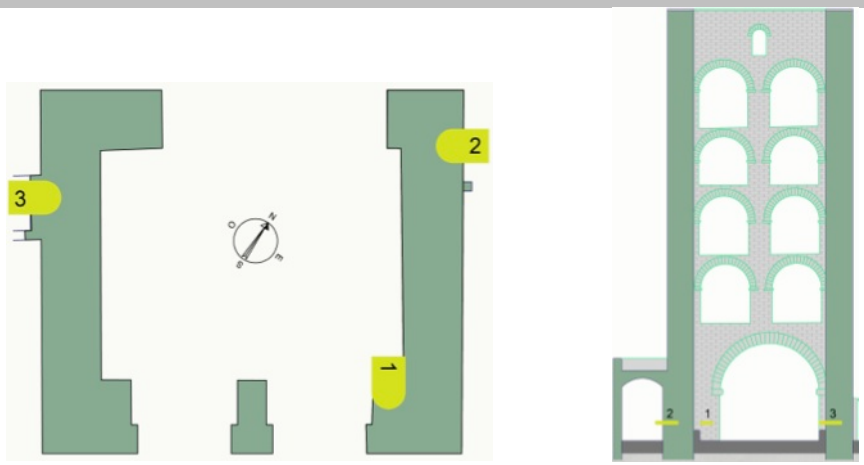
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PT01
Tipologia di prova	Martinetti Piatti	Edificio	Porta Torre

Descrizione dell'intervento

Le prove con i martinetti devono essere condotte con l'utilizzo di un singolo martinetto e, successivamente, con l'utilizzo di un doppio martinetto. I punti di prova sono indicativi della massima azione di compressione prevista registrabile su paramento interno (1), della massima azione prevista su paramento esterno (2) e della valutazione delle azioni in prossimità delle mura di cinta (3). I punti (1) e (2) devono essere rilevati in prossimità dello spigolo, il punto (3) deve essere sotto all'arco che si innesta sulla torre sul fronte nord ovest.
Numero di prove 3.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
2433 €/Cad.	7299 €

Risultati a tesi

Si vuole ricercare:

- Modulo elastico E (Prova con un solo martinetto)
- Resistenza a compressione della muratura (Prova con doppio martinetto)

Analizzando i quattro punti si determina, per confronto, anche un eventuale punto di concentrazione anomala degli sforzi.

Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PT02
Tipologia di prova	Sclerometrica	Edificio	Porta Torre

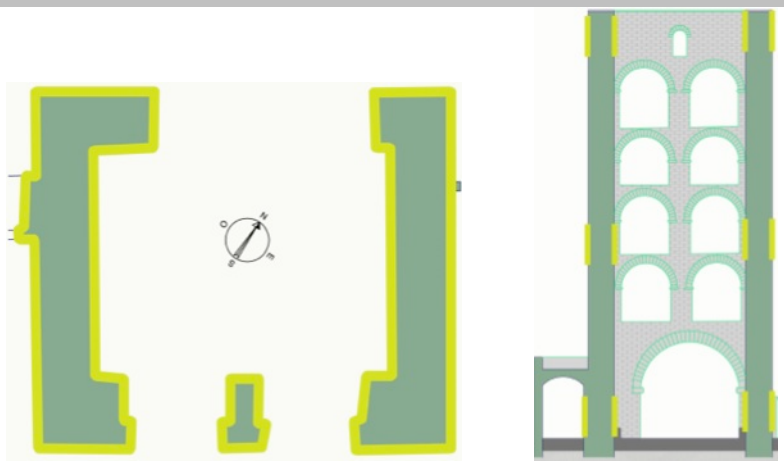
Descrizione dell'intervento

La prova sclerometrica viene effettuta eseguendo una campionatura lungo tutto il perimetro della torre, con distanza tra i punti di analisi in orizzontale di 50 cm. La medesima prova è eseguita e tre livelli: 1 m dal piano strada, 17 m dal piano strada e 1 m al di sotto del coronamento della sommità. L'analisi deve essere condotta alternando elementi di roccia e giunti di malta.

Livello 1: Perimetro Interno = 36,9 m – Num. Prove 74 Perimetro Esterno = 41,1 m – Num. Prove 82 prove
Livello 2: Perimetro Interno = 36,9 m – Num. Prove 74 Perimetro Esterno = 41,1 m – Num. Prove 82 prove
Livello 3: Perimetro Interno = 36,9 m – Num. Prove 74 Perimetro Esterno = 41,1 m – Num. Prove 82 prove
Totale prove: 468 prove

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
1,5 €/Cad.	702 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Resistenza a compressione della muratura

Il dato è significativo dei primi 70 cm di spessore, deve essere eseguito sia su lato interno che esterno e dovrà essere in seguito confrontato, almeno per la fascia di campioni rilevatoi al altezza 1m, con i risultati provenienti dalla prova con doppio martinetto piatto. Tale confronto deve essere utilizzato per la taratura del dato e per definire l'eventuale distribuzione della resistenza a compressione dell'intero edifcio.

- Valori anomali di resistenza del paramento murario esterno

Tramite il confronto tra i valori di resistenza della malta e della nuda pietra si vuole evidenziare la presenza di eventuali punti di ammaloramento della muratura.

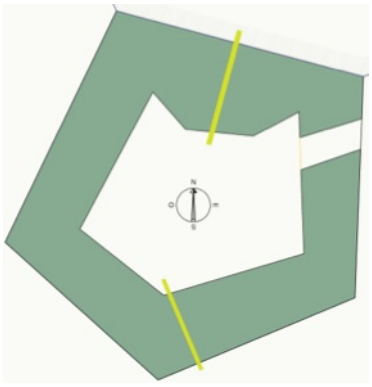
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PT03
Tipologia di prova	Carotaggio	Edificio	Porta Torre

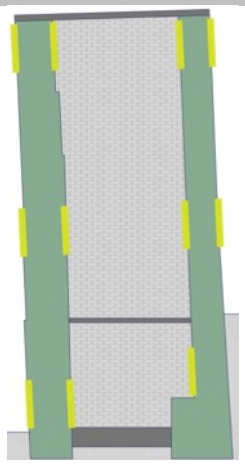
Descrizione dell'intervento

In corrispondenza dei punti evidenziati nelle figure sottostanti. Ove dovranno essere eseguite successivamente le prove endoscopiche devono essere eseguiti fori, se possibile dall'interno verso l'esterno andando a terminare a circa 5 cm dalla superficie esterna. Dovrà essere realizzata un analisi sul prospetto ovest e uno sul prospetto sud. Tali prove dovranno essere condotte a tre diverse altezze – 1 m dal piano strada, 17 m dal piano strada e 1 m al di sotto del coronamento della sommità.– Nel caso non sia possibile eseguire una prova passante è necessario spingersi fino a 1,5 m, nel caso di impossibilità a raggiungere tale profondità la prova non è valida e va ripetuta.
NB. I fori dovranno essere fatti in corrispondenza di giunti di malta in modo da arrecare minor danno possibile all'edificio, una volta eseguita la prova il foro andrà riempito con malta di calce e sabbia con l'ausilio di attrezzi idonei. Totale 6 carotaggi.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:





La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costi Totale
213,2 €/Cad.	1279,08 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna
  - Spessori corticali

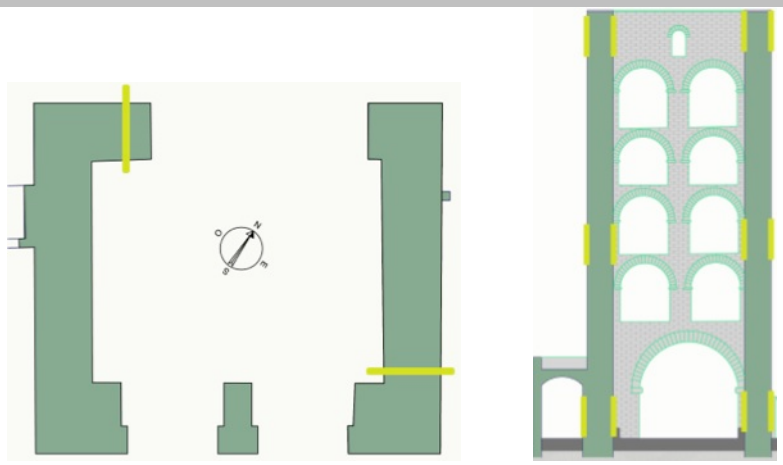
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PT04
Tipologia di prova	Endoscopia	Edificio	Porta Torre

Descrizione dell'intervento

In corrispondenza dei punti evidenziati nelle figure sottostanti, devono essere eseguite le endoscopie, in fori, se possibile passanti, di diametro 4 cm. Dovrà essere realizzata un analisi sul prospetto ovest e uno sul prospetto sud. Tali prove dovranno essere condotte a tre diverse altezze – 1 m dal piano strada, 17 m dal piano strada e 1 m al di sotto del coronamento della sommità.– Nel caso non sia possibile eseguire una prova passante è necessario spingersi fino a 1,5 m, nel caso di impossibilità a raggiungere tale profondità la prova non è valida e va ripetuta.
NB. I fori dovranno essere fatti in corrispondenza di giunti di malta in modo da arrecare minor danno possibile all'edificio, una volta eseguita la prova il foro andrà riempito con malta di calce e sabbia con l'ausilio di attrezzi idonei. Totale 6 endoscopie.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
365 €/Cad.	2190 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna
  - Spessori corticali

Attraverso un'attenta analisi visiva dell'interno della muratura si vuole caratterizzare in modo approfondito la tipologia costruttiva con cui è realizzata la torre.

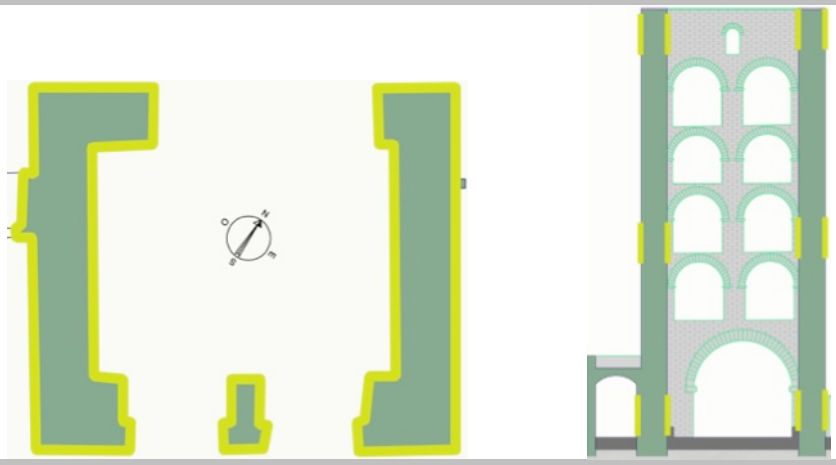
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PT05
Tipologia di prova	Georadar	Edificio	Porta Torre

Descrizione dell'intervento

Il georadar deve essere utilizzato lungo tutto il perimetro dell'edificio, sia internamente che esternamente, in modo più possibile continuo. La sonda deve essere fatta scorrere in modo parallelo al suolo ad altezza costante. Il rilievo deve essere condotto a tre livelli: 1 m dal piano strada, 17 m dal piano strada e 1 m al di sotto del coronamento della sommità. Per ogni livello deve essere indagata una fascia di 20 cm di altezza. Nell'ipotesi che lo strumento sia in grado di leggere una banda di 10 cm a volta, l'operatore dovrà prestare la massima attenzione a rendere continua la lettura nel punto di unione tra le due bande. Totale superficie da indagare circa 47 m^2.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
45 €/m^2	2115 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna

Obiettivo della prova è generalizzare il risultato ottenuto con le prove endoscopiche e soniche e definire se il risultato ottenuto sia estendibile all'intero edificio.
I dati analizzati in sito possono richiedere maggiori approfondimenti localizzati. In questo caso è possibile estendere l'analisi anche a zone prossime alle 3 fasce individuate a priori.

Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PT06
Tipologia di prova	Tomografia	Edificio	Porta Torre

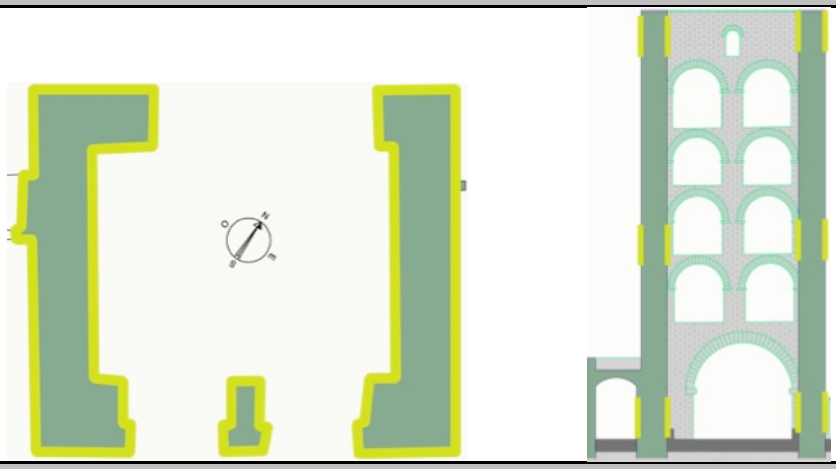
Descrizione dell'intervento

La prova sonica viene effettuta eseguendo letture in superficie lungo tutto il perimetro della torre, con distanza tra i punti di analisi in orizzontale di 50 cm. La medesima prova è eseguita e tre livelli: 1 m dal piano strada, 17 m dal piano strada e 1 m al di sotto del coronamento della sommità. L'analisi deve essere condotta alternando elementi di roccia e giunti di malta.

Livello 1: Perimetro Interno = 36,9 m – Num. Prove 74 Perimetro Esterno = 41,1 m – Num. Prove 82 prove
Livello 2: Perimetro Interno = 36,9 m – Num. Prove 74 Perimetro Esterno = 41,1 m – Num. Prove 82 prove
Livello 3: Perimetro Interno = 36,9 m – Num. Prove 74 Perimetro Esterno = 41,1 m – Num. Prove 82 prove
Totale prove: 468 prove

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
15 €/Cad.	702 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna

Obiettivo della prova è generalizzare il risultato ottenuto con le prove endoscopiche e il georadar e definire se il risultato ottenuto sia estendibile all'intero edificio.

I dati analizzati in sito possono richiedere maggiori approfondimenti localizzati. In questo caso è possibile estendere l'analisi anche a zone prossime alle 3 fasce individuate a priori.

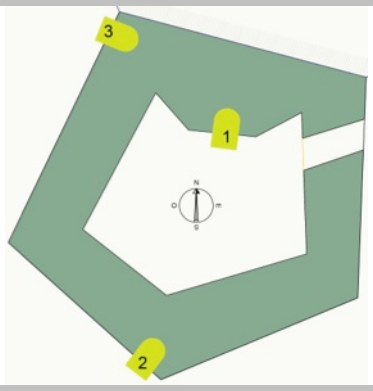
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	GAT01
Tipologia di prova	Martinetti Piatti	Edificio	Torre Gattoni

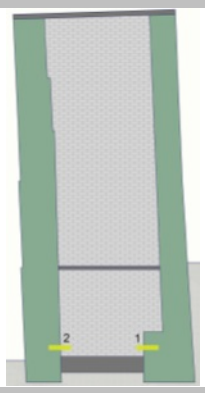
Descrizione dell'intervento

Le prove con i martinetti devono essere condotte con l'utilizzo di un singolo martinetto e, successivamente, con l'utilizzo di un doppio martinetto. I punti di prova sono indicativi della massima azione di compressione prevista registrabile su paramento interno (1), della massima azione prevista su paramento esterno (2) e della valutazione delle azioni in prossimità delle mura di cinta (3). I punti di analisi sono scelti in funzione dell'inclinazione delle murature e, nel caso dei punti di analisi (2) e (3) devono essere collocati vicino all'angolo, mentre il punto di analisi (1) deve essere al centro della muratura.
Totale 3 prove.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:





La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costi Totale
2433 €/Cad.	7299 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Modulo elastico E (Prova con un solo martinetto)
- Resistenza a compressione della muratura (Prova con doppio martinetto)

Analizzando i cinque punti si determina, per confronto, anche un eventuale punto di concentrazione anomala degli sforzi.

Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	GAT02
Tipologia di prova	Sclerometrica	Edificio	Torre Gattoni

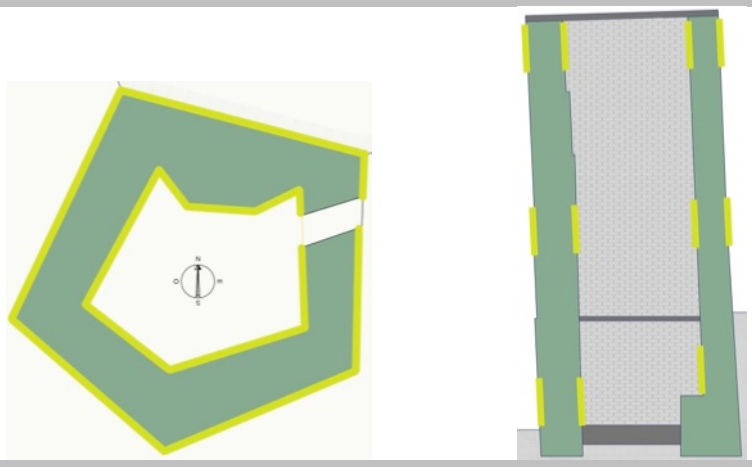
Descrizione dell'intervento

La prova sclerometrica viene effettuta eseguendo una campionatura lungo tutto il perimetro della torre, con distanza tra i punti di analisi in orizzontale di 50 cm. La medesima prova è eseguita e tre livelli: 1 m dal piano di calpestio del piano terra, 1 m dal piano di calpestio della soletta in c.a. e 3 m al di sotto della copertura. L'analisi deve essere condotta alternando elementi di roccia e giunti di malta.

Livello 1: Perimetro Interno = 32,5 m – Num. Prove 65 Perimetro Esterno = 40,5 m – Num. Prove 81 prove
Livello 2: Perimetro Interno = 32,5 m – Num. Prove 65 Perimetro Esterno = 52,1 m – Num. Prove 103 prove
Livello 3: Perimetro Interno = 32,5 m – Num. Prove 65 Perimetro Esterno = 52,1 m – Num. Prove 103 prove
Totale prove: 482 prove

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costi Totale
1,50 €/Cad.	723 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Resistenza a compressione della muratura

Il dato è significativo dei primi 70 cm di spessore, deve essere eseguito sia su lato interno che esterno e dovrà essere in seguito confrontato, almeno per la fascia di campioni rilevato ad altezza 1m, con i risultati provenienti dalla prova con doppio martinetto piatto. Tale confronto deve essere utilizzato per la taratura del dato e per definire l'eventuale distribuzione della resistenza a compressione dell'intero edifcio.

- Valori anomali di resistenza del paramento murario esterno

Tramite il confronto tra i valori di resistenza della malta e della nuda pietra si vuole evidenziare la presenza di eventuali punti di ammaloramento della muratura.

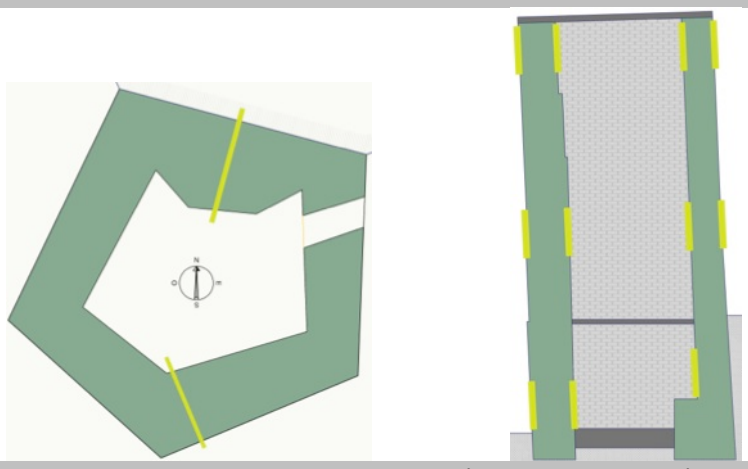
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	GAT03
Tipologia di prova	Carotaggio	Edificio	Torre Gattoni

Descrizione dell'intervento

In corrispondenza dei punti evidenziati nelle figure sottostanti. Ove dovranno essere eseguite successivamente le prove endoscopiche devono essere eseguiti fori, se possibile dall'interno verso l'esterno andando a terminare a circa 5 cm dalla superficie esterna. Dovrà essere realizzata un analisi sul prospetto interno addossato al terrapieno e una sul lato opposto. Tali prove dovranno essere condotte a tre diverse altezze – 1 m dal piano di calpestio del piano terra, 1 m dal piano di calpestio della soletta in c.a. e 3 m al di sotto della copertura – Si deve evitare di praticare carotaggi sulla volta.
NB. I fori dovranno essere fatti in corrispondenza di giunti di malta in modo da arrecare minor danno possibile all'edificio, una volta eseguita la prova il foro andrà riempito con malta di calce e sabbia con l'ausilio di attrezzi idonei. Totale 6 carotaggi.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costi Totale
213,2 €/Cad.	1279,08 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna
  - Spessori corticali

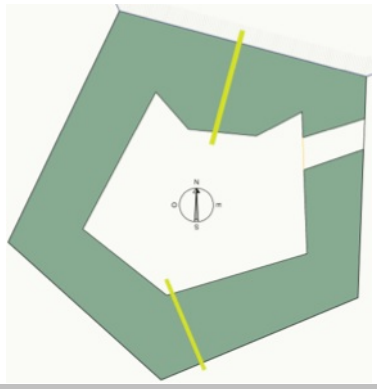
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	GAT04
Tipologia di prova	Endoscopia	Edificio	Torre Gattoni

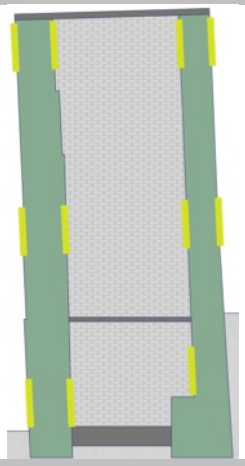
Descrizione dell'intervento

In corrispondenza dei punti evidenziati nelle figure sottostanti, devono essere eseguite le endoscopie, in fori, se possibile passanti, di diametro 4 cm. Dovrà essere realizzata un analisi sul prospetto interno addossato al terrapieno e una sul lato opposto. Tali prove dovranno essere condotte a tre diverse altezze – 1 m dal piano di calpestio del piano terra, 1 m dal piano di calpestio della soletta in c.a. e 3 m al di sotto della copertura – Si deve evitare di praticare endoscopie sulla volta.
NB. I fori dovranno essere fatti in corrispondenza di giunti di malta in modo da arrecare minor danno possibile all'edificio, una volta eseguita la prova il foro andrà riempito con malta di calce e sabbia con l'ausilio di attrezzi idonei. Totale 6 endoscopie.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:





La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costi Totale
365 €/Cad.	2190 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna
  - Spessori corticali

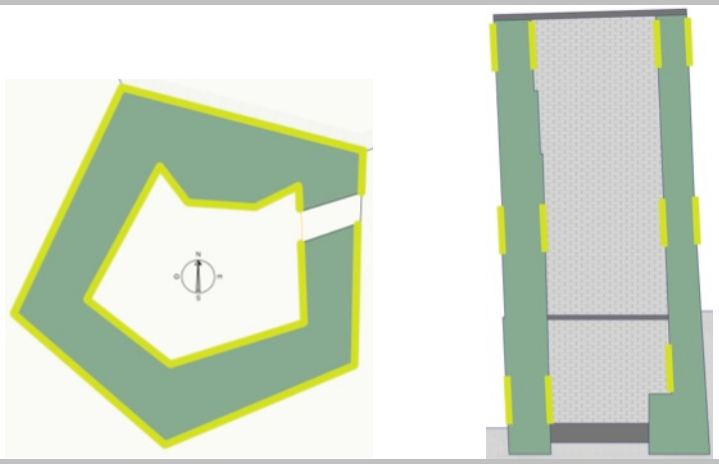
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	GAT05
Tipologia di prova	Georadar	Edificio	Torre Gattoni

Descrizione dell'intervento

Il georadar deve essere utilizzato lungo tutto il perimetro dell'edificio, sia internamente che esternamente, in modo più possibile continuo. La sonda deve essere fatta scorrere in modo parallelo al suolo ad altezza costante. Il rilievo deve essere condotto a tre livelli: 1 m dal piano di calpestio del piano terra, 1 m dal piano di calpestio della soletta in c.a. e a 3 m al di sotto della copertura. Per ogni livello deve essere indagata una fascia di 20 cm di altezza. Nell'ipotesi che lo strumento sia in grado di leggere una banda di 10 cm a volta, l'operatore dovrà prestare la massima attenzione a rendere continua la lettura nel punto di unione tra le due bande. Totale superficie da indagare circa 50 m^2.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costi Totale
45 €/m^2	2250 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna

Obiettivo della prova è generalizzare il risultato ottenuto con le prove endoscopiche e soniche e definire se il risultato ottenuto sia estendibile all'intero edificio.
I dati analizzati in sito possono richiedere maggiori approfondimenti localizzati. In questo caso è possibile estendere l'analisi anche a zone prossime alle 3 fasce individuate a priori.

Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PT06
Tipologia di prova	Tomografia	Edificio	Torre Gattoni

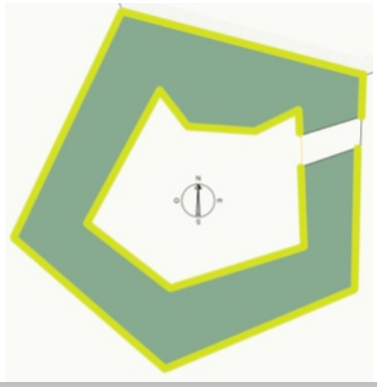
Descrizione dell'intervento

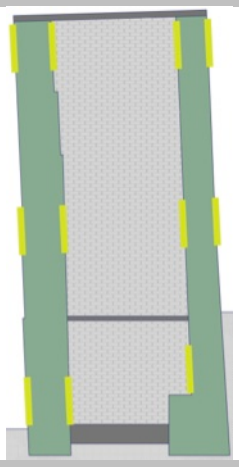
La prova tomografica viene effettuta eseguendo letture in superficie lungo tutto il perimetro della torre, con distanza tra i punti di analisi in orizzontale di 50 cm. La medesima prova è eseguita e tre livelli: 3 m dal piano di calpestio del piano terra, 3 m dal piano di calpestio della soletta in c.a. e 2 m al di sotto della copertura. L'analisi deve essere condotta alternando elementi di roccia e giunti di malta.

Livello 1: Perimetro Interno = 32,5 m – Num. Prove 65 Perimetro Esterno = 40,5 m – Num. Prove 81 prove
Livello 2: Perimetro Interno = 32,5 m – Num. Prove 65 Perimetro Esterno = 52,1 m – Num. Prove 103 prove
Livello 3: Perimetro Interno = 32,5 m – Num. Prove 65 Perimetro Esterno = 52,1 m – Num. Prove 103 prove
Totale prove: 482 prove

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:





La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costi Totale
15 €/Cad.	7230 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna

Obiettivo della prova è generalizzare il risultato ottenuto con le prove endoscopiche e il georadar e definire se il risultato ottenuto sia estendibile all'intero edificio.

I dati analizzati in sito possono richiedere maggiori approfondimenti localizzati. In questo caso è possibile estendere l'analisi anche a zone prossime alle 3 fasce individuate a priori.

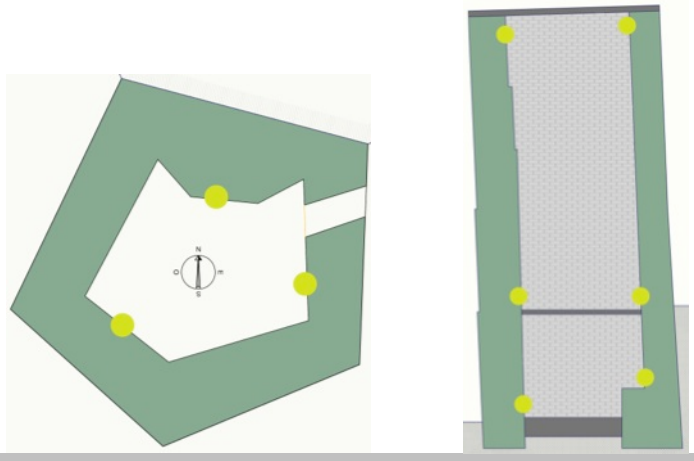
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	GAT07
Tipologia di prova	Inclinometro	Edificio	Torre Gattoni

Descrizione dell'intervento

In corrispondenza dei tre punti evidenziati nelle figure sottostanti, devono essere posti gli inclinometri. Si sono scelti i tre fronti più inclinati e posti in direzioni tra loro differenti. Tali prove dovranno essere condotte a tre diverse altezze – 1 m dal piano di calpestio del piano terra, 1 m dal piano di calpestio della soletta in c.a. e 3 m al di sotto della copertura – i sensori dovranno essere posti sulla medesima verticale. Questa disposizione, unitamente all'uso di inclinometri biassiali, è in grado di determinare gli eventuali cinematismi in qualsiasi deirezione avvengano. Tutti gli strumenti devono essere messi in opera perfettamente solidali alla struttura e esclusivamente sui prospetti interni, così da proteggerli da eventuali vandalismi.
Totale inclinometri: 9.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costi Totale
123,3 €/Cad.	1110 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:
- Cinemetismi dell'edificio
- Variazione della verticalità dell'edificio

L'obiettivo della prova è quello di posizionare degli inclinometri che, in modo continuativo e prolungato nel tempo, diano informazioni su quella che è la verticalità dei paramenti murari. Una lettura su base semestrale degli strumenti permette un monitoraggio costante della torre.

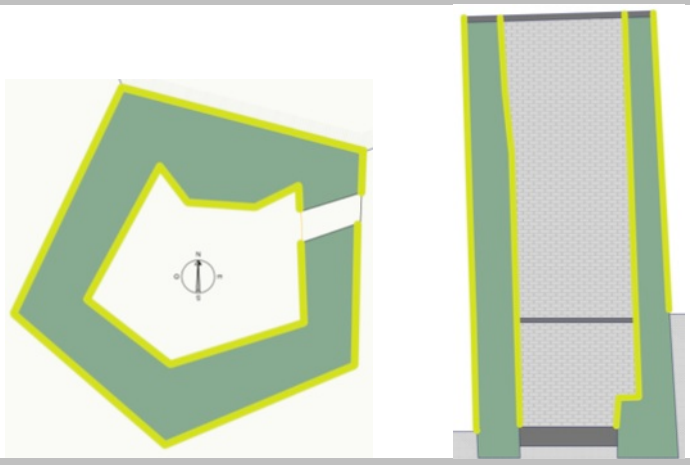
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	GAT08
Tipologia di prova	Fessurimetro	Edificio	Torre Gattoni

Descrizione dell'intervento

I fessurimetri devono essere posti in corrispondenza di quelle fessure che, a seguito dell'analisi del quadro fessurativo, sono ritenute dal tecnico tali da dover essere monitorate. Per una conoscenza rigorosa dei punti di applicazione di rimanda alle tavole R 55-56 relativa al quadro fessurativo. Devono essere posizionati in modo che siano solidali alla muratura e nelle parti più basse dell'edificio protetti contro eventuali vandalismi.
Si stima l'utilizzo di 30 fessurimetri lineari.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costi Totale
98,33 €/Cad.	2950 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Cinemetismi dell'edificio

L'obiettivo della prova è quello di posizionare dei fessurimetri che, in modo continuativo e prolungato nel tempo, diano informazioni su quello che è il cinematismo dei paramenti murari. Una lettura su base semestrale degli strumenti permette un monitoraggio costante della torre.

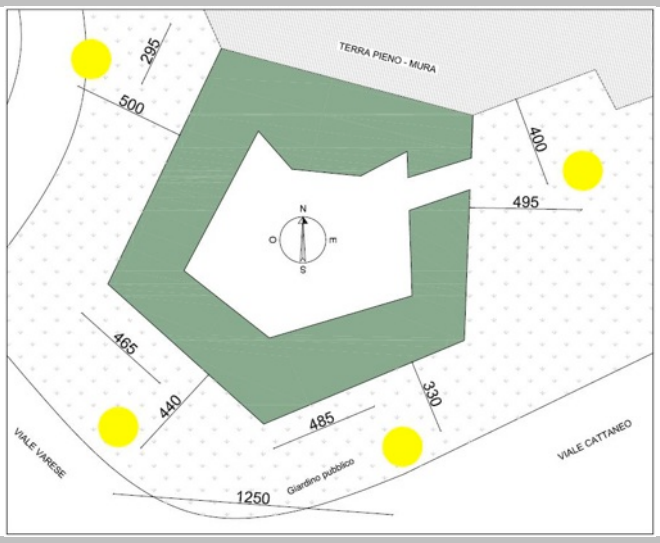
Scheda per Indagine Diagnostica		Cod. Scheda	GAT09
Tipologia di prova	Sondaggio terreno	Edificio	Torre Gattoni

Descrizione dell'intervento

Dovrà essere effettuato un sondaggio a rotazione con carotaggio continuo, nell'ipotesi di essere in terreni sciolti a granulometria fine e media. Il materiale dovrà essere raccolto in cassette per la conservazione dei campioni. Il diametro del carotatore, dovrà essere sufficiente da fornire un campione del diametro di 85 mm. Le prove dovranno essere 4 e con una distanza minima di 3 m dagli edifici. 2 sondaggi saranno realizzati in prossimità delle mura (zona non ceduta) e 2 saranno realizzati in prossimità dei muri che presentano un forte fuori piombo. La profondità del sondaggio sarà di 20 m. La distanza minima tra prove dovrà essere di 10 m.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta è indicativa e fuori scala.

Costo Unitario	Costi Totale
80 €/m	1600 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- La definizione degli strati di terreno sottostanti la Torre

L'obiettivo della prova è quello di ottenere una sezione stratigrafica del terreno sottostante in modo tale da individuare le sezioni di terreno più o meno resistenti che danno origine ai cedimenti differenziali che hanno portato il cinematismo della torre.

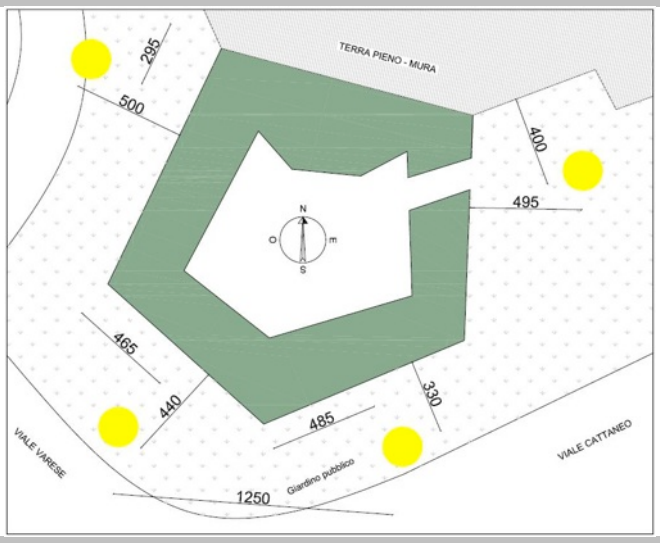
Scheda per Indagine Diagnostica		Cod. Scheda	GAT010
Tipologia di prova	Prova penetrometrica	Edificio	Torre Gattoni

Descrizione dell'intervento

Le prove penetrometriche dovranno essere realizzate statiche con penetrometro Olandese della capacità di 10 t, con lettura dello sforzo di penetrazione alla punta e dell'attrito laterale ogni 20 cm. Le prove dovranno essere 4 e con una distanza minima di 3 m dagli edifici. 2 sondaggi saranno realizzati in prossimità delle mura (zona non ceduta) e 2 saranno realizzati in prossimità dei muri che presentano un forte fuori piombo. La profondità del sondaggio sarà di 20 m. La distanza minima tra prove dovrà essere di 10 m. Per ogni punto di prova prova si dovrà procedere con il montaggio dell' attrezzatura.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta è indicativa e fuori scala.

Costo Unitario	Costi Totale
45 €/m	900 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- La resistenza all'avanzamento della punta q_c e la misura dell'attrito laterale f_s
- Un interpretazione della stratigrafia del terreno sottostante

L'obiettivo della prova è quello di ottenere i parametri geotecnici principali per studiare i fattori che hanno comportato il cinematismo della torre.

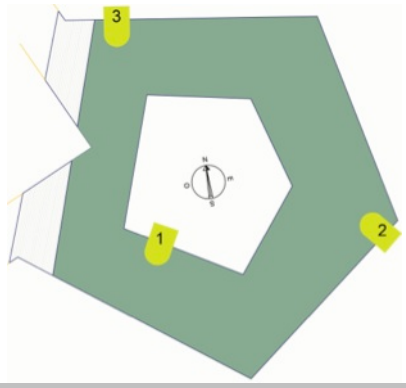
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	VIT01
Tipologia di prova	Martinetti Piatti	Edificio	San Vitale

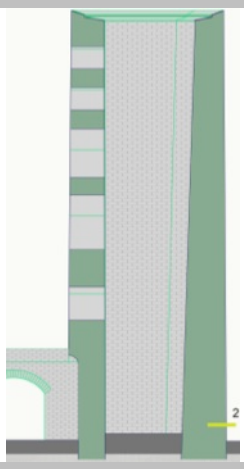
Descrizione dell'intervento

Le prove con i martinetti devono essere condotte con l'utilizzo di un singolo martinetto e, successivamente, con l'utilizzo di un doppio martinetto. I punti di prova sono indicativi della massima azione di compressione prevista registrabile su paramento interno (1), della massima azione prevista su paramento esterno (2) e della valutazione delle azioni in prossimità delle mura di cinta (3). I punti di analisi sono scelti in funzione dell'inclinazione delle murature e devono essere collocati vicino all'angolo.
Totale 3 prove.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:





La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
2433 €/Cad.	7299 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Modulo elastico E (Prova con un solo martinetto)
- Resistenza a compressione della muratura (Prova con doppio martinetto)

Analizzando i sei punti si determina, per confronto, anche un eventuale punto di concentrazione anomala degli sforzi.

Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	VIT02
Tipologia di prova	Sclerometrica	Edificio	San Vitale

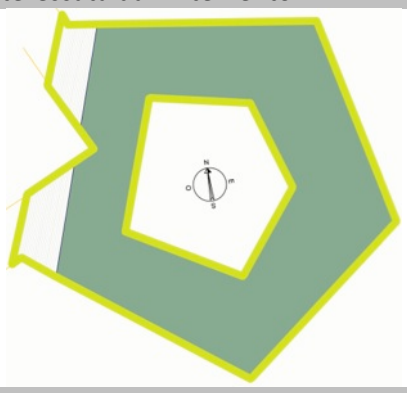
Descrizione dell'intervento

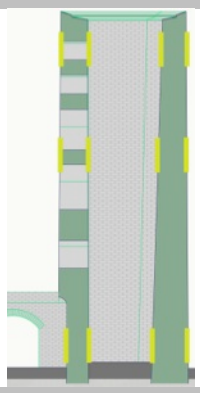
La prova sclerometrica viene effettuta eseguendo una campionatura lungo tutto il perimetro della torre, con distanza tra i punti di analisi in orizzontale di 50 cm. La medesima prova è eseguita e tre livelli: 1 m dal piano stradale, 16 m dal piano stradale e 1 m sotto al coronamento di sommità. L'analisi deve essere condotta alternando elementi di roccia e giunti di malta.

Livello 1: Perimetro Interno = 58,3 m – Num. Prove 117 Perimetro Esterno = 25,8 m – Num. Prove 52 prove
Livello 2: Perimetro Interno = 52,0 m – Num. Prove 104 Perimetro Esterno = 25,8 m – Num. Prove 52 prove
Livello 3: Perimetro Interno = 52,0 m – Num. Prove 104 Perimetro Esterno = 25,8 m – Num. Prove 52 prove
Totale prove: 381 prove

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:





La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
1,50 €/Cad.	571,5 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Resistenza a compressione della muratura

Il dato è significativo dei primi 70 cm di spessore, deve essere eseguito sia su lato interno che esterno e dovrà essere in seguito confrontato, almeno per la fascia di campioni rilevato ad altezza 1m, con i risultati provenienti dalla prova con doppio martinetto piatto. Tale confronto deve essere utilizzato per la taratura del dato e per definire l'eventuale distribuzione della resistenza a compressione dell'intero edificio.

- Valori anomali di resistenza del paramento murario esterno

Tramite il confronto tra i valori di resistenza della malta e della nuda pietra si vuole evidenziare la presenza di eventuali punti di ammaloramento della muratura.

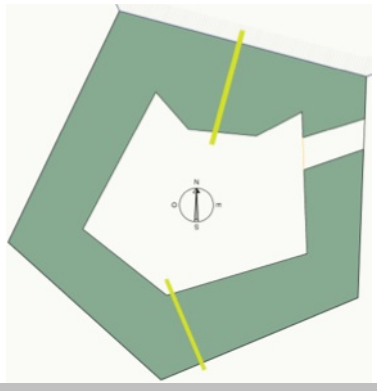
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	VIT03
Tipologia di prova	Carotaggio	Edificio	San Vitale

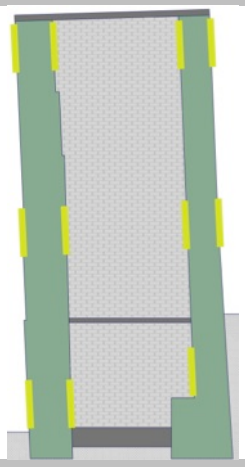
Descrizione dell'intervento

In corrispondenza dei punti evidenziati nelle figure sottostanti. Ove dovranno essere eseguite successivamente le prove endoscopiche devono essere eseguiti fori, se possibile dall'interno verso l'esterno andando a terminare a circa 5 cm dalla superficie esterna. Dovrà essere realizzata un analisi sul prospetto interno addossato alle mura di cinta e uno sul lato opposto. Tali prove dovranno essere condotte a tre diverse altezze – 1 m dal piano stradale, 16 m dal piano stradale e 1 m sotto al coronamento di sommità - Nel caso non sia possibile eseguire una prova passante è necessario spingersi fino a 1,5 m, nel caso di impossibilità a raggiungere tale profondità la prova non è valida e va ripetuta.
NB. I fori dovranno essere fatti in corrispondenza di giunti di malta in modo da arrecare minor danno possibile all'edificio, una volta eseguita la prova il foro andrà riempito con malta di calce e sabbia con l'ausilio di attrezzi idonei. Totale 6 carotaggi.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:





La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costi Totale
213,2 €/Cad.	1279,08 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna
  - Spessori corticali

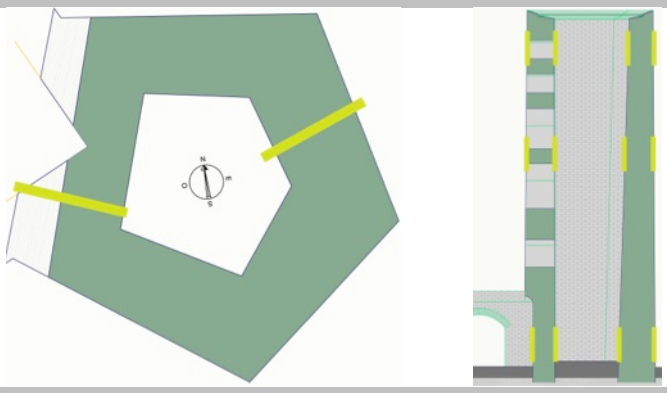
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	VIT04
Tipologia di prova	Endoscopia	Edificio	San Vitale

Descrizione dell'intervento

In corrispondenza dei punti evidenziati nelle figure sottostanti, devono essere eseguite le endoscopie, in fori, se possibile passanti, di diametro 4 cm. Dovrà essere realizzata un analisi sul prospetto interno addossato alle mura di cinta e uno sul lato opposto. Tali prove dovranno essere condotte a tre diverse altezze – 1 m dal piano stradale, 16 m dal piano stradale e 1 m sotto al coronamento di sommità - Nel caso non sia possibile eseguire una prova passante è necessario spingersi fino a 1,5 m, nel caso di impossibilità a raggiungere tale profondità la prova non è valida e va ripetuta.
NB. I fori dovranno essere fatti in corrispondenza di giunti di malta in modo da arrecare minor danno possibile all'edificio, una volta eseguita la prova il foro andrà riempito con malta di calce e sabbia con l'ausilio di attrezzi idonei. Totale 6 endoscopie.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
365 €/Cad.	2190 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna
  - Spessori corticali

Attraverso un'attenta analisi visiva dell'interno della muratura si vuole caratterizzare in modo approfondito la tipologia costruttiva con cui è realizzata la torre.

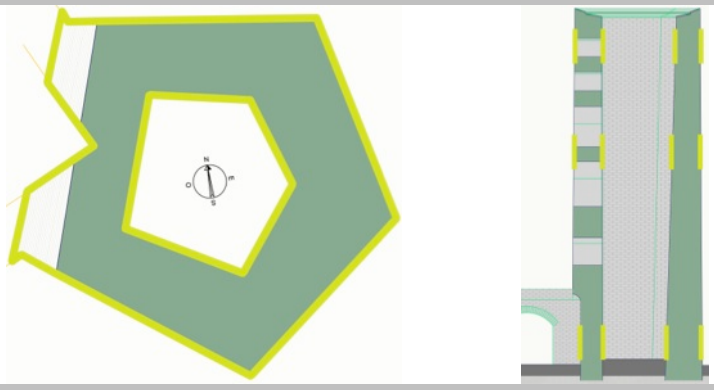
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	VIT05
Tipologia di prova	Georadar	Edificio	San Vitale

Descrizione dell'intervento

Il georadar deve essere utilizzato lungo tutto il perimetro dell'edificio, sia internamente che esternamente, in modo più possibile continuo. La sonda deve essere fatta scorrere in modo parallelo al suolo ad altezza costante. Il rilievo deve essere condotto a tre livelli: 1 m dal piano stradale, 16 m dal piano stradale e 1 m sotto al coronamento di sommità. Per ogni livello deve essere indagata una fascia di 20 cm di altezza. Nell'ipotesi che lo strumento sia in grado di leggere una banda di 10 cm a volta, l'operatore dovrà prestare la massima attenzione a rendere continua la lettura nel punto di unione tra le due bande. Totale superficie da indagare circa 64 m^2.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
45 €/m^2	2880 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna

Obiettivo della prova è generalizzare il risultato ottenuto con le prove endoscopiche e soniche e definire se il risultato ottenuto sia estendibile all'intero edificio.
I dati analizzati in sito possono richiedere maggiori approfondimenti localizzati. In questo caso è possibile estendere l'analisi anche a zone prossime alle 3 fasce individuate a priori.

Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	VIT06
Tipologia di prova	Tomografia	Edificio	San Vitale

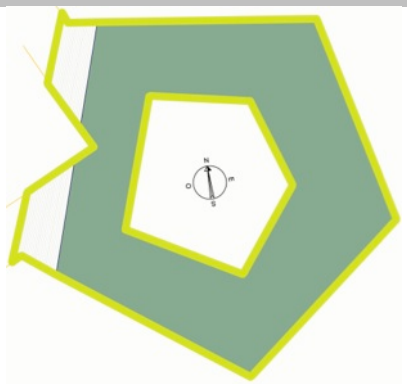
Descrizione dell'intervento

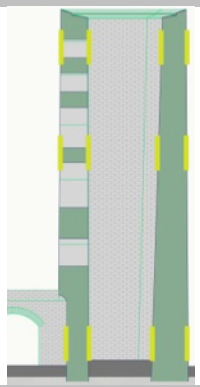
La prova sonica viene effettuta eseguendo letture in superficie lungo tutto il perimetro della torre, con distanza tra i punti di analisi in orizzontale di 50 cm. La medesima prova è eseguita e tre livelli: 1 m dal piano stradale, 16 m dal piano stradale e 1 m sotto al coronamento di sommità. L'analisi deve essere condotta alternando elementi di roccia e giunti di malta.

Livello 1: Perimetro Interno = 58,3 m – Num. Prove 117 Perimetro Esterno = 25,8 m – Num. Prove 52 prove
Livello 2: Perimetro Interno = 52,0 m – Num. Prove 104 Perimetro Esterno = 25,8 m – Num. Prove 52 prove
Livello 3: Perimetro Interno = 52,0 m – Num. Prove 104 Perimetro Esterno = 25,8 m – Num. Prove 52 prove
Totale prove: 381 prove

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento





La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
15 €/Cad.	5715 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna

Obiettivo della prova è generalizzare il risultato ottenuto con le prove endoscopiche e il georadar e definire se il risultato ottenuto sia estendibile all'intero edificio.

I dati analizzati in sito possono richiedere maggiori approfondimenti localizzati. In questo caso è possibile estendere l'analisi anche a zone prossime alle 3 fasce individuate a priori.

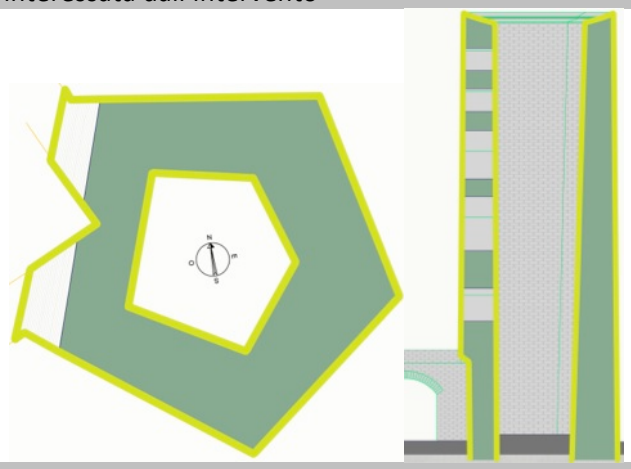
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	VIT07
Tipologia di prova	Fessurimetro	Edificio	San Vitale

Descrizione dell'intervento

I fessurimetri devono essere posti in corrispondenza di quelle fessure che, a seguito dell'analisi del quadro fessurativo, sono ritenute dal tecnico tali da dover essere monitorate. Per una conoscenza rigorosa dei punti di applicazione di rimanda alla tavola R62 relativa al quadro fessurativo. Devono essere posizionati in modo che siano solidali alla muratura e nelle parti più basse dell'edificio protetti contro eventuali vandalismi.
Si stima l'utilizzo di 30 fessurimetri lineari.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
98,33 €/cad.	2950 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Cinemetismi dell'edificio

L'obiettivo della prova è quello di posizionare dei fessurimetri che, in modo continuativo e prolungato nel tempo, diano informazioni su quello che è il cinematismo dei paramenti murari. Una lettura su base semestrale degli strumenti permette un monitoraggio costante della torre.

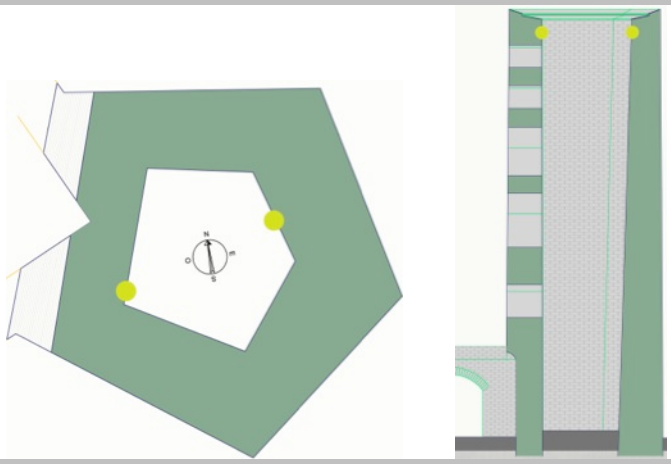
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	VIT08
Tipologia di prova	Prova dinamica	Edificio	San Vitale

Descrizione dell'intervento

I sismografi sono applicati sui prospetti interni: quello addossato alle mura di cinta e quello ad esso opposto, in modo da avere la massima distanza tra loro. Devono essere messi in opera 1 metro sotto la sommità. La prova richiede che gli strumenti siano resi perfettamente solidali alle pareti e opportunamente protetti dalle intemperie.
Totale sonde installate 2.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
730,32 €/Cad.	1460,64 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Comportamento dinamico della struttura

I dati dovranno essere analizzati tenendo conto dei dati sul traffico veicolare e ferroviario. La scomposizione in effetti derivanti dalla ferrovia, dal traffico leggere e pesante permetterà di capire quali siano i fenomeni che arrecano maggior danno.
Dopo un periodo di monitoraggio iniziale di 2 anni, con letture ogni 3 mesi, in cui si vorrà capire lo stato di salute della struttura, i sismografi verranno lasciati in opera e serviranno come monitoraggio per eventi critici come urti e terremoti o a fornire informazioni semestrali.

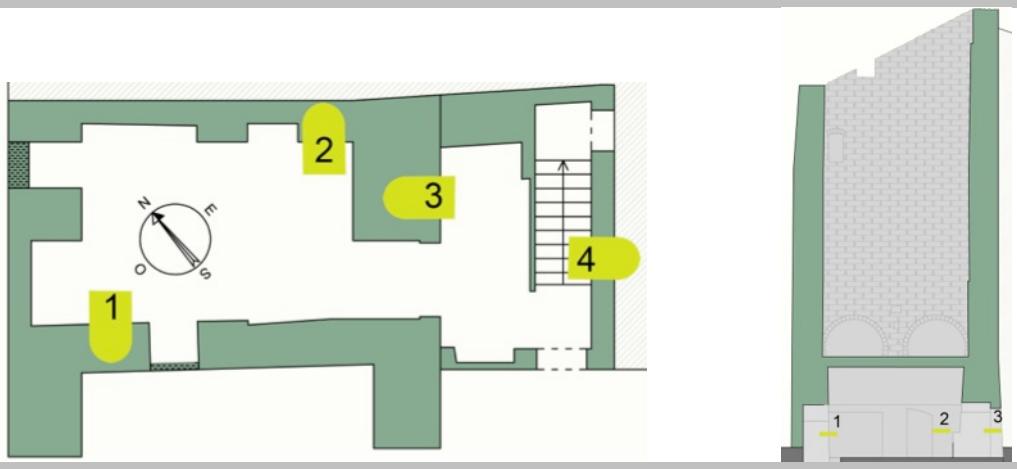
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PAN01
Tipologia di prova	Martinetti Piatti	Edificio	Torre Pantera

Descrizione dell'intervento

Le prove con i martinetti devono essere condotte con l'utilizzo di un singolo martinetto e, successivamente, con l'utilizzo di un doppio martinetto. I punti di prova sono indicativi della massima azione di compressione prevista registrabile sulla struttura della torre (1) e (2). I punti d'analisi (3) e (4) sono indicativi della resistenza residua delle murature su cui è previsto di inserire la nuova struttura di appensione della scala. I punti di analisi sono scelti in funzione dell'inclinazione e dello stato di conservazione delle murature. Le prove devono essere condotte al piano terra in punti in cui la muratura non abbia subito modifiche con l'inserimento di mattoni in laterizio.
Totale 4 prove.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
2433 €/Cad.	9732 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Modulo elastico E (Prova con un solo martinetto)
- Resistenza a compressione della muratura (Prova con doppio martinetto)

Analizzando i sei punti si determina, per confronto, anche un eventuale punto di concentrazione anomala degli sforzi.

Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PAN02
Tipologia di prova	Sclerometrica	Edificio	Torre Pantera

Descrizione dell'intervento

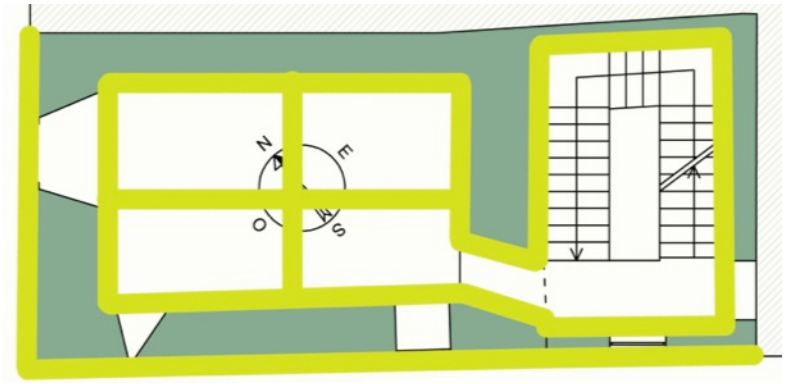
La prova sclerometrica viene effettuta eseguendo una campionatura lungo tutto il perimetro della torre, con distanza tra i punti di analisi in orizzontale di 50 cm. La medesima prova è eseguita e tre livelli: 1 m dal piano di calpestio del piano terra, 1 m dal piano di calpestio della volta e 1 m al di sotto della copertura. L'analisi deve essere condotta alternando elementi di roccia e giunti di malta.

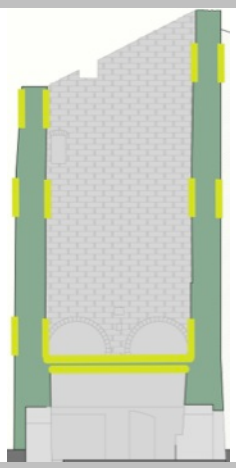
Livello 1: Perimetro Interno = 20,4+16,9 m – Num. Prove 75 Perimetro Esterno = 18,9 m – Num. Prove 40 prove
Livello 2: Perimetro Interno = 20,4+16,9 m – Num. Prove 75 Perimetro Esterno = 18,9 m – Num. Prove 40 prove
Livello 3: Perimetro Interno = 20,4+16,9 m – Num. Prove 75 Perimetro Esterno = 18,9 m – Num. Prove 40 prove
Volta: Lettura N-S = 3,9 m- Num. 8 Prove Lettura E-O = 6,3 m- Num. 13 Prove

Totale prove: 366 prove

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:





La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
1,5 €/Cad.	549 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Resistenza a compressione della muratura

Il dato è significativo dei primi 70 cm di spessore, deve essere eseguito sia su lato interno che esterno e dovrà essere in seguito confrontato, almeno per la fascia di campioni rilevato ad altezza 1m, con i risultati provenienti dalla prova con doppio martinetto piatto. Tale confronto deve essere utilizzato per la taratura del dato e per definire l'eventuale distribuzione della resistenza a compressione dell'intero edificio.

- Valori anomali di resistenza del paramento murario esterno

Tramite il confronto tra i valori di resistenza della malta e della nuda pietra si vuole evidenziare la presenza di eventuali punti di ammaloramento della muratura.

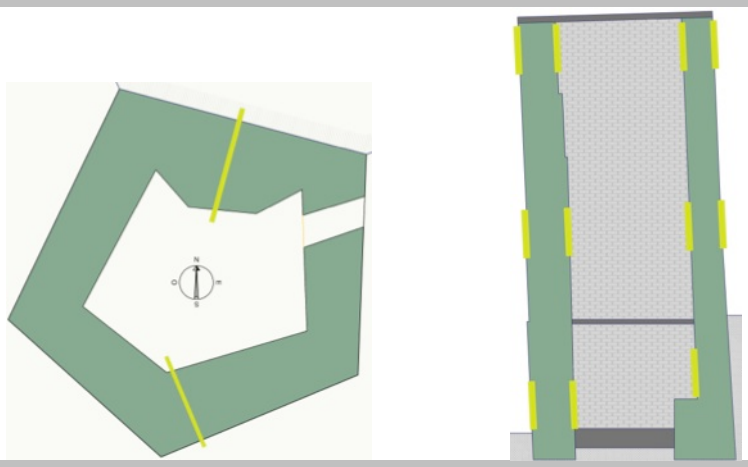
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PAN03
Tipologia di prova	Carotaggio	Edificio	Torre Pantera

Descrizione dell'intervento

In corrispondenza dei punti evidenziati nelle figure sottostanti. Ove dovranno essere eseguite successivamente le prove endoscopiche devono essere eseguiti fori, se possibile dall'interno verso l'esterno andando a terminare a circa 5 cm dalla superficie esterna Dovrà essere realizzata un analisi sul prospetto di Piazza Verdi e uno sulla muratura che separa il vano scala dall'ambiente principale. Tali prove dovranno essere condotte a tre diverse altezze – 1 m dal piano di calpestio del piano terra, 1 m dal piano di calpestio della volta e 3 m al di sotto della copertura – Si deve praticare un saggio al centro dela volta del piano primo al fine di stabilire lo spessore di tale struttura. Nel caso non sia possibile eseguire una prova passante è necessario spingersi fino a 0,5 m, nel caso di impossibilità a raggiungere tale profondità la prova non è valida e va ripetuta.
NB. I fori dovranno essere fatti in corrispondenza di giunti di malta in modo da arrecare minor danno possibile all'edificio, una volta eseguita la prova il foro andrà riempito con malta di calce e sabbia con l'ausilio di attrezzi idonei. Totale 7 carotaggi.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costi Totale
213,2 €/Cad.	1492,26 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:
- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna
  - Spessori corticali

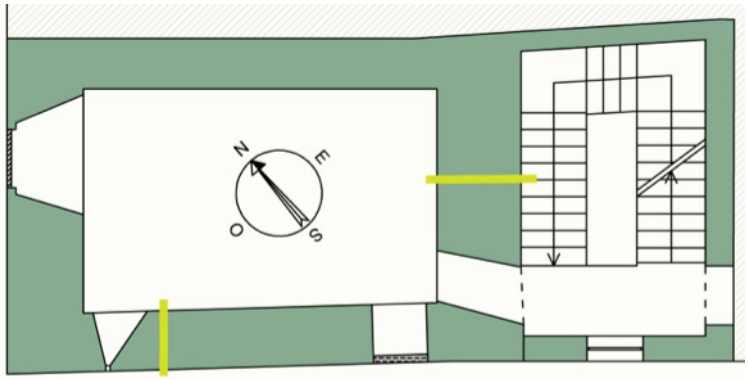
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PAN04
Tipologia di prova	Endoscopia	Edificio	Torre Pantera

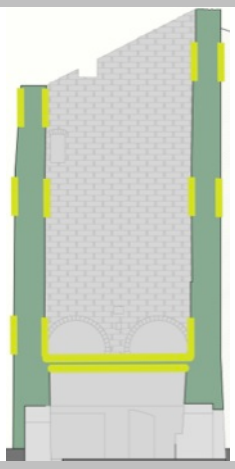
Descrizione dell'intervento

In corrispondenza dei punti evidenziati nelle figure sottostanti, devono essere eseguite le endoscopie, in fori, se possibile passanti, di diametro 4 cm. Dovrà essere realizzata un analisi sul prospetto di Piazza Verdi e uno sulla muratura che separa il vano scala dall'ambiente principale. Tali prove dovranno essere condotte a tre diverse altezze – 1 m dal piano di calpestio del piano terra, 1 m dal piano di calpestio della volta e 3 m al di sotto della copertura – Si deve praticare un saggio al centro dela volta del piano primo al fine di stabilire lo spessore di tale struttura. Nel caso non sia possibile eseguire una prova passante è necessario spingersi fino a 0,5 m, nel caso di impossibilità a raggiungere tale profondità la prova non è valida e va ripetuta.
NB. I fori dovranno essere fatti in corrispondenza di giunti di malta in modo da arrecare minor danno possibile all'edificio, una volta eseguita la prova il foro andrà riempito con malta di calce e sabbia con l'ausilio di attrezzi idonei. Totale 7 endoscopie.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:





La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
363 €/Cad.	2555 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna
  - Spessori corticali

L'analisi visiva dell'interno della muratura si vuole caratterizzare in modo approfondito la tipologia costruttiva.

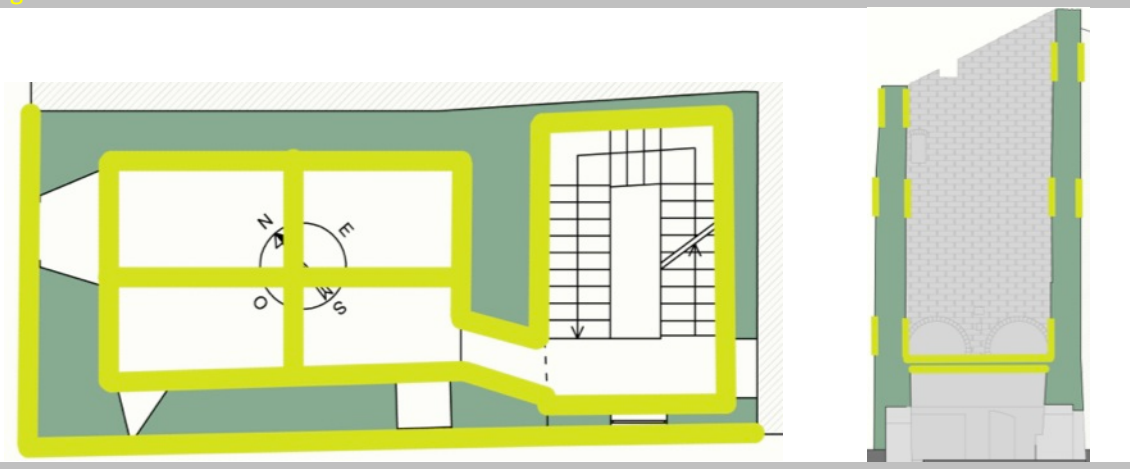
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PAN05
Tipologia di prova	Georadar	Edificio	Torre Pantera

Descrizione dell'intervento

Il georadar deve essere utilizzato lungo tutto il perimetro dell'edificio, sia internamente che esternamente, in modo più possibile continuo. La sonda deve essere fatta scorrere in modo parallelo al suolo ad altezza costante. Il rilievo deve essere condotto a tre livelli: 1 m dal piano di calpestio del piano terra, 1 m dal piano di calpestio della volta e 3 m al di sotto della copertura. Deve essere condotta un rilievo della volta facendo correre lo strumento al centro della volta sia in senso N-S che E-O. Per ogni lettura deve essere indagata una fascia di 20 cm di altezza. Nell'ipotesi che lo strumento sia in grado di leggere una banda di 10 cm a volta, l'operatore dovrà prestare la massima attenzione a rendere continua la lettura nel punto di unione tra le due bande. Totale superficie da indagare circa 36 m^2.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Tempi	Costi unitari
45 €/m^2	1620 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna

Obiettivo della prova è generalizzare il risultato ottenuto con le prove endoscopiche e soniche e definire se il risultato ottenuto sia estendibile all'intero edificio.

I dati analizzati in sito possono richiedere maggiori approfondimenti localizzati. In questo caso è possibile estendere l'analisi anche a zone prossime alle 3 fasce individuate a priori.

Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PAN06
Tipologia di prova	Tomografia	Edificio	Torre Pantera

Descrizione dell'intervento

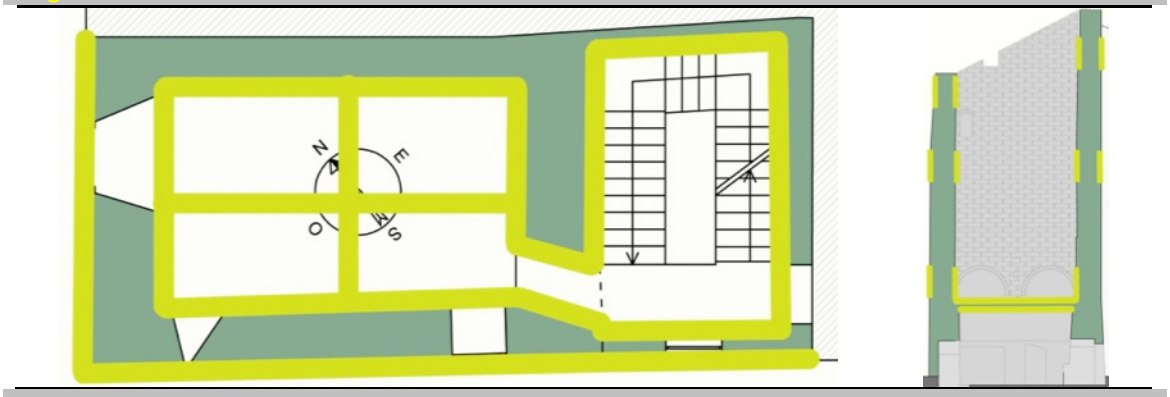
La prova sonica viene effettuta eseguendo letture in superficie lungo tutto il perimetro della torre, con distanza tra i punti di analisi in orizzontale di 50 cm. La medesima prova è eseguita e tre livelli: 1 m dal piano di calpestio del piano terra, 1 m dal piano di calpestio della volta e 1 m al di sotto della copertura. L'analisi deve essere condotta alternando elementi di roccia e giunti di malta.

Livello 1: Perimetro Interno = 20,4+16,9 m – Num. Prove 75 Perimetro Esterno = 18,9 m – Num. Prove 40 prove
Livello 2: Perimetro Interno = 20,4+16,9 m – Num. Prove 75 Perimetro Esterno = 18,9 m – Num. Prove 40 prove
Livello 3: Perimetro Interno = 20,4+16,9 m – Num. Prove 75 Perimetro Esterno = 18,9 m – Num. Prove 40 prove
Volta: Lettura N-S = 3,9 m- Num. 8 Prove Lettura E-O = 6,3 m- Num. 13 Prove

Totale prove: 366 prove

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
15 €/Cad.	5490 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Tipologia del paramento murario
  - Esistenza della muratura a sacco
  - Elementi costituenti il sacco
  - Stato di salute della muratura interna

Obiettivo della prova è generalizzare il risultato ottenuto con le prove endoscopiche e il georadar e definire se il risultato ottenuto sia estendibile all'intero edificio.

I dati analizzati in sito possono richiedere maggiori approfondimenti localizzati. In questo caso è possibile estendere l'analisi anche a zone prossime alle 3 fasce individuate a priori.

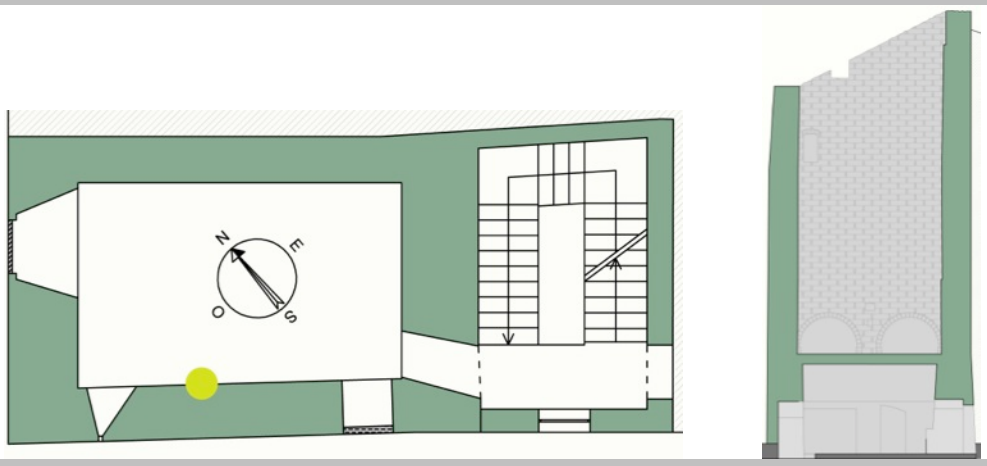
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PAN07
Tipologia di prova	Inclinometro	Edificio	Torre Pantera

Descrizione dell'intervento

In corrispondenza dei punti evidenziati nelle figure sottostanti, devono essere posti gli inclinometri. Si è scelto il fronti inclinato ovvero quello affacciante su Piazza Verdi. Tali prove dovranno essere condotte a tre diverse altezze - 1 m dal piano di calpestio del piano terra, 1 m dal piano di calpestio della volta e 1 m al di sotto della copertura – i sensori dovranno essere posti sulla medesima verticale. Tutti gli strumenti devono essere messi in opera perfettamente solidali alla struttura e esclusivamente sui prospetti interni, così da proteggerli da eventuali vandalismi.
Totale inclinometri: 3.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
123,33 €/Cad.	370 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Cinemetismi dell'edificio
- Variazione della verticalità dell'edificio

L'obiettivo della prova è quello di posizionare degli strumenti che, in modo continuativo e prolungato nel tempo, diano informazioni su quella che è la verticalità dei paramenti murari. Una lettura su base semestrale degli strumenti permette un monitoraggio costante della torre.

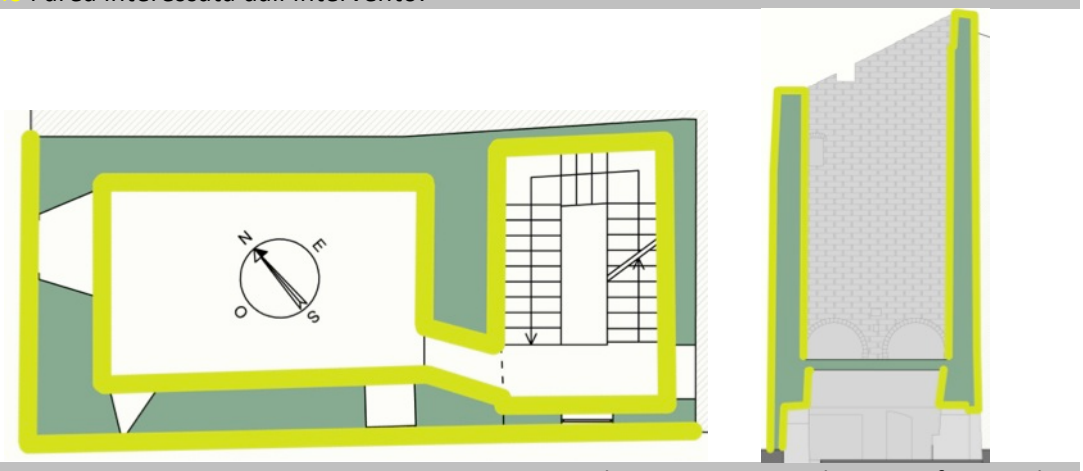
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PAN08
Tipologia di prova	Fessurimetro	Edificio	Torre Pantera

Descrizione dell'intervento

I fessurimetri devono essere posti in corrispondenza di quelle fessure che, a seguito dell'analisi del quadro fessurativo, sono ritenute dal tecnico tali da dover essere monitorate. Per una conoscenza rigorosa dei punti di applicazione di rimanda alle tavole R65-66-67-68-69-70 relativa al quadro fessurativo. Devono essere posizionati in modo che siano solidali alla muratura e nelle parti più basse dell'edificio protetti contro eventuali vandalismi.
Si stima l'utilizzo di 30 fessurimetri lineari e 10 angolari.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:



La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
98,33 €/Cad.	3933,33 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Cinemetismi dell'edificio

L'obiettivo della prova è quello di posizionare dei fessurimetri che, in modo continuativo e prolungato nel tempo, diano informazioni su quello che è il cinematismo dei paramenti murari. Una lettura su base semestrale degli strumenti permette un monitoraggio costante della torre.

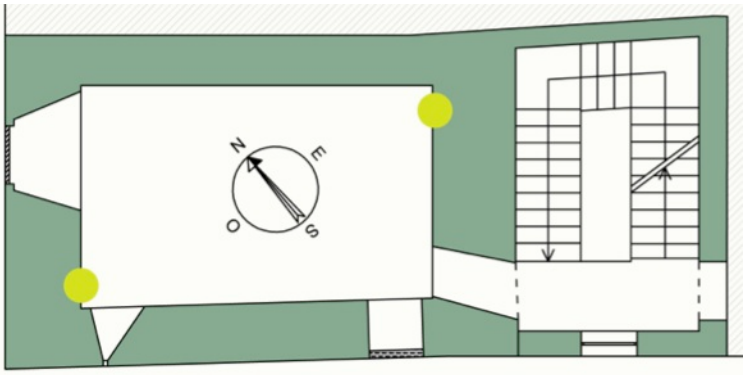
Scheda per Prova Diagnostica		Cod. Scheda	PAN09
Tipologia di prova	Prova dinamica	Edificio	Torre Pantera

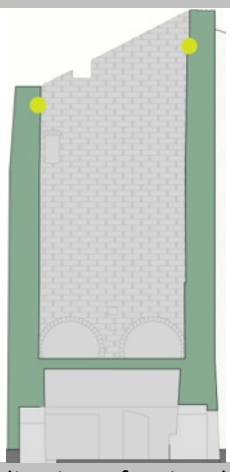
Descrizione dell'intervento

I sismografi sono applicati sui prospetti interni: quello affacciante su Via Rodari e quello ad esso opposto, in modo da avere la massima distanza tra loro. Devono essere messi in opera 1 metro sotto la sommità. La prova richiede che gli strumenti siano resi perfettamente solidali alle pareti e opportunamente protetti dalle intemperie.
Strumenti messi in opera: 2.

Localizzazione dell'intervento

In giallo l'area interessata dall'intervento:





La pianta e la sezione sono indicative e fuori scala.

Costo Unitario	Costo Totale
730,32 €/Cad.	1460,64 €

Risultati attesi

Si vuole ricercare:

- Comportamento dinamico della struttura

I dati dovranno essere analizzati tenendo conto dei dati sul traffico veicolare e ferroviario. La scomposizione delle azioni derivanti dalla ferrovia, dal traffico leggero e pesante permetterà di capire quali siano i fenomeni che arrecano maggiore danno.
Dopo un periodo di monitoraggio iniziale di 2 anni, con letture ogni 3 mesi, in cui si vorrà capire lo stato di salute della struttura, i sismografi verranno lasciati in opera e serviranno come monitoraggio per eventi critici come urti e terremoti o a fornire informazioni semestrali.