

**POLITECNICO DI MILANO**  
**FACOLTÀ DI ARCHITETTURA URBANISTICA INGEGNERIA DELLE COSTRUZIONI**  
**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN ARCHITETTURA**



**L'EX CHIESA DI SAN NICOLAO A BELLANO**  
**Metodi di misura del contenuto di umidità nelle murature e progetto di**  
**un nuovo allestimento museale**

**Relatore: Prof. Davide DEL CURTO**

**Correlatore: Luca Pietro VALISI**

**Tesi di**  
**Alberto PREMOLI**  
**Matricola 816028**

**Anno Accademico 2014–2015**



# INDICE

INDICE DELLE TABELLE .....	VII
INDICE DELLE FIGURE .....	IX
INDICE DEI GRAFICI.....	XIII
INDICE DELLE TAVOLE .....	XV
ABSTRACT .....	17
INTRODUZIONE .....	19
<b>1. L'UMIDITÀ NELLE MURATURE: CARATTERI, FENOMENI, RIMEDI.....</b>	<b>21</b>
1.1 IL "PROBLEMA IGIENICO" DEI LOCALI.....	21
1.2 LE PROPRIETÀ DEI MATERIALI E LE CARATTERISTICHE DEI PRINCIPALI FENOMENI .....	23
1.2.1 La capillarità.....	23
1.2.2 La porosità e l'utilizzo dei materiali nell'edilizia storica .....	24
1.2.3 Imbibizione e adescamento .....	26
1.2.4 L'evaporazione dei materiali umidi .....	27
1.3 L'UMIDITÀ NEGLI EDIFICI ESISTENTI: CARATTERI, CAUSE, SINTOMI.....	30
1.4 L'UMIDITÀ DA INVASIONE .....	30
1.4.1 L'umidità dal sottosuolo.....	31
1.4.2 Il comportamento dei materiali da costruzione.....	32
1.4.3 I metodi contro l'umidità da risalita .....	34
1.5 L'UMIDITÀ DA CONDENSAZIONE .....	45
1.5.1 Il comportamento dei materiali da costruzione.....	46
1.5.2 Il fenomeno nelle diverse stagioni.....	48
1.5.3 Ventilazione, riscaldamento e riduzione dei ponti termici .....	51
1.6 L'ACQUA DA "PIOGGIA A VENTO" .....	53
<b>2. IL RAPPORTO TRA ACQUA ED EDIFICIO NEI TRATTATI STORICI.....</b>	<b>57</b>
2.1 I TRATTATI .....	57
2.1.1 <i>De architectura</i> di Marco Vitruvio Pollione, nell'edizione di Daniele Barbaro (1567) .....	57
2.1.2 <i>De re aedificatoria</i> di Leon Battista Alberti, nell'edizione di Cosimo Bartoli (1565) .....	59
2.1.3 <i>I Principj di architettura civile</i> di Francesco Milizia (1781) .....	61
2.2 LE CAUSE DEI VIZI E I METODI DI INTERVENTO: PREVENZIONE E RESTAURO .....	62
2.3 LA PREVENZIONE: I MATERIALI E LE TECNICHE COSTRUTTIVE .....	64
2.3.1 La scelta de' luoghi sani .....	67
2.3.2 Le fondazioni nei terreni umidi .....	70
2.3.3 Le pietre .....	72
2.3.4 I mattoni .....	75
2.3.5 Il gesso, le calci e le malte .....	79
2.3.6 Le murature .....	86
2.4 IL RESTAURO: GUASTI, VIZI, SOLUZIONI.....	91
2.4.1 <i>De architectura</i> .....	91
2.4.2 <i>De re aedificatoria</i> .....	93
2.4.3 <i>Principij di architettura civile</i> .....	98
<b>3. IL RISANAMENTO DELLE MURATURE NEI MANUALI DEL XIX SECOLO .....</b>	<b>101</b>
3.1 L'OTTOCENTO.....	101
3.2 IL TRATTATO TEORICO E PRATICO DELL'ARTE DI EDIFICARE DI JEAN BAPTISTE RONDELET (1802–1817) .....	103

3.2.1	<i>I materiali da costruzione</i> .....	104
3.2.2	<i>Le tecniche costruttive: fondazioni, murature, coperture</i> .....	107
3.2.3	<i>La prevenzione e il risanamento dei guasti causati dall'umidità</i> .....	112
3.3	<b>IL MANUALE PRATICO PER L'ESTIMAZIONE DEI LAVORI ARCHITETTONICI, STRADALI, IDRAULICI E DI FORTIFICAZIONI PER L'USO DEGLI INGEGNERI, DI GIOVANNI PEGORETTI (1864)</b> .....	113
3.3.1	<i>I materiali da costruzione</i> .....	115
3.3.2	<i>Le tecniche costruttive contro l'umidità</i> .....	118
<b>4.</b>	<b>BELLANO E L'EX CHIESA DI SAN NICOLAO</b> .....	<b>125</b>
4.1	BELLANO E IL LAGO DI COMO .....	125
4.2	BELLANO NELLA CARTOGRAFIA STORICA .....	132
4.3	L'EX CHIESA DI SAN NICOLAO E L'ORDINE DEGLI UMILIATI .....	136
4.4	LA CHIESA: L'ARCHITETTURA E L'APPARATO DECORATIVO .....	140
4.4.1	<i>Le fasi storico-costruttive</i> .....	140
4.4.2	<i>L'apparato decorativo</i> .....	155
<b>5.</b>	<b>IL MONITORAGGIO MICROCLIMATICO E LA MISURA DEL CONTENUTO UMIDO NELLE MURATURE</b> .....	<b>161</b>
5.1	OBIETTIVI .....	161
5.2	I METODI DI MISURAZIONE DEL <i>MOISTURE CONTENT</i> .....	161
5.2.1	<i>Per una definizione di MC</i> .....	162
5.2.2	<i>Il metodo gravimetrico (oven-dry method) e i metodi secondari</i> .....	164
5.2.3	<i>L'equilibrio dell'UR: il metodo proxy</i> .....	167
5.3	IL METODO GRAVIMETRICO: LA STRUMENTAZIONE E LA SUA TARATURA .....	168
5.4	IL SISTEMA DI MONITORAGGIO CONTINUO NELL'EX CHIESA DI SAN NICOLAO .....	176
5.4.1	<i>Il monitoraggio micro-climatico ambientale</i> .....	176
5.4.2	<i>Il monitoraggio in continuo</i> .....	197
5.4.3	<i>I sistemi di misura e di monitoraggio dell'umidità nelle murature: il confronto fra quattro metodi</i> .....	205
5.4.4	<i>Le norme UNI</i> .....	216
5.4.5	<i>Elaborazione e analisi dei dati</i> .....	218
<b>6.</b>	<b>IL PROGETTO DI CONSERVAZIONE</b> .....	<b>227</b>
6.1	OBIETTIVI .....	227
6.2	I PRINCIPALI FENOMENI DI DEGRADO .....	227
6.2.1	<i>Le principali cause di degrado</i> .....	227
6.2.2	<i>La temperatura</i> .....	228
6.2.3	<i>La luce e l'illuminazione</i> .....	230
6.2.4	<i>Il degrado causato dall'acqua e dall'umidità</i> .....	233
6.3	L'INDAGINE SULLE CAUSE DI DEGRADO DOVUTO ALL'ACQUA .....	237
6.3.1	<i>Il protocollo d'indagine</i> .....	237
6.3.2	<i>Le ipotesi sulle cause di degrado dovuto all'acqua</i> .....	240
6.3.3	<i>Le cause di degrado in altri edifici storici di Bellano</i> .....	250
6.4	IL PROGETTO DI CONSERVAZIONE PROPOSTO .....	252
6.4.1	<i>La filosofia di intervento</i> .....	252
6.4.2	<i>Prima fase</i> .....	255
6.4.3	<i>Seconda fase</i> .....	261
6.4.4	<i>Terza fase</i> .....	270
6.4.5	<i>Quarta fase</i> .....	277
<b>7.</b>	<b>IL PROGETTO DI UN NUOVO ALLESTIMENTO MUSEALE</b> .....	<b>287</b>

7.1	UN MUSEO NELLA CHIESA DI SAN NICOLAO .....	287
7.2	IL MUSEO INTERNO E IL RAPPORTO CON LA TRADIZIONE NEGLI ANNI CINQUANTA ITALIANI.....	290
7.3	CINQUE ESEMPI .....	293
7.3.1	<i>Il Museo del Tesoro di San Lorenzo a Genova (Franco Albini e Franca Helg, 1952–1954; GTRF Associati, 1996–2006)</i> .....	293
7.3.2	<i>Il Kolumba Museum a Colonia (Peter Zumthor, 2003–2007)</i> .....	297
7.3.3	<i>Il Museo Archeologico di Cremona (GTRF Associati, 2008)</i> .....	300
7.3.4	<i>Il Museo del Duomo di Milano (Ernesto Brivio, 1960 – Guido Canali, 2013)</i> .....	304
7.3.5	<i>Le Collezioni Grassi e Vismara nella Galleria d'Arte Moderna di Milano (Ignazio Gardella, 1955 – Studio Gardella e Valter Palmieri, 2014)</i> .....	308
7.4	BENESSERE DEI VISITATORI VS CONSERVAZIONE .....	311
7.4.1	<i>Temperatura e UR: il riscaldamento e la ventilazione</i> .....	311
7.4.2	<i>Le diverse tipologie di riscaldamento</i> .....	316
7.4.3	<i>L'illuminazione</i> .....	321
7.4.4	<i>Il ricambio dell'aria e la pulizia degli ambienti</i> .....	322
7.4.5	<i>L'affluenza del pubblico</i> .....	323
7.4.6	<i>Due metodi a confronto: gli standard ottimali e l'intervallo obiettivo</i> .....	324
7.5	IL PROGETTO DI UN NUOVO ALLESTIMENTO MUSEALE .....	330
7.5.1	<i>Il programma funzionale</i> .....	330
7.5.2	<i>Le integrazioni pittoriche</i> .....	331
7.5.3	<i>L'esposizione delle opere</i> .....	332
7.5.4	<i>I sistema HVAC</i> .....	333
	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>335</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>337</b>



## INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1. MASSIME PERCENTUALI PONDERALI D'ACQUA CHE PUÒ CONTENERE UNA STRUTTURA DAL PUNTO DI VISTA IGIENICO, DA G. E I. MASSARI, <i>OP. CIT.</i> , P. 64.....	23
TABELLA 2. PERCENTUALI D'ACQUA DI CUI SI IMBIBISCONO ALCUNI MATERIALI DA COSTRUZIONE QUANDO SONO TOTALMENTE IMMERSI RIFERITE AL VOLUME DEL CAMPIONE, DA G. E I. MASSARI, <i>OP. CIT.</i> , P. 26.....	26
TABELLA 3. CONTENUTO PERCENTUALE D'ACQUA IN VOLUME DI CAMPIONI IMMERSI NELL'ACQUA PER 1/5 DELLA LORO ALTEZZA (ACQUA ASSORBITA NELLA QUINTA PARTE DELL'ALTEZZA), DA G. E I. MASSARI, <i>OP. CIT.</i> , P. 32.....	27
TABELLA 4. DIFFERENZE FRA UMIDITÀ ASCENDENTE E CONDENSAZIONE, DA G. E I. MASSARI, <i>OP. CIT.</i> , P. 6.....	30
TABELLA 5. DIFFERENZE FRA UMIDITÀ DA ACQUA DISPERSA E DA ACQUA <i>FREATICA</i> .....	31
TABELLA 6. RAPPORTO FRA SUPERFICIE EVAPORANTE E QUELLA ASSORBENTE E RELATIVI <i>INDICI DI SALITA</i> IN ALCUNI ELEMENTI ARCHITETTONICI.....	33
TABELLA 7. DIFFERENZE FRA MATERIALI CAPILLARI E ANTI-CAPILLARI.....	47
TABELLA 8. PROPORZIONI DELLE COMPONENTI PER LA CONFEZIONE DELLE MALTE.....	83
TABELLA 9. SEQUENZA TEMPORALE, FONTI DIRETTE E INDIRETTE.....	141
TABELLA 10. CAMPIONI ESTRATTI IN DATA 17 GIUGNO 2015: RISULTATI DELLE PROVE GRAVIMETRICHE.....	206
TABELLA 11. METODO PPM: RISULTATI DEL MONITORAGGIO 17/06/2015 — 02/10/2015.....	209
TABELLA 12. ESTRATTO DELL'APPENDICE A, NORMA UNI 10829:1999.....	217
TABELLA 13. QUESTIONARI D'INDAGINE DELLE CAUSE DEI FENOMENI DI DEGRADO, RIELABORAZIONE DELL'AUTORE DA C. AGHEMO, E. CIRILLO, I. FATO E M. FILIPPI, L'UMIDITÀ NELLE MURATURE: UNA METODOLOGIA DI INDAGINE, IN <i>RECUPERARE</i> N. 7, SETTEMBRE 1991, PP. 574-579.....	237
TABELLA 14. LIVELLI DI UR IN RELAZIONE ALLE CARATTERISTICHE CLIMATICHE DI PROGETTO, DA G. THOMSON, <i>OP. CIT.</i> , P. 88.....	314
TABELLA 15. VALORI DI ILLUMINAZIONE MASSIMA RACCOMANDATA PER GLI SPAZI MUSEALI, DA G. THOMSON, <i>OP. CIT.</i> , P. 23.....	322
TABELLA 16. CONDIZIONI INTERNE OTTIMALI PER I PRINCIPALI MUSEI NAZIONALI, NUOVI ED ESISTENTI, DA G. THOMSON, <i>OP. CIT.</i> , P. 268.....	324
TABELLA 17. CATEGORIE DI BENI E PARAMETRI DI RIFERIMENTO SECONDO LA NORMA UNI 10829:1999.....	325
TABELLA 18. LINEE-GUIDA DELL'ASHRAE PER IL CONTROLLO CLIMATICO DI MUSEI, GALLERIE, ARCHIVI E BIBLIOTECHE.....	326





## INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1. DIAGRAMMI DI KETTENACKER PER UNA PARETE MOLTO UMIDA, CON ACQUA AL 17% DEL PROPRIO PESO (SINISTRA), E POCO UMIDA, CON ACQUA AL 4,5% (DESTRA), DA G. E I. MASSARI, <i>OP. CIT.</i> , P. 60. ....	22
FIGURA 2. LE DUE FASI DI PROSCIUGAMENTO DI UN MATERIALE UMIDO POROSO SECONDO KRISCHER E GÖRLING, DA G. E I. MASSARI, <i>OP. CIT.</i> , P. 33. ....	28
FIGURA 3. COME SI DISTRIBUISCE L'ACQUA DI INVASIONE IN UN MURO DI MATTONI, DA G. E I. MASSARI, <i>OP. CIT.</i> , PAG. 5. ....	31
FIGURA 4. GRAFICI DELL'ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA SUPERFICIALE T E DEL PUNTO DI RUGIADA DP ATTRAVERSO UNA MURATURA PERIMETRALE DI UN EDIFICIO RISCALDATO NEL PERIODO INVERNALE: LE PARTI INDICATE CON COLORE ARANCIONE SONO PIÙ CALDE DEL DP (E QUINDI ASCIUTTE), QUELLE CON COLORE AZZURRO PIÙ FREDDI. DA D. CAMUFFO, <i>MICROCLIMATE FOR CULTURAL HERITAGE</i> , P. 234. ....	49
FIGURA 5. TIPOLOGIE DI MATTONI E TESSITURE MURARIE SECONDO I GRECI E I ROMANI (DA VITRUVIO, <i>OP. CIT.</i> , LIBRO II CAPO II) ....	77
FIGURA 6. LA SOLUZIONE VITRUVIANA DELLA DOPPIA PARETE NEL CASO DI MURATURE UMIDE, DA F. GIULIANI CAIROLI, <i>OP. CIT.</i> , P. 205. ....	91
FIGURA 7. «DIVERSI APPARECCHI CONOSCIUTI E ADOPERATI DAGLI ANTICHI, NELLA COSTRUZIONE DEI MURI» .....	109
FIGURA 8: «DIVERSE MANIERE DI COMBINARE QUESTI MATTONI PER FORMARE MURI, DIVISIONI E TRAMEZZI». .....	111
FIGURA 9. <i>LARI LACUS VULGO/COMENSIS DESCRIPTIO/AUCT. PAULO JOVIO</i> , CARTA GEOGRAFICA DEL LAGO DI COMO PUBBLICATA AD ANVERSA TRA IL 1570 E IL 1612, DA B. GIOVIO, <i>HISTORIÆ PATRIÆ LIBRI DUO</i> , EDIZIONI NEW PRESS, COMO 1982, P. 43. ....	125
FIGURA 10. A SINISTRA: <i>LACUS COMENSIS OLIM LARIUS</i> , DALL'EDIZIONE DEL <i>THEATRUM ORBIS TERRARUM</i> DI ABRAHAM ORTELIUS (ANVERSA, 1667). A DESTRA: <i>BERTIUS PETRUS. DESCRIPTIO LACUS COMENSIS</i> , AMSTERDAM 1610. DA B. GIOVIO, <i>OP. CIT.</i> , P. 138. ....	126
FIGURA 11. <i>BELLANO. CAPO DI PIEVE, CON LINZANICO, OMBRIAGO, RONZANO, BIOSIO, PRADELLO, GORIO, PEDAGLIO E VERGINATO. RIVIERA DI LECCO</i> . CATASTO TERESIANO O DI CARLO VI, 1722 (ARCHIVIO DI STATO DI COMO).....	132
FIGURA 12. <i>BORGO DI BELLANO. CAPO DI PIEVE. RIVIERA DI LECCO</i> . CATASTO TERESIANO O DI CARLO VI, 1722 (ARCHIVIO DI STATO DI COMO).....	133
FIGURA 13. <i>FRONTESPIZIO E QUADRO D'UNIONE</i> . CATASTO LOMBARDO-VENETO, 1860 (ARCHIVIO DI STATO DI COMO).....	134
FIGURA 14. <i>ALLEGATO ALLA MAPPA, FOGLIO 18</i> . CATASTO LOMBARDO-VENETO, 1860 (ARCHIVIO DI STATO DI COMO).....	135
FIGURA 15. <i>FOGLIO 18</i> . CESSATO CATASTO, 1898 (ARCHIVIO DI STATO DI COMO).....	135
FIGURA 16. CONFRONTO DELLO STATO DI CONSERVAZIONE DEGLI ELEMENTI DELLA PARETE MERIDIONALE: A SX, FOTO DA O. ZASTROW, <i>OP. CIT.</i> , P. 83; A DX, FOTO DELL'AUTORE. ....	145
FIGURA 17. MURATURA PERIMETRALE SUD — DETTAGLIO 1 (FOTO DELL'AUTORE). ....	145
FIGURA 18. MURATURA PERIMETRALE SUD — DETTAGLIO 2 (FOTO DELL'AUTORE). ....	146
FIGURA 19. CONFRONTO FRA LA MONOFORA DI SAN NICOLAO (A SX) E DI SAN GIORGIO, NAZARO E CELSO (A DX), FOTO DELL'AUTORE.....	147
FIGURA 20. MURATURA PERIMETRALE SUD — DETTAGLIO 3 (CONFRONTO FRA FOTOGRAMMA ESTERNO E TERMOGRAMMA INTERNO, FOTO DELL'AUTORE). ....	148
FIGURA 21. MURATURA PERIMETRALE SUD — DETTAGLIO DELLA SUPERFICIE INTERNA (FOTO DELL'AUTORE). ....	149
FIGURA 22. MURATURA PERIMETRALE SUD — DETTAGLIO 4 (FOTO DELL'AUTORE). ....	149

FIGURA 23. MURATURA RIVOLTA A NORD (ALTO SX), MURATURA INTERNA DI DIVISIONE (ALTO DX) E MURATURA RIVOLTA A OVEST (BASSO), FOTO DELL'AUTORE. ....	150
FIGURA 24. TERMOGRAMMI DELLE MURATURE OVEST ED EST, DA C. RASICA, <i>OP. CIT.</i> , PP. 119–121.....	151
FIGURA 25. RAPPORTO TRA RESISTENZA ELETTRICA NEL LEGNO E MC. I VALORI VARIANO REGOLARMENTE, E DIMINUISCONO IN PRESENZA DI ACQUA DI LEGAME. DOPO IL PUNTO DI SATURAZIONE DELLE FIBRE (FSP), IL MECCANISMO SUBISCE UNA VARIAZIONE REPENTINA A CAUSA DELLA PRESENZA CRESCENTE DI ACQUA LIBERA, DA D. CAMUFFO, <i>OP. CIT.</i> , P. 456.....	165
FIGURA 26. SEZIONI ORIZZONTALI CON LA RAPPRESENTAZIONE DELLE ISOLINEE RELATIVE ALLA TEMPERATURA, ALL'UMIDITÀ RELATIVA E ALL'UMIDITÀ SPECIFICA. 02 OTTOBRE 2015, ORE 10. ....	190
FIGURA 27. SEZIONI ORIZZONTALI CON LA RAPPRESENTAZIONE DELLE ISOLINEE RELATIVE ALLA TEMPERATURA, ALL'UMIDITÀ RELATIVA E ALL'UMIDITÀ SPECIFICA. 02 OTTOBRE 2015, ORE 14. ....	191
FIGURA 28. SEZIONI ORIZZONTALI CON LA RAPPRESENTAZIONE DELLE ISOLINEE RELATIVE ALLA TEMPERATURA, ALL'UMIDITÀ RELATIVA E ALL'UMIDITÀ SPECIFICA. 13 GENNAIO 2016, ORE 10. ....	193
FIGURA 29. SEZIONI ORIZZONTALI CON LA RAPPRESENTAZIONE DELLE ISOLINEE RELATIVE ALLA TEMPERATURA, ALL'UMIDITÀ RELATIVA E ALL'UMIDITÀ SPECIFICA. 13 GENNAIO 2016, ORE 13. ....	194
FIGURA 30. SEZIONI ORIZZONTALI CON LA RAPPRESENTAZIONE DELLE ISOLINEE RELATIVE ALLA TEMPERATURA, ALL'UMIDITÀ RELATIVA E ALL'UMIDITÀ SPECIFICA. 31 MARZO 2016, ORE 11. ....	196
FIGURA 31. SCHEMA DI PRELIEVO DEI CAMPIONI DI MURATURA. ....	206
FIGURA 32. DIAGRAMMI DEL CONTENUTO UMIDO DEI PROVINI A. ....	207
FIGURA 33. DIAGRAMMI DEL CONTENUTO UMIDO DEI PROVINI A, DISTRIBUZIONE IN SEZIONE. ....	207
FIGURA 34. DIAGRAMMI DEL CONTENUTO UMIDO DEI PROVINI B. ....	208
FIGURA 35. DIAGRAMMI DEL CONTENUTO UMIDO DEI PROVINI B, DISTRIBUZIONE IN SEZIONE. ....	208
FIGURA 36. SCHEMA DI UN <i>FREE-WATER SENSOR</i> , DA D. CAMUFFO, <i>OP. CIT.</i> , P. 463. ....	210
FIGURA 37. RAPPRESENTAZIONE DELLO STATO DI UMIDITÀ DI UNA PARETE INTERNA (A SX) E DI UNA PARETE PERIMETRALE (A DX) TRAMITE DIAGRAMMI DELLE SEZIONI, DA G. E I. MASSARI, <i>OP. CIT.</i> , PP. 49–51.....	238
FIGURA 38. DIAGRAMMA DELLA DISTRIBUZIONE TRASVERSALE DELL'UMIDITÀ DALLA FACCIA INTERNA ALL'ESTERNA, NELLA SEZIONE ORIZZONTALE, DI UN MURO, DI BUONA CONDUCIBILITÀ CAPILLARE, A SECONDA DELL'ORIGINE DELL'ACQUA, DA G. E I. MASSARI, <i>OP. CIT.</i> , PP. 54.....	239
FIGURA 39. CHIESA DEI SS. GIORGIO, NAZARO E CELSO. PARTICOLARE DI UNA DELLE IMPOSTE IN PIETRA DI VARENNA DEGLI ARCHI INTERNI (FOTO DELL'AUTORE).....	250
FIGURA 40. CHIESA DEI SS. GIORGIO, NAZARO E CELSO, BELLANO. PARTICOLARE DEL SISTEMA DI “TAGLIO CHIMICO” (FOTO DELL'AUTORE).....	251
FIGURA 41. CHIESA DI SANTA MARTA, BELLANO. PARTICOLARE DEL SISTEMA DI “TAGLIO CHIMICO” (FOTO DELL'AUTORE). ....	251
FIGURA 42. FORMAZIONE DI BARRIERA CHIMICA IDROFOBIZZANTE, DA S. FRANCESCHI, L. GERMANI, <i>OP. CIT.</i> , P. 261. ....	273
FIGURA 43. PIANTA E SEZIONE TRASVERSALE DEL MUSEO DEL TESORO DI SAN LORENZO A GENOVA, SOLUZIONE DEFINITIVA. ....	294
FIGURA 44. MUSEO DEL TESORO DI SAN LORENZO, GENOVA (FOTO TRATTE DA A. HUBER, <i>OP. CIT.</i> , PP. 102–107). ....	296
FIGURA 45. KOLUMBA MUSEUM, COLONIA, DA WWW.KOLUMBA.DE.....	299
FIGURA 46. PIANTA DELLA CHIESA DI SAN LORENZO E DELL'ALLESTIMENTO DEL MUSEO ARCHEOLOGICO, DA WWW.GTRF.IT .....	301
FIGURA 47. MUSEO ARCHEOLOGICO DI SAN LORENZO, CREMONA (FOTO DELL'AUTORE).....	303
FIGURA 48. MUSEO DEL DUOMO DI MILANO (FOTO DELL'AUTORE).....	307
FIGURA 49. PIANTA DELLA COLLEZIONE GRASSI-VISMARA, PIANO SECONDO DELLA GALLERIA D'ARTE MODERNA, DA WWW.GAM-MILANO.COM/IT/LE-COLLEZIONI/IL-PERCORSO-ESPOSITIVO. ....	308
FIGURA 50. COLLEZIONI GRASSI-VISMARA, GALLERIA D'ARTE MODERNA, MILANO (FOTO DELL'AUTORE). ....	310
FIGURA 51. DA D. CAMUFFO, <i>MICROCLIMATE FOR CULTURAL HERITAGE</i> , P. 328. ....	312

FIGURA 52. SCHEMA DI <i>VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA</i> , DA P. KLENZ LARSEN, M. WESSBERG, T. BROSTROM, <i>ADAPTIVE VENTILATION FOR OCCASIONALLY USED CHURCHES</i> , 3 <sup>RD</sup> EUROPEAN WORKSHOP ON CULTURAL HERITAGE PRESERVATION, EWCHP 2013, P. 55. ....	316
FIGURA 53. CONFRONTO TRA I VALORI DI US MEDI INTERNI ED ESTERNI RILEVATI IL 02 OTTOBRE 2015 E IL 13 GENNAIO 2016. ....	317
FIGURA 54. LIMITI DI FORMAZIONE DI MUFFA (LINEA ROSSA), PERIODO 17 GIUGNO 2015 — 31 MARZO 2016. ....	326



## INDICE DEI GRAFICI

Grafico 4.1. Stato di fatto: prospetto sud .....	144
Grafico 4.2. Stato di fatto: apparato decorativo/1 .....	155
Grafico 4.3. Stato di fatto: apparato decorativo/2 .....	156
Grafico 4.4. Stato di fatto: apparato decorativo/3 .....	157
Grafico 4.5. Apparato decorativo: esempi e riferimenti .....	159
Grafico 5.1. Sonda 132: grafici dell'andamento di Temperatura e UR, 19/06/2015 — 31/03/2016 .....	199
Grafico 5.2. Sonda 133: grafici dell'andamento di Temperatura e UR, 19/06/2015 — 31/03/2016 .....	200
Grafico 5.3. Sonda 134: grafici dell'andamento di Temperatura e UR, 19/06/2015 — 31/03/2016 .....	201
Grafico 5.4. Sonda 135: grafici dell'andamento di Temperatura e UR, 19/06/2015 — 31/03/2016 .....	202
Grafico 5.5. Sonda 128: grafici dell'andamento di Temperatura e UR, 19/06/2015 — 31/03/2016 .....	204
Grafico 5.6. Sonda 129: grafici dell'andamento di Temperatura e UR, 19/06/2015 — 31/03/2016 .....	213
Grafico 5.7. Sonda 130: grafici dell'andamento di Temperatura e UR, 19/06/2015 — 31/03/2016 .....	214
Grafico 5.8. Sonda 131: grafici dell'andamento di Temperatura e UR, 19/06/2015 — 31/03/2016 .....	215
Grafico 5.9. Sovrapposizione grafici dell'andamento di Temperatura e UR delle sonde <i>RHS</i> all'interno delle murature .....	218
Grafico 5.10. Sovrapposizione grafici dell'andamento di Temperatura e UR delle sonde ambientali .....	219
Grafico 5.11. Sovrapposizione grafici dell'andamento di Temperatura e UR delle sonde ambientali — Dettaglio 1 .....	220
Grafico 5.12. Sovrapposizione grafici dell'andamento di Temperatura e UR delle sonde ambientali — Dettaglio 2 .....	221
Grafico 5.13. Calcolo della Temperatura di Rugiada ambientale (sonda 134) .....	222
Grafico 5.14. Sovrapposizione grafici dell'andamento di Temperatura delle sonde ambientali — Ottobre/1 .....	223
Grafico 5.15. Sovrapposizione grafici dell'andamento di Temperatura delle sonde ambientali — Ottobre/2 .....	224
Grafico 5.16. Sovrapposizione grafici dell'andamento di Temperatura delle sonde ambientali — Gennaio .....	225
Grafico 5.17 Escursioni giornaliere sonde 134–135 .....	226
Grafico 6.1. Schema di degrado 1 .....	248
Grafico 6.2. Schema di degrado 2 .....	249
Grafico 7.1. Intervallo obiettivo UR sonda 134 .....	329



## **INDICE DELLE TAVOLE**

TAVOLA 1. Stato di fatto: planimetria; pianta del piano terra (+1,00 m); sezione C-C'; sezione D-D'; sezione E-E'; Prospetto Nord; Prospetto Sud.

TAVOLA 2. Stato di fatto: pianta del piano terra (+ 3,00 m); pianta della copertura; sezione A-A'; sezione B-B'; sezione F-F'; Prospetto Est; Prospetto Ovest.

TAVOLA 3. Stato di fatto: rilievo del degrado.





## ABSTRACT

Lo scopo di questo lavoro è quello di illustrare la campagna di monitoraggio svolta tra giugno 2015 e aprile 2016 nell'ex chiesa di San Nicolao a Bellano (Lecco). Il lavoro di ricerca è stato sviluppato in tre fasi: la ricerca storico-archivistica; il monitoraggio micro-climatico ambientale in continuo dell'edificio e il confronto tra quattro diversi metodi di misura del contenuto umido delle murature (metodo gravimetrico, metodo dei *punti permanenti di misura PPM*, monitoraggio in continuo e tramite *free-water sensors*); il rilievo del degrado e il progetto di un nuovo allestimento museale temporaneo. L'edificio, legato fin dalla sua costruzione alla Congregazione degli Umiliati, ha subito a partire dalla metà del XVI secolo trasformazioni architettoniche e funzionali che ne hanno fatto un ricco palinsesto storico e decorativo, *simbolo* dell'architettura lecchese e della Valsassina; l'incuria degli ultimi anni unita all'azione dell'acqua nelle sue diverse forme ne hanno compromesso non solo la possibilità di utilizzo permanente ma anche e soprattutto l'integrità delle sue parti costituenti. Partendo dall'analisi dell'umidità nell'ambiente e nelle murature, obiettivi sono lo studio degli strumenti di monitoraggio più efficaci per la conservazione delle strutture e l'adeguata progettazione degli ambienti per il recupero dell'edificio.

Parole chiave: Bellano, San Nicolao, monitoraggio micro-climatico, contenuto umido, misura del contenuto umido delle murature



## INTRODUZIONE

L'acqua è una delle cause principali di degrado delle murature, specialmente nel caso di edifici storici. Gli interventi di conservazione del patrimonio edilizio per la risoluzione di questa particolare causa sono legati a due temi: l'inibizione e l'interruzione delle principali fonti di degrado tramite metodi adeguati più o meno *impattanti*, e la misura del contenuto umido interno delle murature tramite diverse tecniche e strumenti.

Gli effetti dell'umidità sono da analizzare attentamente non solo per pianificare e attuare la migliore conservazione delle strutture architettoniche e/o delle opere d'arte custodite all'interno di un edificio, ma anche per definire le condizioni micro-climatiche più adatte per la salvaguardia degli oggetti storici e il comfort dei visitatori.

*La qualifica "locale umido" viene usata di continuo senza una scala di riferimento, cosicché l'aggettivo vale egualmente per tutti gli ambienti e per tutte le murature comunque caricate di umidità [...] In tal modo l'apprezzamento qualitativo del fenomeno resta affidato all'impressione personale dell'osservatore, ma non tradotto obiettivamente in cifre, a differenza di quanto in opera per qualunque problema tecnicamente definito. Con le misure si riporta ad una graduazione numerica il significato, altrimenti nebuloso e talvolta litigioso di "locale umido"<sup>1</sup>.*

Negli ultimi anni per la deumidificazione delle murature sia in campo dell'edilizia tradizionale sia in quello dell'edilizia storica sono comparsi sul mercato diversi dispositivi elettro-osmotici, "sostituti" delle tecniche fisico-chimiche utilizzate in passato ma distruttive delle strutture storiche. I principi di funzionamento di questi nuovi dispositivi disponibili in rete non sono spesso adeguatamente supportati da alcune considerazioni preliminari utili per la comprensione del problema dell'umidità in edilizia e specificatamente nelle murature. Ad esempio: *Cosa si intende per locale umido, e quando è dannoso per le persone?, Quali sono le scale di riferimento dell'umidità all'interno di un locale?, oppure ancora Come questa umidità può essere calcolata? I metodi oggi disponibili per eliminare il problema sono applicabili utilmente nel campo della conservazione?*

La definizione di "problema igienico" di un locale appare infatti legato non solo allo studio dei materiali di costruzione, delle murature e delle loro caratteristiche storiche e costruttive, ma anche alla specifica misurazione della quantità d'acqua all'interno delle stesse.

La prima parte della ricerca è il tentativo di dare una risposta a questi quesiti. Il primo capitolo riguarda la descrizione dei diversi tipi di umidità riscontrabili negli edifici storici e l'esposizione dei principali dispositivi applicabili contro l'umidità, mentre nel secondo e nel terzo capitolo sono analizzati i materiali da costruzione più utilizzati dedotti dai principali trattati storici.

---

<sup>1</sup> G. e I. MASSARI, *Risanamento igienico dei locali umidi*, Hoepli, Milano 1985, p. 2.

La seconda parte riguarda invece più specificatamente l'edificio oggetto di intervento, l'ex chiesa di San Nicolao a Bellano, descritto nel capitolo quarto. Il capitolo successivo tratta invece l'analisi e il confronto tra i diversi metodi di misurazione del contenuto d'acqua all'interno delle murature tramite la descrizione del procedimento utilizzato nelle strutture dell'edificio. Negli ultimi due capitoli sono infine descritti il piano (preliminare) di conservazione delle strutture architettoniche dell'edificio e il progetto dell'ex chiesa *ri*-adattata a spazio museale.

# 1. L'UMIDITÀ NELLE MURATURE: CARATTERI, FENOMENI, RIMEDI

## 1.1 Il “problema igienico” dei locali

*Quando un locale può definirsi insalubre a causa dell'umidità del suo involucro?* è una delle domande secondo noi tra le più importanti per analizzare la questione dell'umidità nelle murature. È innegabile che il problema riconosciuto generalmente come “umidità” si relazioni in diversi modi con le strutture e con gli elementi d'involucro degli ambienti: prima di poter rispondere al quesito è necessaria una rapida indagine sul rapporto “acqua/murature”. Nella prima parte di questo paragrafo si tratteranno le caratteristiche fisiche dei principali materiali da costruzione, nella seconda invece il rapporto tra involucro edilizio e persone.

Nelle murature delle costruzioni tradizionali di nuova realizzazione, prima dell'inizio del prosciugamento, l'acqua è presente in misura variabile dal 20 al 25% del loro volume: in maggior parte è quella immessa artificialmente per la sua costruzione, mentre quella derivante dalla lenta reazione di presa delle calce — seppur presente in minor proporzione (0,5%) — si forma di continuo ed è l'ultima ad eliminarsi. Direttamente legata a queste è l'attitudine di un materiale a prosciugarsi facilmente e rapidamente, in misura direttamente proporzionale alla sua capillarità: migliore è questa — ad esempio nel laterizio — migliore sarà il prosciugamento, e diversa sarà la distribuzione dell'acqua all'interno degli elementi; proprio per questo i trattati e i manuali sono costantemente prodighi nel raccomandare, per i materiali con cattiva capillarità, di posarli in opera completamente asciutti, a differenza di quelli con buona capillarità che andrebbero invece lasciati senza intonaco per diversi mesi per permettere una ventilazione, e un prosciugamento, più efficaci.

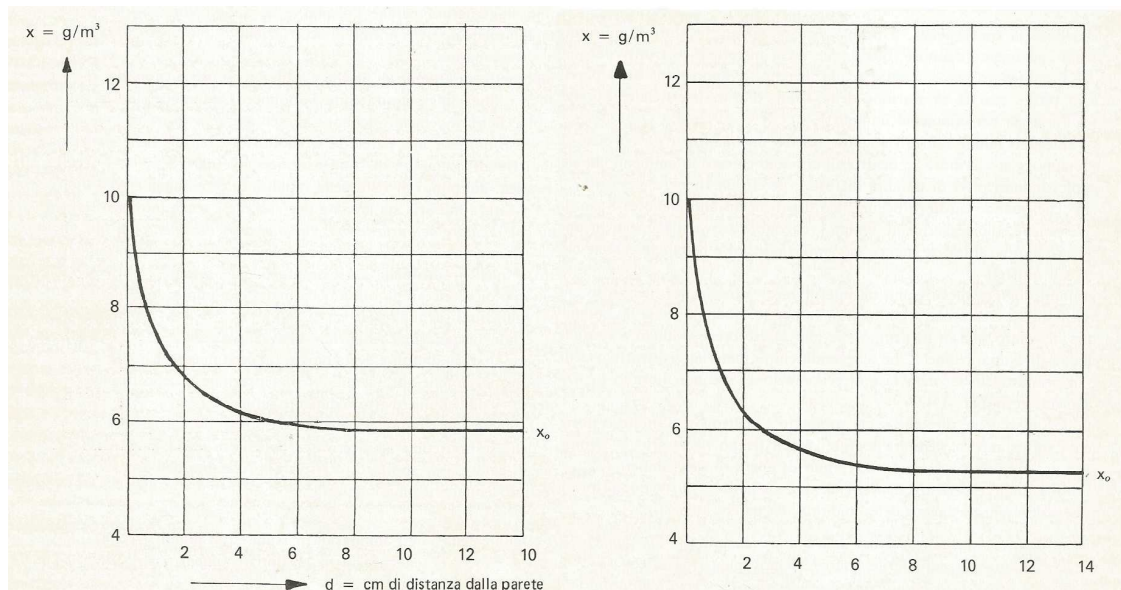
Alla tendenza di un materiale a prosciugarsi in relazione alle sue proprietà fisiche è correlato il suo comportamento a seconda dell'esposizione: il prosciugamento avviene infatti ad esempio più lentamente nei muri interni rispetto a quelli perimetrali.

Sul lato prettamente igienico, una parete umida (la quale può anche non essere soggetta ad evidenti fenomeni di degrado) genera un danno alle persone diretta conseguenza di tre fenomeni fisici: l'acqua, evaporando dalla parete umida all'aria interna, provoca il raffreddamento della parete stessa e ne abbassa il potere coibente «*come se il suo spessore si riducesse circa ai 2/3 o ad 1/2.*»<sup>1</sup> Di questi tre fenomeni — che avvengono in massima misura nella muratura di mattoni e malta di sabbia — è proprio quello dell'evaporazione superficiale iniziale quello più percepito dalle persone. Il comportamento dell'aria interna durante il passag-

---

<sup>1</sup> G. e I. MASSARI, *Risanamento igienico dei locali umidi*, Hoepli, Milano 1985, p. 59.

gio dell'umidità dalla parete è analizzabile tramite i cosiddetti diagrammi di Kettenacker (v. Fig. 1), nei quali sulle ascisse sono riportate le distanze in centimetri dalla parete, sulle ordinate il contenuto in g/mc del vapore d'acqua nell'aria.



**Figura 1.** Diagrammi di Kettenacker per una parete molto umida, con acqua al 17% del proprio peso (sinistra), e poco umida, con acqua al 4,5% (destra), da G. e I. MASSARI, *op. cit.*, p. 60.

Dai due diagrammi si possono trarre alcune considerazioni:

- ° *«L'aria ferma giunge alla saturazione nello strato ad immediato contatto con la parete umida, qualunque sia il contenuto di questa»*<sup>2</sup>;
- ° l'aria ferma giunge a saturazione nello strato a contatto con la parete umida (in presenza di qualsiasi percentuale di umidità contenuta) purché sia immota;
- ° *«l'effetto dannoso diretto della parete sull'aria cessa ad una distanza di 6-8 cm.»*<sup>3</sup>

Gli effetti e le considerazioni possono essere riferite qualunque sia il contenuto d'acqua della muratura e qualunque sia il materiale da costruzione: è possibile quindi affermare che tutte le murature umide sono egualmente dannose. Ciò che varia è il tempo di saturazione a seconda della velocità di evaporazione del materiale costruttivo (la quale sarà più dettagliatamente descritta nel §1.2.4).

Altra questione riguarda le temperature percepite dal corpo umano (un connubio fra temperatura e umidità relativa dell'aria), e la sensazione di benessere o malessere generata dalla presenza di murature calde o fredde.

In definitiva sono due i limiti che devono fissarsi per una "difesa igienica" dei locali: un contenuto massimo d'acqua nei muri e una protezione termica minima garantita dalla muratura perimetrale e dalle coperture verso l'esterno.

<sup>2</sup> Ivi, p. 62.

<sup>3</sup> *Ibidem.*

Per il primo punto, la manualistica considera come valori adottabili (v. Tab. 1):

**Tabella 1.** Massime percentuali ponderali d'acqua che può contenere una struttura dal punto di vista igienico, da G. e I. MASSARI, *op. cit.*, p. 64.

Elementi di involucro	Contenuto d'acqua
Murature di laterizio comune	$\leq 3\%$
Murature di tufo, arenaria o pietra leggera molto assorbente	$\leq 6\%$

Per il secondo invece la manualistica stabilisce due valori di Resistenza termica per i quali è possibile evitare il fenomeno dell'umidità da condensazione nelle murature perimetrali:  $1 \frac{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$  (pari a  $0,90 \frac{\text{m}^2\text{°C}}{\text{W}}$ ) nella zona climatica "A" (nella quale la temperatura media del mese più freddo è inferiore o uguale a  $6^\circ\text{C}$ ), mentre  $0,80 \frac{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$  (pari a  $0,70 \frac{\text{m}^2\text{°C}}{\text{W}}$ ) nella zona climatica "B" (nella quale la temperatura media del mese più freddo è superiore a  $6^\circ\text{C}$ ).

In conclusione, possono presentarsi tre casi:

*La muratura contiene acqua oltre le percentuali ammesse: il locale è inabitabile;  
la muratura è asciutta ed appaiono i soliti sintomi di umidità, mentre si riscontra che per difetto costruttivo la protezione termica è insufficiente rispetto al clima del luogo: il locale è inabitabile;  
la muratura è asciutta, ma appare qualche piccola cicatrice sintomo di umidità forse passata (decolorazioni, macchie, muffe, guasti vari): il locale è abitabile se non si riscontrano difetti costruttivi che ne riducano la protezione termica<sup>4</sup>.*

## 1.2 Le proprietà dei materiali e le caratteristiche dei principali fenomeni

Prima di analizzare i maggiori fenomeni sulle murature è necessario descrivere le principali proprietà dei materiali da costruzione e il loro comportamento in opera.

### 1.2.1 La capillarità

La *capillarità* può essere intesa come il *reciproco* della forza di gravità: sotto determinati diametri un liquido contenuto in un vaso molto piccolo sale verso l'alto tanto più lo stesso è sottile (ad esempio, con un diametro di 1 mm la risalita è di 31 mm, mentre con un diametro di 0,20 mm la risalita è di 154 mm).

Due parametri che caratterizzano questa proprietà sono i rapporti tra la forza di capillarità e la temperatura del liquido (inversamente proporzionali) e la sua con-

<sup>4</sup> Ivi, p. 67.

centrazione salina (direttamente proporzionali). Si può così spiegare il motivo per cui in murature rivolte verso nord, a causa sia delle temperature inferiori che in maggior parte della ridotta evaporazione superficiale per la mancata insolazione, il *coefficiente di capillarità* aumenta in maniera sensibile.

I guasti maggiormente riscontrabili nei componenti edilizi soggetti al fenomeno della risalita capillare sono diversi: distruzione degli intonaci e della malta di connessione (a causa della formazione di solfati e della conseguente comparsa di efflorescenze); distacchi e sminuzzamento superficiale per la cristallizzazione dei sali; trasporto di sali dall'interno all'esterno e formazione di concrezioni ed efflorescenze; frantumazione conseguente al gelo.

Tra le soluzioni adottabili ma poco utile ai fini della difesa contro la cosiddetta pioggia a vento è quella costituita dall'utilizzo di intonaci impermeabilizzanti a base di cemento (i quali *cavillano* dopo 2–3 anni), che permettono l'ingresso e l'impregnazione della muratura sottostante impedendone però l'evaporazione.

Il fenomeno può essere rilevato anche nei terreni — in natura presenti con diversi gradi di permeabilità (caratteristica propria “inversa” della capillarità). In caso di pioggia infatti la penetrazione dell'acqua nel terreno avviene più rapidamente e profondamente in terreni permeabili (ad esempio quelli costituiti da ciottoli o *grani* distanziati), fino alla sua normale interruzione in terreni impermeabili (ad esempio quelli argillosi o pietrosi), e la naturale formazione della falda freatica. In caso di falda poco profonda (fino a 4–5 m), la risalita di acqua non avviene direttamente nel terreno permeabile ma in una zona argillosa più lontana: per terreni omogenei, le altezze di risalita vanno da un minimo di 30 cm con sabbia media ad un massimo di 8 m in terreni argillosi. Può quindi avvenire ad esempio che:

*Due edifici fondati entrambi, per esempio a 3 metri di profondità, l'uno in terreno capillare nasca all'umido perché l'acqua risale abbondante dalla falda freatica in terreno perfettamente asciutto, per esempio sopra uno strato di sabbia grossa. Così il primo edificio sarà subito attaccato dall'umidità ascendente, mentre il secondo ne sarà del tutto immune, senza alcun merito del costruttore<sup>5</sup>.*

Il comportamento *reale* è però notevolmente complicato dalla peculiare *mescolanza* dei terreni, composti da diversi materiali stratificati.

### 1.2.2 *La porosità e l'utilizzo dei materiali nell'edilizia storica*

Seconda caratteristica principale dei materiali anch'essa legata alla loro risposta all'avanzata dell'umidità è la *porosità*.

La porosità è definibile come il rapporto fra il volume di tutti gli spazi “vuoti” (come pori, cavità, fratture) all'interno di un materiale e il volume apparente dello stesso. È una caratteristica da non confondere con la *cavernosità*, tipica ad esempio del travertino: la prima facilita la salita dell'acqua nei muri, la seconda

---

<sup>5</sup> Ivi, p. 13.



la ostacola perché «i suoi vacuoli e canalicoli sono tanto larghi che i fenomeni di capillarità non si sviluppano.»<sup>6</sup>

Diverse sono le classificazioni dei pori, in base alla tipologia, alla geometria e alla loro dimensione:

° la porosità *aperta* è quella costituita da pori collegati alla superficie esterna del materiale, accessibili all'acqua, e influenzano pertanto la permeabilità e la durabilità del materiale; la porosità *chiusa* è invece costituita da pori isolati, che non consentono il trasporto di liquidi o di gas, influenzando la densità del materiale, le sue proprietà meccaniche e termiche;

° in base alla loro dimensione, i pori possono essere classificati in *micropori* (con raggio inferiore a 0,001  $\mu\text{m}$ ), *mesopori* (con raggio compreso fra 0,001 e 0,025  $\mu\text{m}$ ) e *macropori* (con raggio maggiore a 0,025  $\mu\text{m}$ );

° in base alla loro origine, possono essere classificati in pori *di base* (quelli di formazione delle rocce), di *dissoluzione* (chimica di carbonati, solfati e di materiali organici), di *frattura* (dovuta a stati tensionali) o di *contrazione* (ad esempio, dovuta a dilatazioni/contrazioni nel laterizio);

° infine, in base alla loro forma sono invece classificati come pori *sferici*, *cilindrici* o *allungati*.

Particolare attenzione va posta alla definizione del *volume* di riferimento, se si tratti ossia del *volume apparente*  $V_a$  (quello del materiale includente i pori) o del *volume reale*  $V_r$  (ottenuto dalla differenza fra  $V_a$  e il volume dei pori).

La porosità e soprattutto la distribuzione e la dimensione dei pori sono legate alla risposta del materiale a due fenomeni di degrado, la *crystallizzazione dei sali* e la *gelività*.

Nel primo caso, gli effetti variano sia con la velocità di evaporazione dell'acqua sia con la sua temperatura:

*Se questa è superiore alla velocità migratoria della soluzione entro il materiale, la cristallizzazione avverrà all'interno del muro e produrrà tensioni sulle pareti dei pori secondo il meccanismo analizzati (subfiorescenza). Se invece l'acqua evapora più lentamente e la soluzione ha la possibilità di risalire in superficie, la cristallizzazione dei sali porterà unicamente danni di tipo estetico (efflorescenza)<sup>7</sup>.*

Il secondo invece dipende, più che dall'escursione termica, dalla ciclicità del fenomeno:

*La formazione dei cristalli di ghiaccio avviene nei pori più grandi mentre è inibita nei pori più piccoli dall'attrazione capillare esercitata dalle pareti sulle molecole d'acqua. In una fase successiva l'attrazione capillare si manifesta anche nei capillari intermedi*

---

<sup>6</sup> Ivi, p. 18.

<sup>7</sup> D. FIORANI, *L'invecchiamento e il degrado*, in G. CARBONARA, *Trattato di restauro architettonico. Volume 2*, Utet, Torino 2006, p. 338.

*costituitisi tra cristalli di ghiaccio e pareti dei pori grandi, ed è in grado di richiamare l'acqua trattenuta dai pori più piccoli, consentendo così la crescita dei cristalli*<sup>8</sup>.

### 1.2.3 *Imbibizione e adescamento*

Il comportamento dei materiali da costruzione appare diverso nel caso siano completamente immersi nell'acqua (v. Tab. 2) o se al contrario ne siano invece solo a contatto.

Nel primo caso si parla di *imbibizione* (o *assorbimento in immersione*), distinguendo tra il relativo coefficiente (la quantità d'acqua assorbita del campione sommerso), la velocità o potenza di assorbimento (o *potere di assorbimento capillare*), e la rapidità di evaporazione.

**Tabella 2.** Percentuali d'acqua di cui si imbibiscono alcuni materiali da costruzione quando sono totalmente immersi riferite al volume del campione, da G. e I. MASSARI, *op. cit.*, p. 26.

<b>% d'acqua di imbibizione/vol.</b>	<b>Materiali da costruzione</b>
0-0,10%	Rocce molto compatte, granito, marmo di Carrara e calcari saccaroidi
0,10-5%	Stesse rocce con minor compattezza, calcari ordinari compatti
5-20%	Arenarie, calcare semiduro, travertino, malta di cemento e sabbia, malta di calce e sabbia, mattoni duri
20-35%	Molassa, calcare tenero, tufo, malta di calce e pozzolana, mattoni usuali a mano
35-55%	Tufo calcareo e vulcanico, mattoni a mano, gesso

*«I materiali naturali che hanno la massima capacità di imbibizione sono i più leggeri, quelli cioè il cui peso specifico è compreso fra 1 e 2. Sono questi che hanno in generale le migliori qualità costruttive per la abitazioni, cioè massimo potere di isolamento termico e buona aderenza per la malta; in conseguenza della loro porosità, sono anche più facilmente soggetti all'invasione umida»*<sup>9</sup>.

Nella realtà però (come ad esempio nelle fondazioni poste sotto la quota di falda) sono rari i casi in cui i materiali sono completamente immersi nell'acqua; più interessante appare quindi la determinazione della quantità d'acqua attinta dal materiale quando è a contatto con essa e assorbita dalla sua parte asciutta (ad esempio, come può avvenire nelle murature *aeree* che assorbono acqua dal terreno). Si parlerà quindi di *adescamento* (o *assorbimento in emersione*), del relativo coefficiente (ossia dalla quantità d'acqua assorbita in emersione, in percentuale di volume o peso), e della potenza (ossia la quantità in peso assorbita nell'unità di tempo dall'unità di superficie).

<sup>8</sup> Ivi, p. 337.

<sup>9</sup> G. e I. MASSARI, *op. cit.*, p. 27.

È una caratteristica propria dei materiali «porosi e permeabili, a grana fine e omogenea, come i laterizi, i tufi, i calcari teneri e talune arenarie.»<sup>10</sup> A seconda della loro risposta al fenomeno i materiali possono essere classificati come *adescanti* e *anti-adescanti* (come i graniti, i calcari saccaroidi e i basalti): le massime altezze di adescamento sono riscontrabili nei laterizi teneri, mentre i tufi e le malte assorbono molto più lentamente. In generale «l'altezza di adescamento è molto differente da un materiale all'altro, e si può spiegare immaginando grossolanamente che i capillari abbiano un determinato tipo e un determinato diametro legati alla struttura di ogni materiale.»<sup>11</sup>

Particolare interessante è l'analisi della diversa distribuzione interna della quantità d'acqua assorbita dai materiali. Nel laterizio ad esempio è distribuita in maniera uniforme lungo l'intera altezza umida, mentre nei campioni di pietra naturale è stato riscontrato come sia contenuta maggiormente negli strati inferiori: il fenomeno è dovuto alla distribuzione dei capillari, in particolar modo alla loro dimensione (costanti nel primo caso, irregolari nel secondo).

In definitiva (v. Tab. 3):

**Tabella 3.** Contenuto percentuale d'acqua in volume di campioni immersi nell'acqua per 1/5 della loro altezza (acqua assorbita nella quinta parte dell'altezza), da G. e I. MASSARI, *op. cit.*, p. 32.

<b>Materiale</b>	<b>Immersione</b>	<b>Emersione (max. e min.)</b>	
Mattone tradizionale	30,40	29,70	29,70
Arenaria leggera	28,10	26,70	18,00

#### 1.2.4 L'evaporazione dei materiali umidi

«Un muro umido per assorbimento dal sottosuolo, e nel quale l'invasione si sia stabilizzata ad una data altezza, ha un suo bilancio idrico nel quale tanta acqua entra dalla base ed altrettanta esce per evaporazione dalle pareti esposte all'aria.»<sup>12</sup>

Altro fenomeno molto importante da analizzare è l'*evaporazione umida* dalle murature, in particolar modo la sua velocità e i caratteri del suo comportamento, così come gli effetti che questa produce sugli elementi architettonici: l'analisi del bilancio idrico e la conoscenza del comportamento delle murature potrebbero infatti aiutare a conoscere la quantità di umidità riversata all'interno del locale.

Il prosciugamento dei materiali da costruzione è una questione fondamentale, già storicamente analizzata: generalmente, in pareti o pavimenti umidi i valori di evaporazioni medie sono compresi fra i 4 e i  $10 \frac{\text{g}}{\text{m}^2\text{h}}$ , ed è da sottolineare come questi valori possano variare a seconda dell'esposizione della muratura e delle

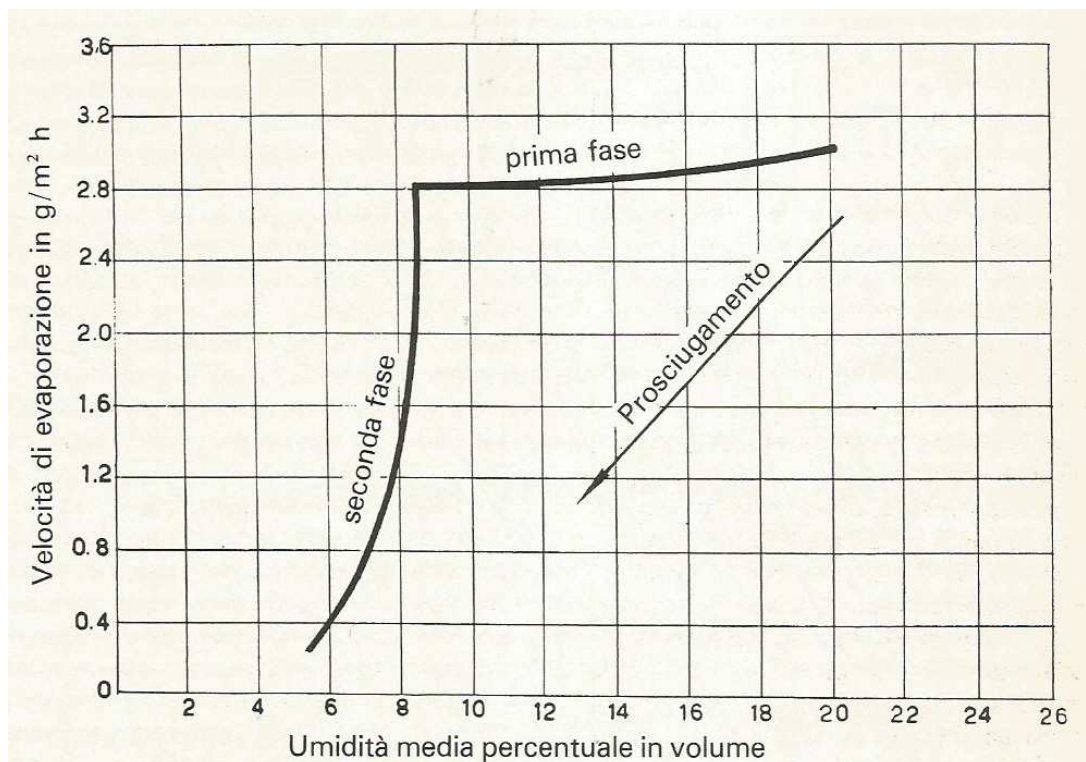
<sup>10</sup> Ivi, p. 26.

<sup>11</sup> Ivi, p. 29.

<sup>12</sup> Ivi, p. 32.

condizioni meteorologiche (ad esempio, aumento dalle tre alle cinque volte sotto l'azione di un vento debole, o dalle due alle tre volte sotto l'azione del sole).

Quando un materiale umido subisce una forte evaporazione tende naturalmente a prosciugarsi. Nel fenomeno si possono riconoscere due fasi: nella prima l'uscita dell'umidità è costante, mentre la percentuale di contenuto umido scende in maniera progressiva, a velocità e temperatura costanti, con superfici sature; la seconda invece inizia bruscamente al di sotto di uno specifico contenuto umido, differente a seconda del materiale. Le due fasi sono rappresentate nel diagramma di Krischer e Görling: assumendo un mattone umido che si asciuga sotto forte evaporazione (v. Fig. 2)



**Figura 2.** Le due fasi di prosciugamento di un materiale umido poroso secondo Krischer e Görling, da G. e I. MASSARI, *op. cit.*, p. 33.

Nella prima fase, la superficie del materiale è satura, l'uscita dell'umidità è costante e la percentuale di contenuto dell'umidità scende notevolmente (l'evaporazione avviene a velocità e temperatura costanti). La fase è indipendente dal tipo di materiale, ma dipende soltanto dalla predisposizione dell'aria a saturarsi, ossia dalla quantità di umidità che l'aria può attrarre fino a saturazione. È la fase più pericolosa, per la costanza e l'alto potere evaporante del muro saturo.

Nella seconda fase avviene la rapida caduta dell'evaporazione e del potere evaporante. In questa fase entra in gioco la conducibilità capillare del materiale (con resistenze più o meno grandi all'acqua che si muove verso l'esterno): la velocità di evaporazione è conseguenza della struttura interna del materiale. Più questa è omogenea, più il grafico è "verticale".

Al punto di flesso la superficie del materiale non è più satura: nuova acqua viene dall'interno, ma con velocità minore di quella minima per alimentare l'evaporazione (l'acqua è diminuita troppo). Coincide con un contenuto umido specifico per ogni materiale.

Dal diagramma si può dedurre che:

- ° le evaporazioni unitarie massime orarie si attestano per diversi materiali (mattoni, gesso, pomice) fra i 2 e i 3  $\frac{\text{g}}{\text{m}^2\text{h}}$ ;
- ° muri saturi di materiali diversi producono la stessa evaporazione unitaria (e quindi pari danno);
- ° nei muri a grana molto fine e omogenea, la prima fase ha una durata più lunga di quella riscontrabile nei muri di materiale discontinuo ed eterogeneo, mentre la seconda è breve e "precipitosa": «Un muro umido di ottimi mattoni con malta vagliata e costruzione accurata con letti regolari continuerà a dare un'elevata e costante evaporazione unitaria superficiale malgrado che a mano a mano il suo contenuto percentuale di umidità diminuisca»<sup>13</sup>. Il punto di flesso è posto fra il 6 e l'8,80% di umidità in volume;
- ° nei muri di tufo invece di tipo variabile, con malta grossa e non vagliata, la prima fase è breve, il punto di flesso è posto a un contenuto di umidità in volume del 15–20%, mentre la seconda è molto lenta;
- ° agli effetti igienici, «la muratura di mattoni è molto più pericolosa delle murature in pietrame»<sup>14</sup>: anche con basse percentuali di umidità infatti l'acqua rimanente è dissipata a velocità elevate. Sempre per questi stessi effetti, appropriato è accertare a quale fase appartenga l'evaporazione (la "pericolosità" di una muratura è molto maggiore se si trova nella prima che nella seconda), e i lavori di risanamento utili sono quindi quelli che "portano" il materiale dalla prima alla seconda fase (grazie alla minore evaporazione superficiale diventano infatti efficaci la ventilazione e il riscaldamento);
- ° i valori da considerare validi potrebbero essere, per il mattone normale leggero, il 5% in peso, per il tufo il 14% in peso, per il gesso il 9,50% in peso;
- ° in generale, «l'evaporazione, e perciò il danno, che può produrre una superficie umida è proporzionale al contenuto d'acqua finché questo è relativamente basso, ma diviene costante ed indipendente dal contenuto percentuale d'acqua se questo è alto.»<sup>15</sup>

---

<sup>13</sup> Ivi, p. 34.

<sup>14</sup> Ivi, p. 35.

<sup>15</sup> Ivi, p. 36.

### 1.3 L'umidità negli edifici esistenti: caratteri, cause, sintomi

A differenza degli edifici di nuova costruzione, dove l'umidità è innanzitutto *di costruzione*, negli edifici esistenti l'umidità presente è principalmente *di invasione*, proveniente ossia dall'ambiente circostante o da quello interno dei locali.

Di carattere *cronico*, l'umidità di invasione appare distribuita irregolarmente e soltanto in alcune parti dell'edificio, è stazionaria (più spesso progressiva nel tempo), e ha principalmente due fonti di provenienza, il sottosuolo – tramite la risalita per capillarità – e l'aria, tramite la sua condensazione. In generale, i due tipi di umidità si differenziano per frequenza e caratteri dei fenomeni, e conseguentemente differenti sono i metodi di risoluzione (v. Tab. 4).

**Tabella 4.** Differenze fra umidità ascendente e condensazione, da G. e I. MASSARI, *op. cit.*, p. 6.

<b>Umidità ascendente</b>	<b>Umidità di condensazione</b>
Indipendente dalla stagione	<i>Stagionalità</i> (è legata a particolari stagioni dell'anno)
“Contenute” risalite nelle murature (2-3 m)	Può interessare l'edificio a qualsiasi altezza
Interessa l'intero spessore murario	Interessa la sola superficie muraria
La fonte è il terreno (può essere superficiale o profonda, a seconda della sua quota da terra)	La fonte è l'acqua proveniente dal raffreddamento del vapore acqueo dell'aria
Eliminabile in qualche anno, non tende a ripetersi una volta eliminata la causa	Eliminabile tramite il calore e la ventilazione, tende a ripresentarsi (vedi primo punto)

### 1.4 L'umidità da invasione

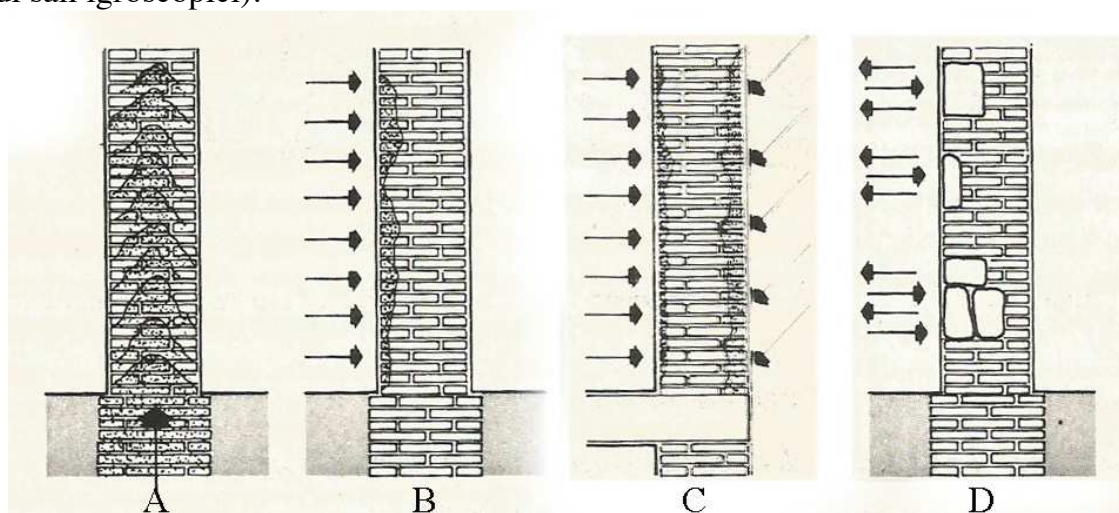
L'origine dell'acqua contraddistingue la sua distribuzione all'interno delle murature soggette ai fenomeni.

Assumendo una muratura omogenea per materiali e temperatura (v. Fig. 3):

- ° il caso A), nel quale l'umidità è proveniente dal sottosuolo, è contraddistinto da salite “ad avanzate successive” e si distribuisce maggiormente nel *nociolo* della muratura che sulle facce laterali;
- ° il caso B) rappresenta una muratura soggetta a umidità di condensazione del vapore d'acqua: l'omogeneità della struttura muraria causa un deposito uniforme (da pavimento a soffitto) di acqua allo stato liquido sulle facce interne soggette al fenomeno;
- ° nel caso C) è rappresentato il caso dell'umidità *da pioggia a vento*, fenomeno che «*raffredda il muro tanto di più quanto più rapido è il suo prosciuga-*

mento se alle raffiche di pioggia inclinata si alternano quelle di vento secco.»<sup>16</sup>  
L'acqua non attraversa il muro, ma lo raffredda generando condensazione del vapore acqueo dell'aria del locale;

° il caso D) è invece quello di murature con struttura eterogenea: l'umidità da condensazione si manifesta a macchie con andamento a seconda della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria, in prossimità dei materiali più pesanti (nell'esempio, i blocchi di pietra o mattoni di recupero da edifici demoliti carichi di sali igroscopici).



**Figura 3.** Come si distribuisce l'acqua di invasione in un muro di mattoni, da G. e I. MASSARI, *op. cit.*, pag. 5.

#### 1.4.1 L'umidità dal sottosuolo

Prima fonte d'acqua analizzata è quella del sottosuolo. Principalmente può essere divisibile in due sotto-categorie (v. Tab. 5): l'acqua di tipo disperso e l'acqua freatica.

**Tabella 5.** Differenze fra umidità da acqua dispersa e da acqua freatica.

<b>Acqua dispersa</b>	<b>Acqua freatica</b>
Si manifesta in maniera localizzata (ad un solo lato o ad una parte dell'edificio) ma massiccia	Si manifesta uniformemente lungo tutto l'edificio, ed è comune a tutti gli edifici di una zona coevi di costruzione e omogenei per i materiali impiegati
Interessa un solo edificio o un gruppo di edifici vicini	La distribuzione deriva dall'esposizione delle murature (l'altezza di risalita è massima a nord-est, minima nelle esposizioni molto insolate)
L'oscillazione annuale dell'altezza di salita è "variabile"	Il fenomeno è continuo durante l'anno

<sup>16</sup> Ivi, p. 5.

Le prime sono quelle di più *facile* intercettazione e risoluzione con mezzi proporzionati: sono infatti quelle derivanti da localizzate infiltrazioni perimetrali dal terreno dovute all'inefficienza degli impianti di raccolta e deflusso delle acque meteoriche (come disconnessioni o rotture negli elementi di gronda o dei pluviali), o da perdite dalle reti tecnologiche (di fognatura, dell'acqua potabile) poste alla quota terreno. Data la natura di provenienza sono da considerarsi saltuarie e accidentali.

Le seconde traggono invece origine dalla falda freatica (la quota della quale può modificarsi nel tempo) e sono di più difficile risoluzione non essendo contegnibili. «*L'accertamento della presenza di acque disperse a contatto con la fondazione è molto più difficile che non quello relativo alla presenza della falda freatica, poiché si tratta di cause locali e limitate, non già di una situazione uniforme e generale che si tradisce da molti indizi; le cause locali sono più ermetiche*»<sup>17</sup>.

I metodi di analisi dell'origine delle acque consistono in tutte quelle operazioni utili all'ispezione del perimetro dell'edificio, verificando sia lo stato delle murature che in special modo l'adeguato *funzionamento* e la continuità delle reti tecnologiche (in particolare quelle poste nel terreno in prossimità delle murature dell'edificio).

#### 1.4.2 *Il comportamento dei materiali da costruzione*

Per le murature di tipo tradizionale, come quelle costituite da laterizi o pietre, «*ogni materiale impronta del suo comportamento il muro per quanto vi si trovi in opera avvolto da uno strato di malta, che porta un motivo di omogeneità fra le varie ossature murarie. Il potere complessivo di assorbimento di una struttura tende ad assimilarsi con quello specifico del materiale base*»<sup>18</sup>: tanto minore è la quantità di malta impiegata, e quindi tanto più sottili sono i giunti, tanto il comportamento globale della muratura si avvicina a quello del materiale di base.

Nelle murature di laterizio ad esempio, il materiale ha un potere di adescamento maggiore di quello della malta in una proporzione variabile dalle tre alle cinque volte: in murature ben costruite con elementi scelti e giunti sottili, all'attacco dell'umidità nella muratura seguirà quindi un avanzamento rapido dell'acqua. Nelle murature di pietrame invece, il comportamento può vedersi differenziato a seconda delle dimensioni dei blocchi: seppure infatti il progresso sia più lento di quello riscontrabile nelle murature di laterizio, i blocchi posti in opera in dimensioni tali da permettere l'adescamento completo per il loro intero spessore si comportano come gli elementi di laterizio; blocchi invece posti con altezze molto maggiori rispetto a quelle di adescamento tendono a «*trattenere l'acqua sottratta alla malta circostante, conservando il nucleo asciutto o quasi; lo spessore eccessivo del pezzo rispetto alla sua capacità di adescamento richiede infatti un tempo enorme perché l'umidità della malta possa permearlo, per avvolgimento, da tutti*

---

<sup>17</sup> Ivi, p. 83.

<sup>18</sup> Ivi, p. 88.



*i lati dopo averlo oltrepassato in altezza»<sup>19</sup>*: ne deriva un'avanzata dell'umidità molto lenta e altezze di risalita contenute.

Gli elementi-base possono avere nei confronti della malta un atteggiamento di collaborazione attiva o passiva: «Attiva quando trasmette l'umidità per conto proprio con maggiore o uguale velocità di quanto fa la malta, passiva quando trattiene l'umidità a spese della malta»<sup>20</sup>. Nelle murature di mattoni sono questi elementi a fare da “ponte” fra un giunto e l'altro, prendendo l'umidità dal letto inferiore e trasportandola a quello superiore; quando invece il materiale è anti-capillare (come ad esempio la selce), la muratura è maggiormente ostile all'avanzata umida, la quale può diffondersi solamente attraverso i giunti.

Per poter valutare l'altezza di risalita  $h_a$  in una muratura è necessario preliminarmente vederne definito il bilancio idrico, ossia quello per il quale la portata della sezione assorbente inferiore («la quantità d'acqua che nell'unità di tempo viene assorbita attraverso la sezione orizzontale del muro») è pari all'evaporazione totale delle pareti. Di notevole importanza è sottolineare che la sezione assorbente (e quindi la portata) di un elemento è direttamente proporzionale al suo spessore: pertanto, maggiori spessori comportano maggiori altezze di risalita. Un'ulteriore considerazione può derivare dalla tipologia dell'elemento, e quindi dal rapporto fra l'altezza di salita e il suo spessore (definito come indice di salita, v. Tab. 6).

**Tabella 6.** Rapporto fra superficie evaporante e quella assorbente e relativi *indici di salita* in alcuni elementi architettonici.

<b>Elemento architettonico</b>	<b>Rapporto sup. evaporante/sup. assorbente</b>	<b>Indice di salita</b>
Pilastrini isolati	2 – 3	1
Muri perimetrali	3 – 8	1,5 – 4
Muri interni di spina	4 – 10	2 – 5

Il grado dell'umidità dal sottosuolo all'interno delle murature dipende non solo dalle proprietà dei materiali con i quali è costituita, ma anche dalle “caratteristiche” dell'origine dell'acqua: fondamentale è *quando* si presenta il fenomeno (ad esempio, frequenze intermittenti di alimentazione causano infatti sì distribuzioni uniformi ma sviluppate “in larghezza”, prevalentemente rivolte verso il basso).

In conclusione, si può affermare che:

° affinché si verifichi un'invasione ascendente in una muratura è necessaria la contemporaneità di due requisiti: l'elevata potenza adescante del materiale costruttivo e la continua e non intermittente alimentazione dal terreno alla muratura;

<sup>19</sup> Ivi, p. 90.

<sup>20</sup> Ivi, p. 89.

° L'umidità assume il caratteristico tipo di umidità ascendente «*soltanto quando è sostenuta da una colonna capillare che ha la sua base nell'acqua sotterranea. In tutti gli altri casi, l'invasione assume il tipo gravitazione e la risultante del movimento è in definitiva diretta verso il basso; soltanto se un muro è già saturo, con continuità nella parte inferiore, l'umidità diviene ascendente*»<sup>21</sup>;

° in caso di un materiale da costruzione completamente anti-capillare, l'invasione umida ascendente dovuta alla sola malta non può avvenire.

Non appena la superficie evaporante di una muratura viene ridotta, il bilancio idrico non è più rispettato e l'umidità riprende a salire.

È di importanza fondamentale sottolineare che l'area umida più colpita è quella più alta, dove i sali si accumulano, un assunto apparentemente in contraddizione con i caratteri del fenomeno, che avviene “dal basso” e per i quali la quantità d'acqua diminuisce con l'altezza. Se infatti «*la parte più bassa del muro è interessata da maggior acqua e livello di evaporazione, si potrebbe concludere che questa sia la zona colpita dai maggiori danni. [...] La maggior quantità d'acqua e il flusso continuo disciolgono i cristalli di sale trasportandoli verso l'alto. Questo fenomeno si interrompe quando l'acqua diviene insufficiente.*»<sup>22</sup>

### 1.4.3 I metodi contro l'umidità da risalita

Storicamente diversi sono stati i dispositivi contro l'umidità da risalita. Se ne vogliono descrivere sommariamente alcuni.

° Riduzione della sezione (o *metodo Koch*): ideato e utilizzato da Gaetano Koch nella chiesa di San Luigi dei Francesi a Roma alla fine del XIX secolo. Consiste nel ridurre la sezione assorbente tramite demolizioni e rimozioni di materiale e la formazione di piccoli archi: alterando sensibilmente la statica dell'edificio, è pertanto impiegabile in misura limitata.

Un metodo alternativo può consistere nel sostituire la struttura primitiva del muro con materiali anti-capillari di dimensioni e spessori maggiori di quelli necessari con le sole demolizioni.

° Sbarramento in spessore di muro (*metodo Massari*): si tratta di un taglio orizzontale di 42 cm della muratura tramite una carotatrice e la posa di uno strato liquido di resina poliestere (o epossidica) impermeabile plastica, o tramite la stesura di uno strato di calcestruzzo a base di resina poliestere (composto da un scheletro essiccato di polvere di marmo o sabbia sottile, e per il 38% da resina)

<sup>21</sup> Ivi, p. 91.

<sup>22</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for Cultural Heritage. Conservation, Restoration, and Maintenance of Indoor and Outdoor Monuments.*, Elsevier, Amsterdam 2014, pp. 221–222. Testo originale: «*If the lower part of the wall is affected by more water and evaporation, one could expect the most severe damage there. [...] However, the repeated or continuous flux of water dissolves the salt crystals and transports them upwards. On the front, the transport ends because there is no more water to continue this mechanism*», traduzione dell'Autore.

previo il prosciugamento della fessura e la posa di un foglio inferiore di polietilene.

«La resina, o meglio un suo impasto, viene immessa allo stato fluido nella fessura orizzontale che la carotatrice ha aperto nel muro e la riempie esattamente fino a premere contro il soffitto della fessura stessa. L'impasto polimerizza, ossia fa presa, energicamente in tre o quattro ore senza ritiro sensibile, e senza alcuna rinzeppatura ecco che all'istante regge il carico dell'edificio che è sopra anche se questo carico è enorme.»<sup>23</sup>

° Intercettazione capillare con resine: consiste nell'occlusione dei capillari del muro con resine siliciche sciolte. Solitamente il liquido è iniettato nella fascia di parete adiacente al pavimento a mezzo di fori cilindrici od orizzontali di piccolo diametro. L'impermeabilizzazione dell'intero strato orizzontale di muro (la buona riuscita dipende non solo dall'esecuzione ma anche dal "carattere" del muro, e dalla presenza di fessure e cavità interne) è molto difficile da realizzare. Il controllo dell'effettiva riuscita della diffusione nell'interno della muratura è tecnicamente impossibile: «È sempre difficile realizzare una diffusione omogenea e perfetta che renda impermeabile un intero strato orizzontale di muro da una parete all'altra, senza di che il blocco dell'umidità ascendente resta parziale. È noto che la riduzione anche forte della sezione assorbente non impedisce all'acqua di salire attraverso la strozzatura»<sup>24</sup>. È invasivo e non reversibile.

° Intercapedini perimetrali esterne (*scannafossi*): utili solo se scoperte. Efficaci per intercettare l'umidità proveniente da acque superficiali disperse, portate per capillarità dal terreno sulla faccia della muratura, anche se non risolvono il problema di risalita capillare nella zona di contatto orizzontale tra muratura e terreno sotto la fondazione. L'intercettazione e l'allontanamento sono realizzati tramite la creazione di un compluvio, una linea più bassa che diventa un "percorso preferenziale" dell'acqua per forza di gravità: l'acqua penetra all'interno di una fossa nel terreno costituita da materiale drenante ed è convogliata in un tubo di scarico posto sul fondo dello scavo. Va sempre preliminarmente verificata la resistenza del terreno nel quale si interviene.

L'intervento non è efficace nel caso debbano smaltire per evaporazione anche l'umidità proveniente dalla fondazione: «Quando infatti è presente umidità di risalita capillare lungo la parete è molto difficile che questa sia totalmente smaltita, in quanto la capacità di evaporazione della parete all'interno dell'intercapedine è molto minore (4-5 volte) di quella che lo stesso muro possiede fuori dal terreno»<sup>25</sup>.

---

<sup>23</sup> G. e I. MASSARI, *op. cit.*, p. 106.

<sup>24</sup> Ivi, p. 110.

<sup>25</sup> L. NAPOLEONE, *Deumidificazione e difesa delle murature e degli ambienti dall'umidità*, in G. CARBONARA, *Trattato di restauro architettonico. Volume 2*, Utet, Torino 2006, p. 338.

Il sistema funziona solamente quando la profondità dell'intercapedine è tale da intercettare tutta la porzione di terreno interessato dalla presenza d'acqua superficiale dispersa.

° Sifoni Knapen: si tratta di tubi porosi lunghi circa 30 cm e del diametro interno di circa 3 cm, introdotti nella muratura inclinati in basso verso l'esterno, di sezione variabile. In teoria, l'aria esterna più asciutta e leggera, salendo attraverso il sifone, dovrebbe *eliminare* l'aria umida e pesante che si trova all'interno della cavità. In pratica, l'aria libera esterna e quella contenuta nel sifone «*hanno densità variabili a seconda della temperatura, e cariche di vapor d'acqua anche variabili, cosicché il rapporto dei pesi è mutevole e il conseguente movimento reciproco avviene in un senso o nell'altro, come in un senso o nell'altro può avvenire la sottrazione di vapor d'acqua.*»<sup>26</sup> L'acqua di risalita contiene inoltre sali disciolti, che si accumulano nei sifoni dopo l'evaporazione dell'acqua. Il movimento all'interno del sifone è solo ipotizzabile. L'aria uscirebbe dal sifone se più fredda (e quindi più pesante) di quella esterna, un fenomeno che però non potrebbe accadere a causa delle condizioni delle murature nelle stagioni invernale ed estiva. In caso di scirocco invernale infine può anche prodursi al suo interno della condensazione.

° Contromuri sulle pareti interne: non eliminano l'acqua dal muro ma difendono mediocrementemente gli utenti. Consistono nella realizzazione di un contro-tavolato a 5–10 cm dalla parete umida (comunque non a contatto, perché il collegamento creerebbe un *ponte* di passaggio per l'umidità capillare), posato con mattoni a coltello su uno strato isolante. Buon accorgimento è l'utilizzo di grandi elementi con pochi giunti, rivestiti verso l'intercapedine con un rivestimento impermeabile.

Sono classificabili in tre tipologie:

1. con camera d'aria totalmente chiusa, assicurano abbastanza bene il risanamento del locale malsano, ma soffocando l'evaporazione del muro possono provocare la risalita umida ad altezze superiori;

2. con camera d'aria comunicante attraverso il muro umido con l'esterno (modello *vitruviano*): con una doppia serie di aeratori, una in basso e una in alto, assicurano tramite ventilazione naturale il ricambio continuo dell'aria umida;

3. con camera d'aria comunicante in alto verso l'interno e in basso verso l'esterno con estrazione forzata dell'aria umida: si impiegano solamente in unione con un impianto meccanico di aspirazione per l'estrazione dell'aria umida.

Soluzione da evitare è ventilare la camera d'aria con una doppia fila di aeratori (in basso e in alto) comunicanti con il locale da risanare (l'aria satura si diffonde nell'ambiente). Nel caso di umidità da condensazione si deve prevedere una chiusura ermetica anche verso l'esterno.

<sup>26</sup> G. e I. MASSARI, *op. cit.*, p. 112.

° Rivestimenti impermeabili: è da evitare qualsiasi *sviamento* verso l'alto dell'umidità già contenuta nel muro, *soffocando* l'evaporazione della parete. Sui pavimenti umidi, strati di materiale impermeabile provocano l'aggravarsi dello stato di umidità in primavera e in estate per l'azione *refrigerante* delle murature sull'aria, e la salita dell'umidità dal sottosuolo dentro i muri perimetrali, con il trasferimento del *malanno* dal pavimento alle pareti.

Un'altra soluzione è quella dei cosiddetti intonaci evaporanti–assorbenti: se utilizzati all'interno di locali trasferiscono semplicemente l'umidità dal suolo all'ambiente interno, aumentandola sensibilmente. Inizialmente il muro si asciuga ma il *risucchio* forzato provoca con il tempo un aumento della risalita (e dei molti cristalli contenuti) *nascosti* dall'intonaco. La durata massima prevista è di circa due anni, dopo i quali questo strato “sacrificale” deve essere sostituito.

° Vespai: nei piani terreni e nei rialzati l'umidità del pavimento rappresenta da sola circa il 50% dell'umidità totale dell'ambiente. Se i locali non sono regolati da riscaldamento e/o da condizionamento può succedere nella stagione invernale che la temperatura del suolo sia maggiore di quella ambientale, e in primavera avanzata o in estate che la temperatura dell'aria calda e umida sia superiore a quella del sottosuolo: nel primo caso si genera condensa al di sotto del pavimento, nel secondo condensa atmosferica sopra di esso.

Il vespaio è il rimedio contro l'umidità che può manifestarsi talvolta con l'incupirsi generale del colore e talaltra con grandi macchie (il *tono* è quasi sempre variabile secondo il grado di umidità relativa dell'aria). Le cause sono da ricercare nell'umidità ascendente, nella condensazione o in entrambe alternate per la presenza di materiali igroscopici. Indispensabile è conoscere il contenuto umido del sotto–strato sul quale il vespaio appoggia: se il campione più umido è quello più profondo, l'umidità è dal sottosuolo (costante, in percentuali elevate); se invece è quello superficiale, l'umidità è di condensazione (saltuaria, con percentuali più basse), «*e può provenire dall'aria atmosferica se questa è calda–umida e il terreno freddo (primavera ed estate, scirocco invernale) oppure dall'aria tellurica se il terreno è caldo e l'aria esterna fredda (inverno).*»<sup>27</sup>

Gli accorgimenti per la realizzazione di un nuovo vespaio efficace consistono: nell'utilizzare materiali di bassa densità e asciutti; posare lo strato impermeabile sotto il vespaio (e non sotto il pavimento, in quanto presenta forte dispersione, non impedisce in primavera/estate la formazione di condensa sul piano di calpestio, e l'umidità invade il vespaio arrivando fino alla superficie di calpestio raffreddandola); non poggiare il vespaio direttamente su plinti e strutture in calcestruzzo armato ma su tavelline o forati in piano; di norma, la Resistenza termica di un buon vespaio è inferiore a 1.

Se applicato negli edifici storici, il sistema è fortemente invasivo, o addirittura distruttivo dei vecchi strati pavimentali.

---

<sup>27</sup> Ivi, p. 133.

In definitiva, nei vecchi vespai tradizionali umidi (non modificabili), la ventilazione è indispensabile (seppur generante un eccessivo raffreddamento per evaporazione e abbassamento della temperatura del pavimento); nel caso invece si realizzino vespai *ex-novo* tramite l'utilizzo degli accorgimenti tecnici sopra descritti la ventilazione può dimostrarsi superflua e quindi sconsigliabile.

Il pavimento radiante può contribuire notevolmente al miglioramento delle condizioni termo-igrometriche interne.

° Trasformazione dei sali: il trattamento prevede *«la conversione dei sali igroscopici, solubili in acqua, in cristalli non igroscopici, pesanti e insolubili, in modo da renderli stabili e non più in grado di migrare all'interno della muratura. Il processo di trasformazione può avvenire mediante l'applicazione di formulati chimici sulla superficie o attraverso l'installazione di un sistema elettrocinetico; in entrambi i casi l'intervento è irreversibile»*<sup>28</sup>.

L'estrazione può essere realizzata tramite due metodi: l'imbibizione della superficie con preparati liquidi per la precipitazione dei solfati, nitrati e cloruri, in soluzione acquosa, o tramite l'elettrosmosi attiva.

° Elettrosmosi attiva: è noto che la risalita dell'acqua nelle murature è da imputare ai campi elettrici (differenza di potenziale), creati dalla capillarità, fra la parte di muratura immessa nel terreno e imbibita d'acqua (caricata positivamente) e quella fuori terra dove avviene l'evaporazione (caricata negativamente). Il flusso ascendente di acqua e sali permane fino a quando permane questa differenza: è altrettanto noto che *«con l'impiego di corrente elettrica continua attraverso un liquido conduttore si può, per elettrosmosi, effettuare un trasporto di liquido attraverso setti porosi o semiporosi, con una velocità indipendente dallo spessore del settore.»*<sup>29</sup>

Il metodo consiste nel rendere elettricamente positivo un muro soggetto a risalita capillare applicando un potenziale elettrico a basso voltaggio di corrente diretta rispetto al terreno, tramite dispositivi che creando una zona positiva superiore richiamano l'acqua posta nella zona negativa generata nella struttura da deumidificare. La versione "ad anello e puntazze" consiste invece, a scale maggiori, in un cavo interrato perimetrale ricavato *sottotraccia* nella muratura in un edificio, generando potenziali elettrici più alti (e quindi maggiore forza indotta all'acqua).

Benché il sistema sia non invasivo e di rapida installazione, la sua efficacia è oggetto di forti critiche: per i Massari si tratta di un sistema dagli obiettivi difficili da realizzare (una riduzione del 25% in volume del contenuto umido nelle murature in laterizio), e basato su presupposti fisici che ne minerebbero sensibilmente l'efficacia (la massa muraria infatti potrebbe presentare una resistenza elettrica alla corrente con l'aumentare del prosciugamento). Sempre secondo il testo, *«l'elettrosmosi è veramente valida ed utile nel 1° ramo (a superficie satura ed evaporazione costante) del diagramma di Krischer e Görling, e perfettamente*

<sup>28</sup> L. NAPOLEONE, *op. cit.*,

<sup>29</sup> G. e I. MASSARI, *op. cit.*, p. 117.

*inutile nel 2° ramo (ad evaporazione decrescente) ossia inutile nel vero prosciugamento.»<sup>30</sup>*

Una moderna applicazione sono le tecnologie elettrofisiche “a neutralizzazione di carica” (T.N.C.): il sistema agisce, con un principio analogo a quello elettrosmotico, annullando la carica elettrica dell’acqua presente nel terreno a contatto con la muratura. Sono sistemi nati alla fine degli Anni '90 del secolo scorso che recentemente hanno avuto una discreta fortuna commerciale ma dai risultati difficilmente verificabili con la documentazione disponibile *online*.

Tra i diversi *modelli* oggi disponibili in commercio se ne sono analizzati cinque.

**Sistema LS–Domodry** (Leonardo Solutions S.r.l.) — [www.domodry.it](http://www.domodry.it)



Obiettivi: *«case più sane, più belle, meno care, più vivibili, con maggior valore»*; soluzione *definitiva* al problema della risalita capillare entro 36 mesi dall’installazione.

Sistema brevettato non *invasivo* e *totalmente biocompatibile* tramite l’installazione di un dispositivo *«generatore di deboli onde elettromagnetiche impulsive, opportunamente modulate in un definito range di frequenze»*.

Dimensioni: 28 x 17 x 6 cm.

Il dispositivo *«neutralizza la carica elettrica dell’acqua presente nel terreno a contatto con la muratura, interrompendo così la risalita di nuova acqua attraverso i capillari del muro. L’umidità in eccesso viene quindi espulsa gradualmente tramite evaporazione spontanea, più o meno velocemente a seconda delle caratteristiche costruttive del muro, della quantità d’acqua inizialmente presente nel muro stesso, nonché delle condizioni climatiche del luogo»*

Raggio d’azione: dai 6 ai 15 metri.

Vantaggi: più efficace e più economico (costo annuale 3 €) rispetto ai sistemi tradizionali; semplice installazione; *agisce sino alla base delle murature; risultato garantito indipendentemente da spessore e tipo di materiale del muro*; indipendente da tipo e grado di concentrazione dei sali presenti.

*Effetti benefici* sulla salute: i dispositivi hanno un’emissione elettromagnetica inferiore a quella

---

<sup>30</sup> Ivi, p. 120.

degli elettrodomestici casalinghi (0,015  $\mu$ T).  
Esempi: Mantova, Palazzo Te (2 dispositivi) —  
Ragusa Ibla, Duomo di San Giorgio (1 apparec-  
chio). Strumenti utilizzati per dimostrare  
l'efficacia del sistema: termografie e confronti  
fra i valori medi mensili di  $^{\circ}$ T e UA (monito-  
raggio annuale).

**Geniè** (Tecnova Group S.r.l.) — [www.tecnovagroup.it](http://www.tecnovagroup.it)



Sistema di *«deumidificazione muraria elettrofisica con tecnologia a “Risonanza di Impulsi in multifrequenza” garantito al 100%»*.

Dimensioni: 20 x 21 x 4,6 cm.

Il sistema *«di deumidificazione elettrofisica muraria più avanzato ed efficace. È capace di attivare un processo di deumidificazione completo e definitivo. Genera un treno di impulsi che entrano in risonanza nelle murature umide e, agendo sulla carica elettrostatica complessiva, abbassando la “linea di potenziale zero” (l'altezza massima raggiunta dall'umidità nel muro, dove il potenziale di risalita eguaglia la forza di gravità), su tutte le tipologie di materiale costituenti la struttura edilizia»*.

Il dispositivo *«genera un campo elettromagnetico all'interno della struttura muraria che entra in risonanza con le molecole d'acqua, e la loro struttura, fermandone la risalita»*.

Raggio d'azione: superfici che vanno dai 100 m<sup>2</sup> ai 5000 m<sup>2</sup>.

Vantaggi: sistema assolutamente funzionale e garantito nei casi di umidità da risalita capillare; testato in prestigiosi edifici storici; non invasivo e del tutto irreversibile; agisce solo all'interno della struttura muraria; *soddisfatti o rimborsati Innocuo* sugli esseri viventi e non interferisce con gli altri dispositivi elettrici: i dispositivi hanno un'emissione elettromagnetica inferiore a quella degli elettrodomestici casalinghi (0,02  $\mu$ T a 50 cm).

Esempi: Modica (Ragusa), ex Albergo dei Poveri (con CNR e protezione civile di Ragusa). *Risultati eccezionali*. Strumenti utilizzati per dimostrare l'efficacia del sistema: metodo PPM tramite sensori in cotto tramite metodo gravime-



trico (risultati espressi in  $l/m^3$ ); misure di controllo tra i 3 e i 6 mesi dopo l'installazione.

Altri esempi: Chiaramonte Gulfi, chiesa di San Filippo — Cremona, Cattedrale di Santa Maria Assunta — Noto, ex Convento dei Cappuccini — Fermo, chiesa di San Zenone — Caltanissetta, Cattedrale.

**Ecodyr** (Ecodyr Italia S.r.l.) — [www.ecodyritalia.it](http://www.ecodyritalia.it)



Obiettivo: «L'umidità in eccesso sarà contenuta entro i parametri naturali di una struttura muraria». A differenza di altri sistemi, si può regolare sul materiale di costruzione e sullo stato dell'immobile, tarando l'entità della risonanza a seconda del risultato.

Dimensioni: ---

Il sistema è basato sull'azione di «*blande onde elettromagnetiche emesse dalle apparecchiature; interagendo energeticamente con la molecola dell'acqua ne incentivano l'oscillazione tra gli atomi di idrogeno con un conseguente snaturamento di quelle caratteristiche molecolari alla base dell'umidità da risalita*».

«La deumidificazione a interazione molecolare agisce direttamente sulla struttura molecolare dell'acqua in tutte le sue conformazioni (molecola libera, struttura macromolecolare, nube di molecole degli ioni idrati), intervenendo in modo mirato e controllato su tutti i parametri che governano, in ambito cinematico e dinamico, l'umidità da risalita. Dall'ascensione dell'acqua nei capillari della muratura ha luogo il processo, per il quale l'acqua sale sempre più in alto per mezzo dei tre fenomeni chimico-fisici che ne permettono il movimento: capillarità, differenza di potenziale elettrico e gradiente di pressione osmotica. Sottili impulsi elettromagnetici intervengono in questo processo e invertono l'effetto ascensionale dell'acqua, agendo direttamente sulla struttura geometrica della molecola stessa e quindi sulle sue caratteristiche peculiari. Così come l'effetto naturale ha portato l'umidità nel muro, essa viene reindirizzata verso il basso per mezzo del metodo Eco-

*dry».*

Raggio d'azione: dai 10 ai 15 metri.

Vantaggi: tecnologia non invasiva, reversibile e totalmente ecocompatibile; processo di deumidificazione controllabile e ottimizzato.

Strumenti utilizzati per dimostrare l'efficacia del sistema: metodo gravimetrico su campioni prelevati dalle murature all'installazione del dispositivo e dopo 36 mesi; microonde; termografie.

**KontrolDRY (S.K.M. S.r.l.)** — [www.skm-italia.eu](http://www.skm-italia.eu)



Obiettivo: recupero e riqualificazione degli edifici di culto, edifici monumentali, edifici scolastici, edifici di abitazione, edifici ospedalieri, edifici pubblici, edifici industriali, ecc..., interessati da fenomeni di umidità da risalita capillare all'interno delle murature.

Dimensioni: 20 x 12 x 9 cm.

Il «*Sistema per il Controllo dell'Umidità di Risalita Capillare sfrutta una tecnica basata sulla compensazione del potenziale elettrico nativo  $V_0$  mediante la creazione di un campo elettromagnetico con frequenza e ampiezza studiati appositamente per ottenere un effetto di riduzione della bagnabilità delle superfici interne dei capillari*».

Le apparecchiature agiscono sulle strutture murarie degli edifici indipendentemente dal materiale utilizzato.

In un periodo medio di dodici settimane si può constatare una diminuzione in proporzione di percentuale di peso compresa fra il 20 e il 50%. Totale deumidificazione in un periodo da alcuni mesi a 2/3 anni nei casi più complessi.

Raggio d'azione: dai 6 ai 15 metri.

Vantaggi: tecnologia non invasiva, reversibile e totalmente ecocompatibile; processo di deumidificazione controllabile e ottimizzato; *soddisfatti o rimborsati*; il sistema blocca l'umidità in modo risolutivo e continuativo nel tempo; interviene su tutta l'opera muraria compresi pavimenti e fondazioni; i risultati sono garantiti indipendentemente dallo spessore e dalle tipologie delle murature oggetto d'intervento; bassi con-

sumi elettrici (4 € annui).

Tecnica non invasiva e il campo generato è appositamente studiato per essere efficace contro l'umidità e al tempo stesso non nocivo per l'uomo (emissione elettromagnetica di 0,0315  $\mu$ T a 30 cm).

Strumenti utilizzati per dimostrare l'efficacia del sistema: analisi termografiche; prove con igrometro (metodo al carburo di calcio); termoi-grometro a contatto; prove gravimetriche.

**Mur-tronic** (Primat S.r.l.) — [www.mur-tronic.com](http://www.mur-tronic.com)



Obiettivo: fermare il fenomeno della risalita capillare degli edifici e quindi permettere ai materiali, di cui sono composte le murature, di ritrovare un tasso igrometrico ideale e di assicurare durata ai lavori di recupero.

Dimensioni: ---

«*Equilibrando il campo geomagnetico, nel suo raggio di azione, il sistema agisce sulle cause alla base della risalita capillare, consentendo in modo naturale il risanamento delle murature. Il suo funzionamento è totalmente naturale, in quanto, non essendo alimentato dalla rete elettrica e non contenendo all'interno generatori di campi elettromagnetici né sorgenti radioattive, non genera radiazioni elettromagnetiche dannose alla salute*».

Raggio d'azione: ---

Vantaggi: elimina in modo definitivo l'umidità da risalita; completamente non invasivo; non alimentato; non necessita di manutenzione.

Più di 10.000 edifici risanati.

Ciò che invece lascia perplessi sull'efficacia di questi sistema sono sia le scarse (e non esaustive) prove *a favore* (ossia analisi scientifiche e di monitoraggio compiute sugli edifici prima e dopo l'intervento) sia i presupposti *generalizzati* e *semplificati* del metodo: si può supporre che edifici di varia natura e periodo storico presentino cause e condizioni di degrado ed eterogeneità costruttiva diverse gli uni dagli altri; il metodo invece vorrebbe commercialmente farsi ambasciatore di una "legge generale della deumidificazione", un metodo *standard* utilizzabile in qualunque caso e per qualsiasi evenienza (senza peraltro, nella documentazione illustrativa, indicare quali altri eventuali sistemi sono stati utilizzati in parallelo).

Crediamo invece che il metodo di risanamento e la strategia di intervento vadano attentamente studiati in campo utilizzando le metodologie e gli strumenti indicati nei successivi capitoli. Null'altro si può fare, per quest'ultimo metodo di recentissima nascita, che far sviluppare una corretta e oggettiva sperimentazione collegata ad una documentazione scientifica appropriata per poterne verificarne gli effettivi benefici sugli edifici.

## 1.5 L'umidità da condensazione

L'umidità di condensazione è quella derivante dal raffreddamento dell'aria ed è legata «alle contingenze meteorologiche del momento ed a quelle periodiche stagionali che determinano l'abbassamento di temperatura.»<sup>31</sup>

A differenza di quella ascendente è maggiormente legata alle condizioni climatiche, ha carattere di stagionalità e si manifesta in due forme principali: l'umidità *invernale* si produce in quei locali non abbastanza isolati termicamente verso l'esterno, mentre quella *estiva* avviene in determinati locali dell'edificio (quelli a contatto con il terreno raffreddato dalle temperature invernali) per contrasto fra l'aria calda dell'estate e le masse murarie ancora fredde per inerzia.

La diagnosi è di difficile formulazione. Accorgimento utile può essere quello della determinazione, tramite la misura della temperatura superficiale, della cosiddetta *parete fredda*, l'elemento architettonico (parete, pavimento, soffitto) che sottraendo calore all'aria ne provoca la saturazione. Il risanamento è legato a un intervento fondamentale — il mantenimento dell'aria ad una temperatura sufficiente affinché non avvenga la condensazione del vapore acqueo contenuto — o aumentando la protezione termica del locale, o compensando le perdite attraverso l'involucro riscaldandolo.

Va però posta attenzione, con questo secondo metodo, al caso in cui l'aria chiusa possa «*attingere umidità dall'ambiente stesso, come accade se vi sono superfici evaporanti (lavanderie, muri umidi,...). Infatti l'aria chiusa tende a saturarsi a temperatura costante tutte le volte che vi sia acqua disponibile da evaporare e calore pronto a provocare tale evaporazione.*»<sup>32</sup> Ad esempio, nei locali sotterranei durante la stagione invernale, con pareti e pavimenti già invasi dall'umidità ascendente dal sottosuolo, l'umidità dal pavimento passa all'aria e se questa si satura l'acqua di condensazione va a depositarsi sulla parte alta delle pareti, sui vetri delle finestre e su tutte le strutture più fredde. Si ha il continuo passaggio d'acqua dalle strutture murarie calde (a contatto con il terreno) alle superfici fredde aeree.

I criteri di difesa contro l'umidità da condensazione sono quattro:

*Il primo è quello di ridurre la produzione di vapore d'acqua quando questo ha origine all'interno dei locali da risanare; il secondo è quello di eliminare i materiali pesanti buoni conduttori del calore — marmi, cemento, laterizi greificati — e di rimediare con resistenze termiche addizionali all'eccessiva dispersione; il terzo è quello di sostituire il riscaldamento artificiale d'estate alla dannosissima pratica dell'elettroventilazione; il quarto è quello di rinunciare talvolta d'inverno al riscaldamento, che aumenta l'evaporazione delle pareti umide quando è presente anche l'umidità ascendente, ed ap-*

---

<sup>31</sup> Ivi, p. 147.

<sup>32</sup> Ivi, p. 149.

*plicare invece una moderata ventilazione naturale con aria fredda secca ottima asportatrice di vapore*<sup>33</sup>.

### 1.5.1 *Il comportamento dei materiali da costruzione*

Il comportamento dei materiali da costruzione al fenomeno dell'umidità da condensazione è legata alle loro diverse proprietà e alle tecnologie costruttive adottate. Fondamentale è la stratigrafia degli elementi di involucro e i materiali di cui sono costituiti. In special modo importante è la valutazione e la determinazione di alcune proprietà fisiche, come:

- ° la *conducibilità termica*  $\lambda$ , ottenuta dal rapporto, in condizioni stazionarie, tra la quantità di calore, trasferita per conduzione nell'unità di tempo attraverso l'unità di superficie, e il gradiente termico che provoca il passaggio di calore: è direttamente proporzionale alla densità e al contenuto d'acqua all'interno dei materiali (considerazione questa importante per la valutazione dei materiali e per i loro dati riportati nelle diverse schede tecniche);

- ° la *Resistenza termica*  $R'$  dei singoli materiali di ogni strato, definita come la *difficoltà* del calore ad attraversare un mezzo solido, liquido o gassoso, grandezza reciproca della conducibilità: è direttamente proporzionale allo spessore di un materiale, eccetto per le intercapedini d'aria che hanno resistenze massime con spessori di 4–6 cm;

- ° la *Resistenza termica totale*  $R$ , definita come l'inverso del *coefficiente di trasmissione*  $K$ .

L'umidità da condensazione superficiale si manifesta in due modi diversi, a seconda della struttura esterna dei corpi: «*Bagna quando la superficie è impermeabile — metallo, marmo, ceramica, intonaco di cemento, vernice — e macchia, cioè rende un po' più scuro il tono del colore quando la superficie è assorbente — gesso, intonaco di calce, laterizio*»<sup>34</sup>. È molto abbondante sulle superfici dei materiali buoni conduttori di calore (che disperdono subito il calore reso libero dalla condensazione stessa), ed è quindi più facile sui metalli che sulle pietre, e fra queste su quelle con maggiori densità (basalti, graniti).

Alcuni esperimenti hanno permesso il riscontro di diverse considerazioni relative al *respiro* delle pareti:

- ° le due condizioni che permettono lo smaltimento dell'acqua di condensazione dall'interno all'esterno sono la temperatura dell'aria esterna  $> -1^{\circ}\text{C}$ , e la muratura di buone qualità capillari (intonaci compresi);

- ° il miglior materiale è il mattone comune; valori medi per diversi materiali (mattone, tufo, arenaria) sono pari a 300 g/mc giorno d'acqua, in corrispondenza di una differenza di temperatura fra interno ed esterno di  $16^{\circ}\text{C}$ ;

- ° gli intonaci migliori sono quello di gesso per gli interni, e quello di malta di calce per l'esterno.

---

<sup>33</sup> Ivi, p. 160.

<sup>34</sup> Ivi, p. 149.

A seconda poi della diversa natura dei materiali varia anche la loro *risposta* (e quindi i possibili rimedi) al fenomeno (v. Tab. 7):

**Tabella 7.** Differenze fra materiali capillari e anti-capillari.

Materiali capillari (mattoni, tufo, arenaria)	La condensazione limitata non è dannosa quando l'umidità, trasmigrando attraverso il muro fino alla superficie esterna, può evaporare all'aria aperta. È da evitare il rivestimento con materiali impermeabili. Quando il movimento è libero, le cause del movimento sono due: la capillarità del materiale, che assorbe l'acqua di condensazione e la diffonde verso la zona più asciutta esterna, e l'evaporazione che smaltisce l'acqua ed impedisce al materiale di saturarsi e mantiene sempre attiva la capillarità.
Materiali anti-capillari (calcare compatto, gneiss, basalto, blocchi di cemento, calcestruzzo)	Il materiale impedisce il passaggio trasversale dell'umidità e ne determina l'accumulo sulla parete interna del muro, con conseguenze molto dannose. Utile è la realizzazione di contromuri in laterizio forato a camera d'aria non ventilata.

A livello microscopico un'altra considerazione è data dalla diversa natura dei pori: in quelli aperti, in cui il raggio dell'apertura  $r_a$  coincide con quello del poro  $r_p$ , il processo di condensazione è reversibile, ovvero *percorre lo stesso cammino* nel processo di evaporazione; in quelli chiusi invece, in cui l'apertura del poro ha dimensioni minori del suo diametro, il processo non è reversibile.

*Nei micropori esiste un raggio critico a cui corrisponde un certo valore di UR (inferiore al 100%) in corrispondenza del quale si innesca la condensazione o l'evaporazione [...].*

*Tenendo presente che nel processo di condensazione o evaporazione a ogni raggio del menisco dell'acqua corrisponde una UR di equilibrio diversa, il ciclo condensazione/evaporazione nei micropori chiusi avverrà seguendo le seguenti fasi:*

*a) il processo di condensazione comincia quando in aria l'UR che sta aumentando raggiunge il valore di equilibrio relativo al raggio del microporo. A questo punto il riempimento del poro sarà immediato. Infatti i raggi di curvatura dei menischi d'acqua durante la fase di riempimento del poro sono inferiori del raggio del poro e quindi in equilibrio con UR inferiori a quella raggiunta per l'innesco del processo.*

*b) Viceversa, nel processo di evaporazione il raggio critico per cui si innesca il processo è determinato dall'apertura della cavità. Raggiunta in aria questa UR di equilibrio l'evaporazione dell'acqua dal microporo sarà un processo immediato sino al totale svuotamento della cavità. Infatti i raggi di curvatura dei menischi d'acqua durante lo svuotamento sono in equilibrio con UR inferiori a quella già raggiunta per l'innesco del processo.*<sup>35</sup>

<sup>35</sup> A. BERNARDI, *Conservare opere d'arte. Il microclima negli ambienti museali*, Il prato, Padova 2004, p. 76.

Sulla base della distribuzione dei pori, la condensazione in un materiale avviene in maniera graduale interessando pori via via più grandi, mentre quelli di minori dimensioni sono già riempiti d'acqua: pori con diametri compresi fra 0,10  $\mu\text{m}$  e 10  $\text{Å}$  (limite molecolare dell'acqua), si riempiono d'acqua per valori compresi fra il 30% e il 100% di UR.

### 1.5.2 *Il fenomeno nelle diverse stagioni*

Il comportamento di una muratura è tanto più costante quanto costanti sono le condizioni a cui la stessa è sottoposta che possono avvenire durante l'anno.

Si possono riassumere i fenomeni più frequenti di condensazione delle murature in due casi:

- ° la temperatura interna dell'aria è più alta di quella esterna e della temperatura superficiale della muratura, e l'umidità specifica interna è molto maggiore rispetto l'umidità specifica esterna: «*Del vapore migra dall'interno verso l'esterno attraverso i pori e i capillari del muro. Quando le molecole d'aria incontrano uno strato murario la cui temperatura è più bassa del DP, avviene la condensazione*»<sup>36</sup>;
- ° l'aria esterna può cambiare temperatura e umidità specifica. Dopo un periodo freddo, con murature fredde, l'abbassamento della temperatura muraria sotto il livello di DP può essere causato da venti caldi e umidi (soprattutto con innalzamenti repentini della temperatura esterna). È il caso dello *stillicidio sciroccale*, spiegato maggiormente nelle righe successive.

Per il periodo invernale, possono essere descritti sei casi (v. Fig 4):

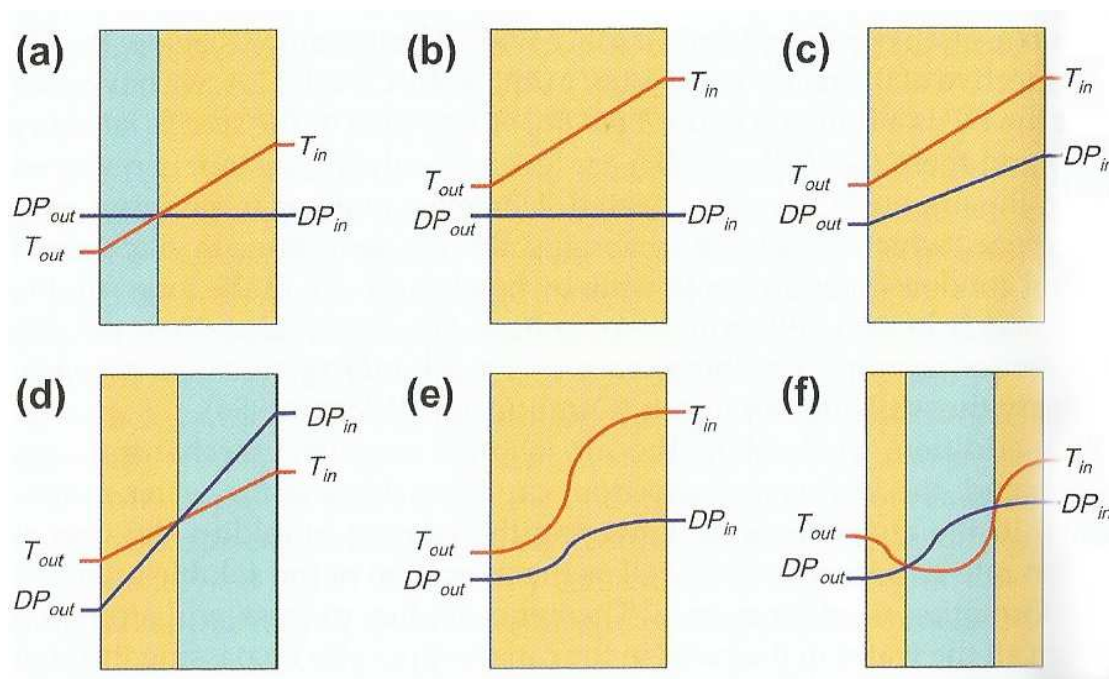
- ° la figura *a* illustra il fenomeno della condensazione interstiziale: gli andamenti di temperatura  $T$  e punto di rugiada  $DP$  all'interno della muratura sono lineari (generati dalla loro lunga stazionarietà interna ed esterna); nel caso di finestre aperte o di forti indici di ricambio d'aria, l'umidità specifica e il  $DP$  interni ed esterni presentano gli stessi valori; la temperatura esterna è molto più bassa di quella interna;
- ° la figura *b* illustra il caso più realistico in cui l'aria esterna, e quindi la temperatura interna del muro, sono maggiori o uguali al  $DP$ : è evidente che il fenomeno della condensazione interstiziale non è possibile;
- ° nel caso di edifici *abitati*, illustrato in figura *c*, il vapore rilasciato dalle persone, quello derivato dall'utilizzo dell'edificio e quello immesso per la compensazione del livello di UR incrementano il valore di  $DP$  interno, e come nel precedente caso la temperatura della muratura è, per l'intero spessore, maggiore del  $DP$ ;

---

<sup>36</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for Cultural Heritage*, p. 235. Testo originale: «*Some vapour migrates from inside to outside through the pore and capillary fringe of the wall. When the molecules meet a wall slab whose temperature is lower than the DP, condensation will occur*», traduzione dell'Autore.



- ° nel caso di ambienti affollati, il valore di DP può aumentare fino ad eccedere la temperatura superficiale interna della muratura, generando condensazione (figura *d*);
- ° sotto agenti *forzanti* esterni ed interni giornalieri, temperatura e DP possono assumere andamenti non lineari (figura *e*);
- ° l'ultima figura illustra il caso di andamenti non lineari intersecantisi, a seconda delle diverse caratteristiche delle componenti della muratura, in due (o più) punti.



**Figura 4.** Grafici dell'andamento della temperatura superficiale  $T$  e del punto di rugiada  $DP$  attraverso una muratura perimetrale di un edificio riscaldato nel periodo invernale: le parti indicate con colore arancione sono più calde del  $DP$  (e quindi asciutte), quelle con colore azzurro più fredde. Da D. CAMUFFO, *Microclimate for Cultural Heritage*, p. 234.

Condizioni d'uso *anomale* del periodo possono consistere nell'eccesso di affollamento e di riscaldamento. Con un aumento dell'umidità relativa interna del locale infatti, la condensazione interstiziale diviene superficiale con un deposito continuo di acqua liquida, innescando così una "reazione a catena": l'ambiente diviene umido, la Resistenza termica iniziale della muratura diminuisce insieme al suo potere coibente favorendo la diminuzione della temperatura interna. Controproducente è poi compensare l'insufficiente coibentazione termica della muratura aumentando il riscaldamento. Per frenare invece il raffreddamento notturno nel caso di intermittenza del riscaldamento è invece utile aumentare da un lato l'inerzia termica del muro — ossia il suo spessore e il suo peso per renderlo in grado di immagazzinare il calore — e dall'altro aumentare (dove possibile) la Resistenza termica con rivestimenti isolanti leggeri per conservare calda l'aria interna. In definitiva: «*Se la condensazione deriva da eventuale eccesso di vapore*

*per esigenze specifiche di uso del locale, si tenga presente che l'eccesso di vapor d'acqua si combatte con la ventilazione combinata però con adeguato aumento di riscaldamento. Qualche volta invece, quando la condensazione è notturna, conviene piuttosto eliminare l'intermittenza notturna nella condotta del riscaldamento»<sup>37</sup>.*

Lo *stillicidio sciroccale* è invece un fenomeno transitorio invernale legato «*all'entrata di aria calda ed umida dall'esterno entro locali freddi.*»<sup>38</sup> Dura solitamente due-tre giorni, è comune delle zone litoranee e marittime e tendenzialmente è saltuario. È maggiormente frequente nei locali aperti dei piani inferiori che rimangono freddi a causa dell'inerzia termica rilevante dell'involucro, in particolar modo quelli interrati o protetti da grossi spessori murari. Si manifesta sui pavimenti e sulle pareti (non solo quelle perimetrali) con depositi di gocce d'acqua, specialmente vicino agli ingressi.

Le cause sono riconducibili a tre condizioni: mancanza di riscaldamento, murature di grosso spessore e cambiamento meteorologico repentino. Rimedio utile è l'intercettazione dell'aria esterna e l'impedimento al suo ingresso.

La cosiddetta *tendenza alla saturazione* durante il periodo primaverile-estivo si produce in locali freddi che sarebbero asciutti, aventi involucri spessi dalla notevole inerzia. *Sarebbero asciutti* in quanto l'aumento dell'umidità relativa interna è causata dall'entrata di aria esterna più calda (all'interno del locale, all'abbassarsi della temperatura corrisponde a parità di umidità assoluta un aumento dell'umidità relativa), senza che vi sia la presenza attiva di sorgenti di vapore acqueo (superfici murarie evaporanti, affollamento eccessivo, scarsi ricambi d'aria). L'umidità generata non produce condensazione, e seppure non influenzi in profondità l'ossatura muraria rende comunque malsano l'ambiente.

È maggiormente frequente nei locali ai piani inferiori anche interrati con murature di grande spessore, privi di riscaldamento invernale, insolazioni e ricambi d'aria, ed è facilmente diagnosticabile da tre condizioni: aria prossima alla saturazione (80-100%), normalità delle murature al loro interno, e frequenza costante del fenomeno (dall'inizio della primavera a estate inoltrata).

Rimedi utili ed economici sono impedire all'aria abbastanza umida di entrare, la deumidificazione dell'aria in entrata, un elevato riscaldamento invernale protratto fino alla primavera o la posa di un sovra-pavimento.

La *condensazione estiva* è il peggioramento della situazione primaverile-estiva della tendenza alla saturazione, con l'aggravante che in questo caso si ha il passaggio di acqua dall'aria alle pareti e ai pavimenti, e quindi un'imbibizione superficiale delle murature. È simile per condizioni e fenomeni a quello precedente ed è spesso aiutata dalla presenza di murature fredde affette da umidità ascendente permanente dal sottosuolo, aggravandone gli effetti.

---

<sup>37</sup> G. e I. MASSARI, *op. cit.*, p. 162.

<sup>38</sup> Ivi, p. 174.

Rimedi generali sono quelli utili a «*impedire il raffreddamento dell'aria calda di ricambio a mano a mano che entra dall'esterno.*»<sup>39</sup> Risulta adeguato eliminare tutti i rivestimenti “pesanti” (marmo, ceramica, intonaci di cemento) e prevedere materiali leggeri, mentre nei locali interrati o semi-interrati, il risanamento si ottiene con vespai anti-condensanti sotto al pavimento e con contro-pareti dei muri portanti. Altri rimedi più sbrigativi sono quelli che consistono nel rivestimento con lastre coibenti, o nel riscaldamento dei locali.

### 1.5.3 Ventilazione, riscaldamento e riduzione dei ponti termici

«*Sia la ventilazione che il riscaldamento sono i due mezzi di più immediata efficacia per un provvisorio miglioramento igienico dei locali umidi (e in generale i più economici)*»<sup>40</sup>.

La ventilazione (inefficace per il risanamento delle murature soggette ad umidità ascendente dal sottosuolo) è utile invece per impedire all'aria dell'ambiente di diventare *troppo* umida. «*La grande vera efficacia della ventilazione è soltanto di impedire all'aria dell'ambiente di caricarsi troppo di umidità, e poiché in definitiva le persone e gli oggetti sono immersi nell'aria [...], così il risanamento dell'aria raggiunge in pratica lo stesso risultato come se avessimo prosciugato la muratura, ma solo finché dura la ventilazione*»<sup>41</sup>.

Tramite la *ventilazione naturale* il ricambio è dovuto all'azione del vento e alla differenza di temperatura fra l'aria interna e quella esterna. Generalmente aumenta con l'aumentare delle dimensioni delle aperture e con la diminuzione delle resistenze (dovute ad esempio all'arredo fisso) al circolo interno dell'aria. Per facilitare questa diminuzione possono essere previste delle bocche di aerazione sia a parete nei muri di spina alla quota del pavimento (ossia dove si verifica maggiormente il ristagno d'aria, in misura non inferiore a 0,10 m<sup>2</sup> ogni 100 m<sup>3</sup> d'ambiente) e nei pannelli inferiori delle porte. Per le finestre invece sarebbe preferibile l'adozione di aperture localizzate a *vasistas*, o a griglia, o la posa di “doppi vetri incompleti”, per i quali la ventilazione è assicurata dalla discontinuità dei pannelli vetrati. In generale «*nell'umidità ascendente da sottosuolo l'apertura di aeratori nel muro di spina e la corrispondente sistemazione degli infissi delle finestre a riscontro sono sufficienti per ottenere un deciso miglioramento in quei locali che, mentre hanno accentuati danni visibili, presentano invece nell'analisi basse percentuali d'acqua muraria.*»<sup>42</sup>

Una soluzione adottabile nelle nuove costruzioni può essere quella della cosiddetta “ventilazione Knapen”, con aperture basse, medie e alte rivolte all'esterno verso il basso, che sfrutta le minime differenze di temperatura fra pareti opposte (più attive comunque nella direzione del vento dominante).

---

<sup>39</sup> Ivi, p. 178.

<sup>40</sup> Ivi, p. 235.

<sup>41</sup> Ivi, p. 233.

<sup>42</sup> Ivi, p. 239.

Il ricambio d'aria con camini a tiraggio naturale è un metodo invece utilizzabile nei locali umidi, sotterranei e nelle intercapedini, che sfrutta un principio *termico* o *dinamico* (a seconda che sfrutti differenze di temperatura o la ventilazione già presente) utilizzando camini appositamente costruiti o vecchie canne fumarie in disuso e la differenza di peso di due colonne d'aria opposte.

Nell'*elettro-ventilazione* viene utilizzato un ventilatore elicoidale a bocca libera, da applicare ad un infisso esterno o a una griglia a parete per gli impianti più semplici, o per gli impianti a più bocche uno di tipo centrifugo. Il suo utilizzo è pre-ordinato alle condizioni dell'aria esterna (deve ossia funzionare a seconda che l'aria sia adatta o meno ad asportare l'umidità interna). Il funzionamento dipende da due parametri, la portata in m<sup>3</sup>/min. e la pressione in mm di colonna d'acqua (definita *prevalenza*): come requisiti progettuali si può ritenere di ridurre, per il risanamento di qualunque ambiente umido, l'umidità relativa dell'aria sotto il 65% durante il periodo invernale e sotto il 75% nel periodo estivo, prevedendo inizialmente almeno due ricambi orari. Date le condizioni esterne, sono da evitare: l'elettro-ventilazione notturna (in Italia la massima UR dell'aria esterna è massima tra le 11 di sera e le 6 del mattino, ed è minima tra le 11 del mattino e le 16 del pomeriggio), l'eccessiva ventilazione invernale (con aria a basse temperature), e quella durante il periodo estivo (aria si calda ma molto umida, e andrebbe pertanto effettuata solo per brevi periodi).

Il *riscaldamento* influenza il risanamento dell'aria abbassandone l'umidità relativa e accelerandone il ricambio naturale attraverso le aperture. A contrario, è dannoso nel caso di locali senza ventilazione, soprattutto nel periodo invernale. È invece utile durante il periodo estivo e primaverile contro l'umidità da condensazione.

*«La condensa dipende strettamente dalle contingenze meteorologiche e climatiche stagionali, e perciò si può parlare di condensa invernale o estiva. Con l'innalzamento della temperatura è possibile indurre una diminuzione dell'UR, grazie anche all'agevolazione del ricambio d'aria naturale»<sup>43</sup>.*

Durante il periodo estivo infatti è un ottimo rimedio contro alcuni casi di umidità nei locali interrati o seminterrati. Migliori risultati si ottengono cedendo calore non all'aria ma direttamente alle murature (*«i serpentine annegati a pavimento [...] risolvono a perfezione il problema»<sup>44</sup>*). Una soluzione alternativa può consistere nel riscaldare direttamente le pareti: come visto infatti nei diagrammi di Kettenacker è il limitato spessore a contatto con la muratura o con il pavimento *in stasi* la sede dei fenomeni termo-igrometrici di azione reciproca fra superfici fredde e vapore acqueo contenuto nell'aria, mentre la massa d'aria centrale resta pressoché estranea a quanto accade vicino alle superfici fredde.

Tendenzialmente, basta ridurre la differenza di temperatura fra aria esterna e aria interna a 3–4 °C.

<sup>43</sup> L. NAPOLEONE, *op. cit.*, p. 880.

<sup>44</sup> G. e I. MASSARI, *op. cit.*, p. 249.

Come già detto, ricambio dell'aria e riscaldamento degli ambienti sembrano non dare risultati risolutivi in caso di risalita capillare. Come dimostrato da Kettenacker infatti

*in una struttura opportunamente ventilata e riscaldata, il prosciugamento inizia dall'alto, mentre al di sotto della linea di massima risalita, il tasso di umidità presente nella muratura rimane invariato. L'ipotesi di Kettenacker si basa sulle seguenti considerazioni:*

- *in un materiale umido in cui l'evaporazione superficiale sia forzata con la ventilazione e con il calore del sole, l'incremento dell'acqua evaporata porta a un aumento dell'acqua assorbita dal basso;*
- *in un muro umido il fenomeno è analogo: aumentando la velocità di evaporazione aumenta la velocità di risalita e la resistenza dell'acqua negli spazi capillari.*

*Il prosciugamento inizierà così a verificarsi solo quando la velocità d'evaporazione sarà maggiore di quella di risalita, iniziando sempre dall'alto.[...] Dal punto di vista della conservazione materiale dei manufatti, il sistema non produce miglioramento, anzi la quantità di acqua che transita attraverso il muro aumenta con i relativi problemi che ne derivano (trasporto e cristallizzazione dei sali ecc.)<sup>45</sup>.*

L'analisi dei diversi sistemi di riscaldamento sarà meglio descritta nel capitolo 6.

Un altro sistema utilizzabile raramente e con molte precauzione è la riduzione dei ponti termici.

I ponti termici sono aree circoscritte con isolamento minore rispetto al loro ambiente, generalmente localizzate nelle zone di contatto tra materiali e strutture differenti. Tecnica ormai adottata nelle costruzioni tradizionali, è di difficile applicazione negli edifici storici.

Il primo metodo consiste nel perseguire l'isolamento delle parti esposte al passaggio di calore con l'interposizione di strati coibenti tramite la sostituzione degli elementi deboli con altri termicamente più efficaci, metodo sicuramente distruttivo delle strutture storiche. Interventi attuabili in rari casi riguardano la posa in opera di strati di materiale termocoibente.

## **1.6 L'acqua da "pioggia a vento"**

Terzo caso di apporto di umidità alle murature è quella derivante dalla "pioggia a vento".

Il fenomeno provoca una forma di umidità all'interno delle murature con frequenza saltuaria e in quantità generalmente limitate, ma che può assumere caratteri di intensità in caso di forti piogge ripetute nel tempo (ossia quando l'evaporazione non è sufficiente). L'acqua penetra nella struttura grazie a due condizioni, la capillarità e la pressione del vento: la prima la fa penetrare nel muro, mentre la seconda la porta a contatto.

---

<sup>45</sup> L. NAPOLEONE, *op. cit.*, p. 882.

Oltre ai caratteri già descritti, per i paramenti in laterizio è utile trarre alcune considerazioni:

- ° l'umidità è generalmente limitata ai soli lati dell'edificio esposti al fenomeno;
- ° l'assorbimento dell'acqua varia a seconda del tipo di giunti (se sono colmati e stilati la quantità oscilla da 0,50 a 0,80  $\frac{1}{m^2}$  al minuto, mentre se non lo sono la quantità aumenta dai 2 ai 9  $\frac{1}{m^2}$  minuto);
- ° l'assorbimento minimo è quello dell'intonaco di calce e sabbia (0,10  $\frac{1}{m^2}$  al minuto). Maggiore è il contenuto di cemento, maggiore è la probabilità di cavillatura (e maggiore in questo caso di conseguenza l'assorbimento, fino a 2-3  $\frac{1}{m^2}$  al minuto);
- ° in una parete di costruzione omogenea in mattoni e intonaco, la penetrazione varia dai 6 ai 7 cm sotto il rivestimento (negli altri materiali il comportamento è molto diverso da quello del laterizio).

Le cause dell'umidità che appare nella parete interna possono essere due: «*O la cattiva confezione originaria del muro, oppure la condensazione da raffreddamento sulla parete interna per l'insufficiente spessore del muro*»<sup>46</sup>. Diverso è invece il caso di umidità presente in interi edifici, nei quali si è in presenza di “difetti sistematici” dovuti «*all'impiego di forati nella tamponatura della gabbia di cemento armato per le esposizioni battute dalla pioggia a vento; l'impiego di muratura in spessore insufficiente per il clima del luogo; l'impiego di giunti nelle strutture prefabbricate, che danno luogo ad aspirazione capillare dell'acqua battente*»<sup>47</sup>.

Altro rapporto da indagare è quello fra pioggia e raffreddamento della muratura: un “mito” da sfatare è quello dell'attraversamento nella muratura dell'acqua di pioggia.

La distribuzione dell'acqua all'interno di una muratura evidenzia come il massimo valore sia quello riscontrabile sulla superficie interna, con quantità limitate nel “nocciolo” e all'esterno. Fenomeno parallelo all'evaporazione successiva alla pioggia è il raffreddamento della muratura per il suo intero spessore, raffreddamento che può, con determinate quantità di umidità relativa dell'aria interna, causare la condensazione del vapore in essa contenuto. Per quantificare questo raffreddamento è necessario definire la cosiddetta “temperatura equivalente da pioggia inclinata”, pari a quella dell'aria diminuita di un valore (dipendente non dalla latitudine del luogo ma dalla umidità relativa e dalla velocità dell'aria, ossia dalla sua capacità prosciugante) dovuto al raffreddamento stesso. «*Quanto più secca e ventosa sarà l'aria dopo un periodo di pioggia, tanto più elevato sarà il decremento e perciò più bassa la temperatura equivalente dell'aria sul lato bagnato dell'edificio*»<sup>48</sup>.

<sup>46</sup> Ivi, p. 217.

<sup>47</sup> Ivi, p. 218.

<sup>48</sup> Ivi, p. 223.

Tendenzialmente, su base nazionale il decremento nel periodo invernale-primaverile varierebbe da un minimo di 0,40 a un massimo di 3,70 °C. Rimedio utile è quello di favorire la naturale evaporazione dell'acqua di condensazione interna della muratura, evitando l'utilizzo di intonaci cementizi.





## 2. IL RAPPORTO TRA ACQUA ED EDIFICIO NEI TRATTATI STORICI

### 2.1 I trattati

«L'esperienza delle cose passate è consolante. La forza del nostro intendimento giace spesso in noi.» Con queste parole Francesco Milizia nei suoi *Principj di architettura civile* riconosce alla storia e alla sua conoscenza una funzione *stimolatrice* che deve, in un vero slancio illuministico, costituire la base di una ricerca verso nuove “conquiste” future: «Forse dacché è mondo, niuno è finora giunto fin dove si può giungere, e niuno avrà fatto il fattibile. Le scienze e le nuove scoperte lo hanno dimostrato, e ci dimostrano che si può andar più lungi».

“L'esperienza delle cose passate” è fondamentale per la conoscenza dell'odierno, anche e soprattutto in ambito architettonico. I principali materiali da costruzione storici (pietra, mattoni, legno e malte) sono utilizzati ancora oggi (naturalmente con funzioni e ruoli ben diversi), ed è innegabile che ripudiare le lezioni (e respingere gli errori) di quasi due millenni di ricerca sui materiali, sulle loro caratteristiche naturali e sui loro comportamenti in opera è un'azione improduttiva. L'archeologia dei materiali è la disciplina che indaga i metodi della loro estrazione, formazione ed utilizzo, ma agli scopi di questa ricerca è altrettanto importante indagare come il rapporto “acqua/edificio” sia stato esaminato nella storia di questa disciplina.

Il capitolo è organizzato in due parti sull'analisi di tre trattati: nella prima si descriveranno i principali materiali da costruzione (la pietra, i mattoni e le calce) e le tecniche costruttive delle murature e delle fondazioni (concentrandosi su quelle realizzate in presenza di umidità), mentre nella seconda si analizzerà come i “guasti” e i “vizi” provocati dall'umidità sugli edifici venivano trattati nei testi scelti. Sull'esempio dei principali autori — che citavano e conoscevano approfonditamente le opere dell'*antichità* — *le risposte ai problemi di oggi sono racchiuse (anche) nei Libri del passato*.

Ciascuno di essi è autore-simbolo di uno specifico periodo storico, tutti collegati ma ciascuno diverso.

#### 2.1.1 De architectura di Marco Vitruvio Pollione, nell'edizione di Daniele Barbaro (1567)

I dieci libri del *De architectura* di Marco Vitruvio Pollione costituiscono l'unico trattato sull'architettura giunto integro (senza illustrazioni) dall'antichità, opera fondamentale per gli artisti del Rinascimento italiano. Nel trattato sono analizzati molti e diversi temi, dai materiali e le tecniche edificatorie (Libro II) agli edifici *municipali* (Libro V), dalla casa privata (Libro VI) alla costruzione di

macchine e la meccanica (Libro X), l'acqua e gli acquedotti (Libro VIII); alla definizione di Architettura e al ruolo dell'architetto e alla sua formazione è invece dedicato il Libro I.

Il trattato è destinato ad un'ampia cerchia di fruitori, rivolto «*direttamente ai committenti (indirettamente agli architetti solo quando espone il suo programma di formazione professionale), committenti che devono essere messi in condizione di costruire in ambito privato senza ricorrere agli architetti.*»<sup>1</sup>

Nel Libro I Capo II è presente una prima definizione di Architettura: «*Consiste in Ordine, in Disposizione, in bel Numero, in Compartimento, in Decoro, & in Distribuzione*». Questi sei principi — poi ciascuno ampiamente descritto ma giudicati storicamente dalla critica come “complessi” e dalla limitata chiarezza — appartengono a due differenti categorie: «*Ordinatio–dispositio–distributio sono tre modi di agire in vista dello scopo da raggiungere, ed eurythmia–symmetria–decor sono tre proprietà della cosa fatta*»<sup>2</sup>.

Lo stesso Libro contiene un'altra *singolare* definizione relativa ad una trilogia suggestiva seppur non altrettanto “famosa” come la triade *firmitas-utilitas-venustas*, quella cioè per la quale «*le parti dell'Architettura sono tre Edificazione, Gnomonica, Machinatione.*» Agli orologi, intesi come orologi solari, è ricongiungibile un'analisi del Libro II, quello più “interessante” per questa ricerca e dedicato ai materiali: il Libro può essere visto come «*un racconto di vita, sulla terra e sotto il cielo, soggetta alle forze della natura e alle sue leggi — come quella degli uomini e degli animali e dello stesso ordine che governa le stelle e i pianeti*»<sup>3</sup>; i materiali, viva materia che reagisce alle condizioni atmosferiche e al trascorrere delle stagioni e del tempo, sono analizzati attraverso la loro descrizione e lo studio del loro ambiente naturale.

Sempre nel Libro I è trattata l'*aedificatio*, ossia la costruzione degli edifici privati e pubblici (come porti, mercati, terme e teatri, distinti secondo le tre destinazioni principali — la difesa «*per scacciare gl'impeti de i nimici continuamente*», la religione per «*la collocatione del templij, & delle sacre case, de gli immortali Dei*», e la convenienza relativa «*la dispositione de i luoghi communi all'uso pubblico*»). Al capo VI appartiene invece la definizione della celeberrima *triade vitruviana*, il principio fondamentale del trattato: «*Haec autem ita fieri debent ut habeatur ratio firmitatis, utilitatis, venustatis*», in base alla quale tutti gli edifici devono essere costruiti. «*Per questo l'edificio dovrà avere fundamenta solide e sarà costruito usando i materiali più idonei, sarà adatto al suo scopo e la sua forma, oltre a consentire l'uso migliore di tutti gli spazi, sarà anche bella.*»<sup>4</sup>

Nel tempo la triade è stata “rivista” ed ampliata negli ambienti architettonici europei, sostituendo e traducendo i tre principi con altri valori non espressi direttamente nel Libro I ma comunque leggibili all'interno dell'opera: in Francia ad esempio la *venustas* a volte è tradotta nel termine *voluptas*, in Italia invece la *utilitas* diviene *commoditas* e la *firmitas perpetuitas*. Proprio quest'ultimo termine

<sup>1</sup> H.W. KRUFIT, *Storia delle teorie architettoniche da Vitruvio a oggi*, Laterza, Bari 1988, p. 6.

<sup>2</sup> F. BOSSALINO, introduzione a VITRUVIO, *De architectura*, Edizioni Kappa, Roma 2002, p. 12.

<sup>3</sup> Ivi, p. 19.

<sup>4</sup> Ivi, p. 20.

può essere sia riscontrato<sup>5</sup> nel principale trattato italiano del XVI secolo, i *Quattro libri dell'Architettura* di Andrea Palladio, sia espresso e definito nel Libro II ad esempio nella relazione fra i muri “a sacco” romani e quelli greci in pietra: mentre i primi sono costituiti da materiali diversi in tre spessori, i secondi sono ottenuti con un solo materiale, «ponendoli piani, & ordinando le lunghezze de i corsi in grossezza con alterne commissure, non empiono il mezo, ma con i loro mattoni, che chiamano frontati, fanno continuato il parete, & di una grossezza rassodato, & oltra le altre cose interpongono quelli dall'una parte» (Libro II capo VIII). A differenza del Palladio, *perpetuitas* nel trattato è quindi la continuità della muratura; quando invece è trattato il concetto di “durata” sono impiegati i due termini di *diuturnitas*, riferito ai materiali, e *vetustas*, relativo agli edifici.

Al rispetto della *regola aurea*, è sovrapposta la formazione necessaria all'architetto: insieme alla *fabrica*, il «continuo, & essercitato, & come via trita, & battuta da passaggieri frequentato pensiero d'indirizzare le cose a fine conveniente» (introduzione Libro I), è definita anche la *ratiocinatio*, tramite la quale «le cose fabricate prontamente, & con ragione di proportione può dimostrando manifestare», entrambe ugualmente necessarie all'architetto per la propria opera. Solo coloro che le possiedono hanno raggiunto il loro scopo, in misura maggiore quanti possiedono «talento e docilità verso la disciplina.» L'architetto deve essere conoscere le lettere, il disegno, la geometria, l'ottica, l'aritmetica, la storia e la filosofia, la musica e la matematica, l'astrologia, la medicina («per conoscere le inclinazioni del Cielo, climata, da Greci nominate. & gli acri de i luoghi salubri, o mal sani, & per l'uso delle acque», Libro I capo I) e il diritto. È sorprendente scorrere l'elenco delle discipline: il Libro I appare anticipatore non solo di una mentalità umanistica e del ruolo che l'architetto svolgerà nella società a partire dal Rinascimento, ma contiene alcuni principi ancor oggi fondamentali per la professione. Come un corpo è costituito dalle sue parti, tutte le discipline non possono essere disgiunte ma devono comunicare tra loro, disegnando tutte un'armonia che — posta alla base della costruzione del “buon edificio” — rappresenta il rapporto proporzionato tra Uomo e Natura.

### 2.1.2 De re aedificatoria di Leon Battista Alberti, nell'edizione di Cosimo Bartoli (1565)

All'interno della vasta produzione trattatistica di Leon Battista Alberti spiccano tre opere con le quali l'architetto e trattatista analizzò «tre discipline che non erano ancora classificate tra le artes liberales. Farne oggetto di saggi autonomi

---

<sup>5</sup> Tre cose in ciascuna fabrica – come dice Vitruvio – deono considerarsi, senza le quali niun edificio meriterà esser lodato: e queste sono l'utile, o comodità, la perpetuità e la bellezza. [...] Alla perpetuità si avrà riguardo quando tutti i muri saranno dritti a piombo, più grossi nella parte di sotto che in quella di sopra, et averanno buone e soffocienti le fondamenta; e oltre a ciò le colonne di sopra saranno al dritto di quelle di sotto, e tutti i fori, come usci e fenestre, saranno uno sopra l'altro: onde il pieno venga sopra il pieno et il voto sopra il voto (da A. PALLADIO, *I Quattro libri dell'architettura*, Libro I Capo I).

*significava metterle sullo stesso piano di geometria, musica, poetica e retorica*»<sup>6</sup>: il *De pictura*, pubblicato in due edizioni nel biennio 1435–1436 in latino e da lui stesso tradotto in volgare, il *De statua* del 1438 e il *De re aedificatoria*, scritto tra il 1443 e il 1452 (anno in cui la prima redazione dell'opera appare in gran parte ultimata) su commissione del marchese ferrarese Lionello d'Este e pubblicato solo nei primi anni Ottanta del XV secolo dopo un periodo preliminare di diffusione in circoli umanisti e in alcune corti illuminate. La prima traduzione in lingua volgare completa di illustrazioni fu pubblicata nel 1565 a cura di Cosimo Bartoli.

Il termine scelto di *aedificatoria* — peraltro di ardua traduzione, tanto che riferendosi al suo trattato lo stesso Alberti parlava di *libro di architettura*, e oggi riconducibile a quello di “edificazione” — rimanda apertamente «*sia alla dimensione sociopolitica dell'architettura sia a quella estetica, cioè alla sua dimensione umana (per Alberti “è la casa che fa l'uomo”, il che fa del De re aedificatoria un testo di antropologia ante litteram).*»<sup>7</sup>

Il trattato è strutturato in dieci libri, sul modello del *De architectura*, e nello stesso modo l'autore non solo opera nella comprensione dei principi dell'architettura classica fondati sulla natura e sulla ragione, ma altrettanto «*sceglie, quali criteri di analisi principali, i principi di solidità, utilità e bellezza (firmitas, utilitas e venustas).*»<sup>8</sup> Tuttavia l'opera è organizzata in modo differente: nel I Libro, intitolato *Disegni*, analizza le parti dell'edificio legate all'utilità (la regione, il terreno, la pianta, i muri portanti, il tetto e le aperture); il II Libro, *Materia*, è un trattato sui materiali, mentre nel terzo, *Opera*, affronta gli aspetti riguardanti la *firmitas*; il IV e il V Libro si occupano dell'*utilitas* tramite la descrizione di edifici ordinari e particolari, mentre i Libri dal sesto al nono della *venustas* e dell'ornamento sugli edifici sacri, di quelli pubblici e delle costruzioni private. Il libro X tratta infine della *correzione* descrivendo le tecniche di restauro e di conservazione delle strutture, «*aggiuntoci una varia historia delle acque, & come si trovino, & quello che nelle facende giovi lo Architetto*» (proemio, Libro I).

Nel trattato dell'Alberti — convinto assertore della tesi per la quale gli antichi vadano sì presi a riferimento come punti di partenza senza però attenersi minuziosamente ai loro schemi quasi fossero dogmi o leggi inderogabili, lasciando all'Architetto nuove e *gloriose* soluzioni — è criticato il *De architectura* sia per l'incoerenza del suo schema sia per *l'oscurità della sua terminologia*<sup>9,10</sup>, ed è strutturato su solide e rigorose basi sistematiche.

<sup>6</sup> B. EVERS e C. THOENES, *Teoria dell'architettura. 117 trattati dal Rinascimento a oggi*, Taschen, Colonia 2003, p. 22.

<sup>7</sup> M. PAOLI, *Leon Battista Alberti*, Bollati Boringhieri, Torino 2007, p. 46.

<sup>8</sup> B. EVERS e C. THOENES, *op. cit.*, p. 24.

<sup>9</sup> M. PAOLI, *op. cit.*, p. 50.

<sup>10</sup> «*Vitruvio; Scrittore veramente, che sapeva ogni cosa, ma per la lunghezza del tempo in modo guasto, che in molti luoghi, vi mancano molte cose, & in molti ancora molte più cose vi si desiderano. [...] Conciosia che egli parlava, di maniera, che a Latini pareva che è parlasse Greco, & a Greci pareva che egli parlasse Latino [...] di modo che egli è ragionevole, che egli non scrivesse a noi, perché egli scrisse di maniera, che noi non lo intendiamo*» (dall'introduzione del Libro VI).

L'importanza del disegno è messa in risalto fin dall'introduzione, concepito come operazione mentale a metà strada tra mezzo di raffigurazione e dispositivo progettuale: «*Quanto al disegno, tutto il suo oggetto e il suo metodo consistono nel trovare un modo esatto e soddisfacente per adattare insieme e collegare linee e angoli, per mezzo dei quali risulti interamente definito l'aspetto dell'edificio*»<sup>11</sup>. Il disegno — testato tramite i modelli nel caso si riveli sbagliato — e i suoi scopi definiscono l'Architettura come arte *liberale* e stabiliscono la funzione intellettuale e sociale dell'architetto, il quale componendo la forma dell'edificio ne eleva il valore *omni materia seclusa*, ossia oltre quello dei materiali utilizzati; un'affermazione che ha attirato verso Alberti forti critiche contro l'apparenza di «*una dichiarazione di indifferenza per i problemi della realizzazione pratica dell'opera, un disdegno della tecnica da parte dell'umanista [...]* Per chi ha letto attentamente l'intero trattato albertiano, è appena credibile che una simile mistificazione sia stata possibile.»<sup>12</sup>

«*In termini di progetto intellettuale, il De re ædificatoria resterà la più ambiziosa silloge di riflessioni teoriche sull'architettura ben oltre il Quattrocento, non solo per la scelta del latino come lingua di redazione, ma anche per la rinuncia alle illustrazioni.*»<sup>13</sup> Nella sua forma originaria e fino all'edizione di Cosimo Bartoli il trattato fu pubblicato senza apparato iconografico, una scelta criticata dagli architetti coevi ma giustificata da Alberti tramite un'argomentazione classica («*Secondo la tradizione la divinità di Mercurio si manifestava soprattutto in ciò, che riusciva a farsi comprendere alla perfezione esprimendosi con sole parole e senza far segni con le mani. La stessa cosa cercheremo di fare noi per quanto possibile, pur dubitando di riuscire nell'intento*», è scritto nel Libro I) e dall'esigenza di non affidarsi ad immagini che nelle successive versioni dei copisti sarebbero state inevitabilmente soggette a deformazioni e distorsioni.

Anche Alberti considera il bravo architetto uno scienziato dotato di alte qualità morali, esponente di un élite. È scritto infatti nel capitolo X del Libro IX che «*gran cosa certo è la Architettura, ne stà bene che ogn'uno si metta a tanta impresa, bisogna che sia di grandissimo ingegno, studiosissimo, habbia ottima dottrina. Et è di necessità che sia sperimentato assai, & sopra tutto che habbia purgato giudicio, & maturo consiglio, colui che ardisca di far professione di Architetto.*»

### 2.1.3 I Principj di architettura civile di Francesco Milizia (1781)

Autore polivalente, secondo Hanno Krufft «*il più influente teorico italiano dell'architettura della fine del XVIII secolo*»<sup>14</sup>, Francesco Milizia si occupò interamente nel primo Neoclassicismo di critica dell'Architettura (benché non esercitasse la disciplina) riassumibile nella sua opera principale del 1768, *Le Vite de'*

<sup>11</sup> M. PAOLI, *op. cit.*, p. 51.

<sup>12</sup> P. PORTOGHESI, introduzione al *De re ædificatoria*, p. XXIII.

<sup>13</sup> B. EVERS e C. THOENES, *op. cit.*, p. 25.

<sup>14</sup> H.W. KRUFFT, *op. cit.*, p. 267.

*più celebri architetti*. Sostenitore di un'Architettura razionale e funzionale, la sua ricerca si basava sulle opere di Carlo Lodoli e sul *Saggio sull'architettura* del 1753 di Marc-Antoine Laugier; nella sua autobiografia si descrive come «*un dilettaante istruito, un uomo comune dotato di una buona capacità di giudizio, desideroso di imparare, non particolarmente profondo e poco propenso alla riflessione.*»<sup>15</sup>

Per Milizia, l'evoluzione dell'Arte è legata a quella della Civiltà. La sua seconda opera, i *Principj di architettura civile* del 1781 costituisce «*il più importante contributo del neoclassicismo alla teoria dell'architettura. [...] Questo successo si deve tuttavia anche e in buona parte all'esposizione sistematica dell'argomento e alla chiarezza con cui Milizia difende "un'architettura filosofica" illuminata, influenzata dall'idea di bellezza totale.*»<sup>16</sup> L'autore suddivide il testo in tre parti, corrispondenti alla triade vitruviana («*La bellezza in architettura si fonda su concetti che sono parimenti ispirati a Vitruvio, vale a dire ornato, simmetria, euritmia e convenienza*»<sup>17</sup>), sviluppata però in "ordine inverso". Scopo del trattato è la rifondazione dell'Architettura secondo i principi della filosofia, sottolineato dall'autore nel suo *Memorie degli Architetti antichi e moderni* del 1785: «*Il ragionamento sopra ogni soggetto, che ha preso tanta voga dalla metà di questo secolo, si è introdotto nelle Belle Arti, e analizzando la verità del sentimento depura il gusto*». Milizia però non vuole costruire un sistema nuovo e originale, ma piuttosto una teoria efficace, semplice e sintetica «*che parte dalla definizione di poche regole chiare, alla quale concorrono anche idee estrapolate da altri autori, in particolare il Laugier, copiato anche pedissequamente.*»<sup>18</sup> Da Laugier il Milizia riprende l'idea della capanna primitiva come fondamento dell'Architettura greca, "vera" rispetto alle altre maniere in quanto imitazione della natura, stemperandone e moderandone le conseguenze pratiche ammettendo ad esempio l'uso dei pilastri (considerati «*molto meno belli delle colonne, nondimeno in molte occasioni sono necessari, e possono anche impiegarsi con sufficiente convenienza*»).

Con la sua opera Milizia definisce interamente la geometria come scienza essenziale e fondamentale nel processo dalla teoria alla pratica: «*La sua matematica, basata dal calcolo e slegata dal contesto cosmologico della matematica tradizionale, è diventata ormai necessaria all'educazione dell'Architetto*»<sup>19</sup>.

## 2.2 Le cause dei vizi e i metodi di intervento: *prevenzione e restauro*

Il tema del *restauro* non è sviluppato da tutti gli autori in maniera autonoma e organica: Alberti dedica un intero Libro, il decimo, alla *restaurazione de gli edi-*

<sup>15</sup> *Ibidem.*

<sup>16</sup> B. EVERS e C. THOENES, *op. cit.*, p. 184.

<sup>17</sup> *Ivi*, p. 185.

<sup>18</sup> *Francesco Milizia e il Neoclassicismo in Europa. Atti del Convegno Internazionale di Studi Oria 1998*, a cura del C.N.A. Ordine di Brindisi, Laterza, Bari 2000, p. 222.

<sup>19</sup> a cura di V. HART e P. HICKS, *Paper Palaces. The Rise of the Renaissance Architectural Treatise*, Yale University Press, Londra 2000, p. 357.

*fici*, così come il Milizia il suo Libro III del Tomo III, ma non è presente nel *De architectura*. Ciascuno però, sulla base della tradizione costruttiva caratteristica del proprio tempo e sull'esempio degli *Antichi*, fonda la trattazione dei materiali da costruzione sulla *buona edificazione* come origine della resistenza degli edifici nel tempo, nel rispetto dei principi della triade vitruviana. I mattoni potranno essere utilizzati soltanto dopo l'appropriato processo d'estrazione e produzione, ciascun tipo di legname ha le proprie caratteristiche specifiche e quindi conseguenti diversi metodi di utilizzo in cantiere, alla qualità delle calci e delle malte, materiali di difficile produzione, è connessa la *bontà* delle murature stesse e dell'intero edificio. Nella prima fase, riconducibile nella *prevenzione*, compito dell'architetto è quindi il *controllo* e la scelta dei materiali affinché siano realizzati alla regola dell'arte, e soprattutto il loro adeguato utilizzo in opera perché non avvengano future complicazioni in grado di far *rovinare* la sua opera.

Nel proemio del *De re aedificatoria* è ben definita la differenza fra l'*architetto* e il cosiddetto *legnaiuolo*:

*Colui certo che lavora di mano, serve per instrumento allo architetto. Architetto chiamerò io colui, il quale saprà con certa, & meravigliosa ragione & regola, sì con la mente & con lo animo dividere; sì con la opera recare alfine tutte quelle cose, lequali mediante movimenti di pesi, congiugnimenti, & ammassamenti di corpi, si possono con gran dignità accomodare benissimo allo uso degli huomini. Et a potere far quello, bisogna che egli habbia cognitione di cose ottime & eccellentissime; & che egli le possenga.*

L'edificio non dovrà essere iniziato *a caso*, ma piuttosto «*bisogna avere molto tempo prima immaginato, & rivolto per l'animo, ch'ente, e quale devva riuscire un tal lavoro, Et che si debbe bene considerare, & esaminare con il parere di huomini intelligenti, tutto l'edificio in se.*»

Il Milizia espone la propria tesi nel capitolo VII del Libro III–Tomo III nel quale tratta del *tempo da fabbricare*. Gli edifici per *indurirsi* necessitano di aria mite e temperata, e pertanto il periodo ideale per realizzarli è quello primaverile–autunnale: il gran caldo *dissecca le fabbriche* prima che si assestino, mentre il gran freddo *le agghiaccia e le restringe* prima della presa. La *fortezza* della fabbrica dipende da quella di ciascuna delle parti costituenti l'edificio (pietre, mattoni, calci, sabbia, legnami e metalli), e dall'unione di queste: la solidità e la durata dell'opera dipendono dall'opportuna scelta dei materiali e dal loro *convenevole impiego*. Tema inedito e centrale del trattato è espresso nell'introduzione al Tomo III, una lucida analisi statica dei componenti di un edificio:

*In ogni fabbrica convien distinguere la parte che preme, e la parte che sostiene. Un edificio avrà tutta la solidità necessaria, se la forza sostenente superi abbastanza la forza premente. Si consideri un muro distaccato da qualunque altra fabbrica: esso è nel tempo medesimo la sua pressione, e il suo sostegno; perché le parti superiori premono sulle inferiori, e queste sostengono quelle. Si esami un edificio intero: esso è composto di più muri sostenenti volte, solari, tetti. Le volte, i solari, i tetti sono il peso dell'edificio; i muri ne sono il sostegno. L'Architetto, che ha fatto il suo piano, deve esattamente valutar la pressione de' pesi, per regolare con sicurezza la forza de' sostegni. [...] La solidità*

*dell'edificio dipende dunque dalla forza de' suoi sostegni. Chiunque saprà dare ad un muro semplice tutta la forza bisognevole per non giammai crollare, sarà in istato di dare sostegni sufficienti per reggere i più grossi pesi.*

Al restauro appartiene la seconda fase, quella della risoluzione dei problemi causati sia dalla Natura sia dalla cattiva progettazione o dalla scarsa cura degli Uomini. Due appaiono i temi principali presenti *in nuce* in tutte le opere: la stabilità degli edifici e il rapporto tra gli edifici e l'acqua.

### **2.3 La prevenzione: i materiali e le tecniche costruttive**

*«Ciò che colpisce di più delle costruzioni del passato è l'unità architettonica in esse realizzata: l'equilibrio e l'interazione tra materiali e strutture, tra strutture e funzione, tra funzione e forma, tra forma e stile, tra stile e materiali.»*<sup>20</sup> La scelta dei materiali ha presupposto da sempre ben definite conoscenze relative alle tecniche e agli strumenti utilizzabili in relazione alle loro proprietà di lavorabilità e di resistenza (mai illimitata) alle forze e agli sforzi agenti sulla fabbrica e al naturale degrado. A partire dal Rinascimento, scopo dei trattati è anche quello di concretizzare quella tradizione costruttiva, quelle norme di costruzione non scritte e tramandate oralmente nel Medioevo dirette conseguenze dell'esperienza maturata nei cantieri delle *fabbriche*.

Ogni materiale da costruzione ha e ha sempre avuto *«un suo ciclo di produzione prima di essere messo in opera. Ciò perché non esistono in natura materiali da costruzione, ma soltanto risorse naturali trasformabili in materiali, con processi semplici o complicati, ma ben precisi, dai quali è sempre dipesa una buona parte della qualità del costruito.»*<sup>21</sup> I diversi stadi dei cicli di produzione sono interdipendenti e derivanti gli uni dagli altri, in un concatenamento *logico, necessario, prevedibile e ripetibile*<sup>22</sup>, ma che a causa dei periodi di pausa e attesa, delle variazioni stagionali e delle varie alterazioni del processo può anche non essere percepito dal singolo operatore come *lineare*: *«Al produttore potevano quindi non essere note le modalità della completa trasformazione di una materia prima in un prodotto finito, e la sequenza delle operazioni svolte direttamente poteva non essere correttamente collocata nell'intero ciclo o essere ritenuta una parte più importante di altre invece parimenti indispensabili»*<sup>23</sup>. Da un materiale si può giungere ad un prodotto finito con processi diversi, ma che per realizzarsi devono soddisfare alcune fasi basilari, dovute ad esempio ai caratteri chimico-fisici delle materie prime:

*Se in un ciclo, oltre ai passaggi obbligati, sono soddisfatti anche passaggi accessori, si potrà allora avere un prodotto a regola d'arte; altrimenti lo stesso sarà più o meno sca-*

<sup>20</sup> T. MANNONI, introduzione ad A. CAGNANA, *Archeologia dei materiali da costruzione*, Società Archeologica Padana, Mantova 2000, p. 9.

<sup>21</sup> Ivi, p. 11.

<sup>22</sup> T. MANNONI e E. GIANNICEDDA, *Archeologia della produzione*, Einaudi, Torino 1996, p. 62.

<sup>23</sup> *Ibid.*



dente o comunque diversificato. Se invece non sono neppure soddisfatti tutti i passaggi fondamentali, i percorsi che si dipartono da un materiale possono assumere una struttura ad albero, che porterà, però, a prodotti difettosi o prodotti con caratteristiche diverse e magari alternative<sup>24</sup>.

Varianti storiche ai cicli produttivi possono consistere ad esempio nelle condizioni di mercato, nei costi dei nuovi impianti, la disponibilità di materiali e tecniche o l'inerzia dei tecnici. Generalmente due sono le fasi principali, quella estrattiva (ossia il mutamento della risorsa naturale in materia prima) e quella trasformativa della materia prima in materiale da costruzione.

Nell'introduzione del Libro II del *De architectura* la genesi e lo sviluppo dell'Architettura sono riconosciute come effetto dell'evoluzione della Civiltà dell'Uomo. Nell'antichità gli Uomini, sorta di animali più evoluti, «per antica usanza come fiere nelle selve, & nelle spilonche, & tra li boschi nascevano, & di agreste cibo pascendosi menavano la loro vita»: elemento fondamentale per la nascita del linguaggio e della coscienza del “vivere insieme” è riconosciuto nella volontà di proteggersi dalla Natura infida, nella scoperta del fuoco e, tramite quest'ultima, nella comparsa delle prime capanne di paglia e di rifugi di fango e fronde, vere imitazioni delle forme naturali. Sono descritti tutti i miglioramenti successivi della capanna primitiva, con la relazione tra le diverse regioni e i sistemi costruttivi tradizionali: il raggiungimento della vita civile da parte dell'Uomo è data soprattutto dalla costruzione sempre più perfezionata e razionale di edifici man mano complessi. Al legname, il materiale da costruzione primigenio, gli uomini hanno affiancato le altre materie prime fornite dalla Natura, e «lavorandoli [i materiali naturali] li hanno nobilitati, arricchendo in tal modo la vita di piaceri e rendendola più raffinata attraverso l'arte». L'Architettura quindi «è l'arte e la scienza nata per prima, e rivendica ad essa — almeno implicitamente — il primato fra le arti.»<sup>25</sup>

Nel *De re aedificatoria* è il Libro II — scritto affinché «coloro che pensano di costruire non commettano errori ma scelgano materiali adatti all'uso» — a trattare la natura dei materiali e del loro impiego, sottolineando anche in questo caso l'importanza delle origini degli edifici e della loro graduale evoluzione: dei materiali, quelli adatti alla costruzione, sono descritte composizione naturale e le proporzioni nei quali i quattro elementi fondamentali (aria, terra, acqua e fuoco) sono combinati. «Non esiste materiale né corpo, né cosa alcuna che possa generarsi ed essere compresa se non come combinazione degli elementi fondamentali.»

Secondo Paolo Portoghesi «il libro dell'Alberti è un tentativo risoluto di segnare “un punto e daccapo” nella cultura architettonica, riportando il dibattito al livello di quel momento di straordinario fervore intellettuale in cui un'esigua

<sup>24</sup> *Ibid.*

<sup>25</sup> H.W. KRUF, *op. cit.*, p. 7.

*minoranza aveva cambiato il corso dell'arte europea.»<sup>26</sup> L'Architettura è trattata sia dal punto di vista dell'architetto sia da quello dell'utente/beneficiario: la disciplina serve a giovare, che conferisca alla salute, «che serva al lasciar di se nome, & fama» e a realizzare dove «harai tu da attendere ad ottimi studij, quivi ti faranno cari i dolci figliuoli & la famiglia, quivi harai i giorni da travagliare & da quiete, quivi si consumeranno tutti i discorsi de gli anni tuoi [...] che à cercare di potere con la tua famiglia habitare bene, & comodamente» (Libro I capitolo VI). Risponde insomma alla “smania di costruire” profondamente radicata nell'animo dell'Uomo.*

Già nel Libro I è compiuta una fondamentale divisione fra *disegno* e *materia*, il primo opera di ingegno, necessitante cioè di una mente razziocinante, l'altra prodotto della Natura. Nell'edificio–corpo però «ne l'uno ne l'altra da per sè, non è bastante, senza la mano d'uno esercitato Artefice, che sappia far componimento della materia con debito disegno» (proemio). La *manus* del *peritus artifex* trasforma l'Idea dell'architetto, prodotto della sua mente razziocinante, in oggetto concreto, in forma compiuta: la materia è *mezzo* e *scopo*, è il fine dell'edificio e il prodotto della Natura necessario per realizzarlo. Per Alberti la materia è corruttibile, soggetta a due tipi di fenomeno: uno esterno, causato «dalla vicissitudo temporum, dai mutamenti atmosferici propri del mondo sublunare», e uno interno, «che la materia si porta dentro ab origine, che coopera, assieme alla vicissitudo temporum alla sua progressiva disgregazione.»<sup>27</sup>

Il Milizia dedica all'argomento il Tomo III. Lo stile mescola tratti didattici ad altri critici verso le opere antiche, quelle del Palladio e degli architetti del Barocco quando non corrispondono al suo ideale di un'Architettura basata sulla ragione e sulla funzionalità, principio fondato sulle testimonianze dell'Architettura greca («Come creatori liberi e originali, essi hanno creato attraverso il genio. Noi, timidi inventori, creiamo attraverso le regole») e sui loro corrispondenti principi ispirati alla Natura.

Nell'introduzione al Tomo sono riassunti gli obiettivi che l'architetto deve porsi:

*L'uomo desidera in tutto il durevole. Gli antichi, spinti da questo desiderio, e dalla gloria di lasciare alla posterità più remota riprove grandi della loro perizia, non risparmiarono niente per dare alle loro fabbriche quella fermezza che ha trionfato d'ogni accidente. [...] Gli artisti moderni par che abbiano perduto il gusto della solidità. Si dubita se le loro opere possano sostenere l'assalto appena di tre secoli. In una delle cospicue capitali d'Italia le case hanno più breve durata della vita degli uomini, e quasi ogni anno ne rovinano parecchie, né senza strage e spavento degli abitanti. Malanno ormai generale [...] Deriva ciò da un gusto effimero, da interesse male inteso de' proprietari, da difetto d'intelligenza (e non mai di morale) degli artisti?*

La solidità, insieme alla bellezza e all'utilità principio fondamentale degli edifici, è minata dal caldo, dal freddo, dall'aria e dall'umidità, dal peso proprio delle

<sup>26</sup> P. PORTOGHESI, *op. cit.*, p. XIV.

<sup>27</sup> A.G. CASSANI, *La fatica del costruire. Tempo e materia nel pensiero di Leon Battista Alberti*, Unicopli, Milano 2000, p. 112.

strutture e dall'uso stesso, dagli urti ordinari e da quelli accidentali: gli edifici, come gli uomini, «portano fin dal loro concepimento il principio della loro distruzione, la quale deve esser dall'arte tenuta più lungi che si può.» Due sono gli aspetti principali che l'architetto deve rispettare, la scelta dei materiali (a seconda delle loro qualità e caratteristiche che li rendono diversi uno dall'altro) e il loro miglior impiego, dipendente dalla quantità (utilizzandone tanti «*quanti bastano per render solida la fabbrica. Una economia male a proposito produce debolezza, e rovina. Un eccesso di quantità produce dispendio grande*»), dalla distribuzione nell'edificio a seconda del grado naturale di resistenza «*in maniera che i più deboli sien collocati ove richiedesi meno forza, e i più forti ove si esige più robustezza*», e dalla loro mutua inter-connessione fra le parti *primarie*, come le fondazioni, i muri e le coperture, e le *secondarie*, come pavimenti, volte e ornati: «*Tutto l'artificio consiste di unirle talmente fra loro e connetterle, onde regni da per tutto un giusto equilibrio di forze, né possa una parte cedere indipendentemente dall'altra, né una sostenersi senza sostener la vicina, né una premere senza trovare un ostacolo capace da reggerla, e di equilibrarsi colla medesima*».

### 2.3.1 La scelta de' luoghi sani

In tutti i trattati sono riportati i metodi per scegliere il *buon sito* degli edifici: appare sempre valida e implicita la considerazione per la quale ad un buon ambiente corrisponde un buon edificio.

Nel capo IV del Libro I del *De architectura* è sottolineata fin da subito l'importanza della scelta del luogo di fondazione di una città: «*Primamente è la elezione di luogo sanissimo: Quello sia lo elevato, non coperto di nebbie, né carico di freddi vapori: Ma che riguardi quelle parti del cielo, che né troppo calde sono, né troppo fredde, ma temperate. Dapoi se egli si schiferà la vicinanza delle paludi*». Le mura della città andranno pertanto collocate in quelle zone dove non spirano venti caldi.

L'argomentazione è fondata su un'analisi del rapporto fra edificio e clima, soprattutto per quanto riguarda quello fra temperatura e umidità interne dell'edificio e le persone e gli oggetti contenuti, vevoli in tutte le stagioni per ogni luogo (non solamente quelli insalubri), «*la dove per le mutazioni del caldo, & del freddo i corpi che sono in que luoghi s'infermano*.» È trattato l'effetto diretto del calore sugli oggetti, sia quelli naturali come i viveri e la frutta («*Calore cocendo leva la fermezza delle cose, & con i suoi caldi vapori fuggendo le virtù naturali le discioglie, & quelle per lo caldo ammollite, rende debili, & inferme*»), sia sui materiali da costruzione come il ferro dei quali altera la lavorabilità e le loro proprietà. L'acqua è un'altra sostanza fondamentale degli elementi, capace però, quando è in misura eccessiva, di gonfiarli disciogliendone *la forza della mescolanza* al loro interno, «*similmente da i raffreddamenti dell'humore de i venti, & delle aure, s'infondono i difetti ne i corpi*.»

Nel capo VI è trattata la posizione delle fabbriche all'interno della cinta muraria, legata alla salute degli abitanti della città: le mura (delle quali sono descritte

precisamente nel precedente capo forme, dimensioni e distanze) devono essere poste *alle parti del Cielo* in modo tale che «*prudentermente saranno esclusi i venti da i capi delle vie: perché i venti, se sono freddi, offendono, se caldi, guastano, se humidi, nuoceno*», ponendo alla base del disegno urbano la posizione degli edifici pubblici (i templi, il foro, ecc...) meglio descritti nel successivo capo. Per il disegno urbanistico della città è descritto un articolato metodo di tracciamento di strade e piazze tramite uno gnomone e un piano di marmo posti nel mezzo della città: le piazze sono da porsi *contro* la direzione dei venti, «*venendo lo impeto & il soffiare frequente dallo ampio, & libero spazio del Cielo*», così come le strade, tracciate in modo da far dileguare ed infrangere i venti contro gli angoli degli isolati. In questo modo la violenza dei venti sarà tenuta lontana dalle strade e quindi dalle abitazioni.

L'argomento è trattato nel *De re aedificatoria* nel capitolo XIII del Libro II, nel quale è sottolineata l'importanza delle stagioni, della conformazione del luogo e delle condizioni atmosferiche di esecuzione delle opere, e constatato che «*quelle muraglie, che si fanno d'inverno, & massimo ne luoghi freddi, diacciano. Et quelle, che si fanno in luoghi caldi, & massimo nella state, diventano aride, prima c'habbino fatto la presa.*»

*Casa e città* appaiono strettamente legate, essendo la città quell'edificio più grande ed importante fra tutti quelli da restaurare. La "ristrutturazione urbana" è indirizzata alla soluzione dei problemi «*derivanti da un'erronea localizzazione e, conseguentemente, da inadeguatezza difensiva, dalla carenza dei collegamenti che non permette il necessario approvvigionamento, e dal clima insalubre.*»<sup>28</sup> Contro gli errori di localizzazione si fa riferimento alla *lezione* vitruviana, ritrovando negli esempi degli antichi l'equilibrio ecologico e l'importanza sia dei fattori climatici della regione per l'orientamento dei nuovi edifici, sia della miglior coerenza all'orografia dei luoghi per il disegno e la predisposizione della viabilità.

L'architetto deve far sì che l'edificio realizzato non sia troppo umido per eccesso d'acqua, né soggetto alla siccità, meglio in una regione «*atta & insieme temperata. Et se ella non si troverà così apunto, come noi la vorremo, eleggiamola anzi che no, un poco fredda, & secca, più tosto che men calda, con le vesti, con il fuoco, & con il muoversi si vince il freddo*» (Libro I capitolo IV). In generale la conformazione del luogo deve essere *degn*a e *piacevole*, non in fondo a una valle ma in posizione elevata sulla zona circostante, dotata di acqua, fuoco e cibo, di «*quelle cose, che bisognano, & all'uso & al piacere de gli huomini. Ma in questo si debbe avvertire & procurare, che da cose simili non accaggia a gli huomini, cosa che nuoca alla sanità loro*» (Libro I capitolo IV).

Il Milizia, nella I parte del Tomo II, elenca e descrive quali sono le sei condizioni necessarie per una buona *situazione*: la bontà del terreno, l'aria, l'acqua, l'esposizione sana, le comodità del luogo e l'amenità di vedute. Della situazione che riguarda la ricerca dei terreni più adatti alla costruzione, ricchi di aria salubre

---

<sup>28</sup> G. CANTONE, *La città di marmo. Da Alberti a Serlio la storia fra progettazione e restauro*, Officina Edizioni, Roma 1978, p. 22.

e di buona acqua, l'autore «*tratta sia per quanto attiene all'urbanistica che all'edilizia, in una maniera simile a quella dei trattatisti precedenti.*»<sup>29</sup>

Buon terreno (capitolo I) è *terra fertile e salubre*: le tre categorie sono costituite da quello arenoso–ghiaioso («*Il più leggero, e il più sciolto; lascia trapassar subito l'acqua, e rende perciò l'aria secca*»), dal terreo–fangoso (il migliore, «*si imbeve a poco a poco dell'acqua, la conserva dentro di sé*») e da quello cretaceo («*Troppo unito e compatto non dà punto adito all'acqua [e] la ritiene al disopra*»). L'aria sana (capitolo II) è quella «*né troppo secca, né troppo umida, né troppo calda, né troppo fredda. La troppa umidità cagiona flussioni, febbri, coliche, e mille altri malanni: la troppa secchezza nuoce al petto, ed ai nervi: il soverchio calore offende i polmoni, e l'eccessivo freddo cagiona lo scorbuto.*» Per essere pura dev'essere ventilata: i migliori siti sono quelli elevati ed aperti, anche se il *troppo vento* è dannoso. La scelta del sito è fondamentale, perché «*i suoi difetti sono o irreparabili, o di un ripario immaginario, o di un riparo dispendiosissimo.*»

Il capitolo III è dedicato all'acqua, *base di tutti i fluidi e coesione dei corpi solidi*, elemento che conserva e *ristabilisce* la vita umana. Quando non è buona diventa veleno per gli uomini: è pura quando ha «*un colore perfettamente limpido, adamantino, di una insipidezza perfetta, senza qualsisia odore, e della maggior leggerezza.*» L'acqua è *dolce*

*se, scossa in un vaso di rame, non vi lascia macchie; se bollita in una caldaia, versata per inclinazione e lasciata riposare, non vi depone né sabbia, né fango; [...] se trae meglio le tinture delle diverse sostanze alle quali si applica, come al te; se è la più propria a fare della buona malta; [...] se nel suo corso non nascono né giunchi, né musco, né vi lascia alcuna spezie di lordura; se non dà alcuna tinta a coloro che ne fanno la loro bevanda ordinaria, anzi li rende sani, robusti, e di un colorito fresco e vermiglio, né intacca loro le gambe, gli occhi, la gola.*

Anche in questo caso sono descritte le diverse categorie di acque presenti in natura: quella di pioggia (ordinariamente purissima, ma che contiene ancora *de' principj stranieri*, ma che se proviene da piogge violente, neve, grandine o ghiaccio lo è di meno); le acque di fontana (che variano molto a seconda della tipologia di terreno dal quale sgorgano, e le più pure sono quelle nascono «*ove le pietre della natura de' quarzi, dei ciottoli sono dominanti*», o da terreni argillosi); infine, l'acqua di fiume, composta da «*i principj di cui son cariche nelle viscere della terra le diverse fontane, le materie solubili che possono staccarsi dal fondo del letto de' fiumi, le piante, le diverse lordure che vi si scaricano le cloache de' luoghi abitati, ed i fossi de' terreni inaffiati.*» Purissima è quella che scorre sopra una «*bella sabbia per ciottoli grossi, e sopra uno strato di pietra vetrificabile*», ed è proporzionale all'impetuosità del fiume.

Il capitolo IV è dedicato all'esposizione degli edifici, anche se Milizia osserva che «*è quasi impossibile il prescrivere regole generali concernenti l'esposizione*

---

<sup>29</sup> I. PROZZILLO, *Francesco Milizia. Teorico e storico dell'arte*, Guida Editori, Napoli 1971, p. 69.

*degli edificj» a causa delle varietà locali di ciascun clima. All'interno della cinta muraria i luoghi migliori sono quelli ariosi dove le strade sono larghe e diritte e gli accessi agevoli. Il suo schema ideale di città non è «la forma stellare dell'utopia rinascimentale, bensì un organismo regolare che sfrutti al massimo un certo numero di combinazioni tali da creare il massimo della varietà nell'unità dell'insieme.»<sup>30</sup>*

Come descritto nel II capitolo, l'edificio deve essere riparato dal troppo freddo e dal troppo caldo, come dai venti impetuosi e nocivi: la migliore esposizione è quella rivolta a sud, in generale *«sana è quella di un luogo, che non sia né troppo elevato, né troppo basso. [...] Bisogna scegliere la mezza costa, o la pianura. Nei siti umidi va scelta la mezza costa, che domini il piano, e che è al coperto de' grandi venti per la vicinanza o di qualche foresta, o di qualche montagna. Nei terreni leggeri, ed asciutti, la più vantaggiosa situazione è la pianura.»* Le parti dell'edificio devono essere rivolte nel modo migliore possibile: gli appartamenti d'inverno verso sud, mentre quelli d'estate a nord; le aperture di biblioteche e gallerie di quadri verso nord (dove *«quelle cose che si conservano meglio, e dove il lume è più uguale»*), mentre le arancerie e gli appartamenti de' bagni a sud. *«Le scuderie a Levante; le rimesse a Settentrione, come anche le cantine, le grotte, le dispense, i granaj, le latrine, e le cloache sì particolari, che pubbliche; perché il vento fresco, e secco, che spira in quel lato, dissipa subito le esalazioni cattive.»*

Dati sia il carattere unitario dell'architettura pre-industriale, sia la presenza nei trattati dello studio delle proprietà dei materiali e del loro utilizzo, ogni materiale da costruzione sarà anticipato da una breve sinossi di archeologia dei materiali.

### 2.3.2 *Le fondazioni nei terreni umidi*

Le fondazioni, a seconda della qualità dei terreni, alla “planimetria” e alla struttura, possono distinguersi in diverse tipologie; tra le tante, quelle realizzate su palafitta e le cosiddette subacquee sono quelle più interessanti ai fini di questa ricerca.

Le prime erano realizzate in zone paludose o direttamente nell'acqua, in terreni di scarsa qualità per i quali era necessario un preventivo assestamento del piano fondale. Consistevano nell'infissione nel terreno, tramite mazze a castello o battipali, di pali o travi di legno (ontano, olivo, quercia) con teste guarnite di ghiere metalliche e munite di puntazze per facilitarne la penetrazione: *«nella cantieristica ottocentesca si consideravano ben messi quando a seguito di una “volata” (= 10 colpi di battipalo) non penetravano ulteriormente. Data l'empiricità del sistema, in antico non doveva avvenire diversamente»<sup>31</sup>.*

Le seconde erano realizzate direttamente nell'acqua. Primo accorgimento era di impedire il dilavamento della malta, a seconda che se ne utilizzasse una idraulica (pozzolanica) o no. Il procedimento consisteva nell'immersione di cassoni

<sup>30</sup> Ivi, p. 71

<sup>31</sup> F. GIULIANI CAIROLI, *L'edilizia nell'antichità*, Carocci, Roma 2006, p. 172.

lignei, ancorati al fondale, nei quali era gettata la muratura. Nel caso non si disponesse di pozzolana o di polvere di laterizio, i cassoni erano invece costituiti “a intercapedine” nella quale era prima gettata e costipata dell’argilla, e poi, dopo aver rimosso l’acqua tramite coclee, si riempiva con calcestruzzo di calce e sabbia. «È chiaro che nel caso della malta idraulica si aveva un calcestruzzo più affidabile per le caratteristiche chimico-fisiche, ma, avvenendo la gettata in acqua, si aveva per forza di cose una disposizione disordinata del pietrame e pertanto dalle qualità meccaniche non ottimali. L’inverso poteva verificarsi nel secondo caso, perché, lavorando all’asciutto dentro la cassaforma, gli operai potevano curare il giusto assetto del pietrame»<sup>32</sup>.

L’argomento è trattato in diversi capi del *De architectura*. Nel capo XI del Libro VI, nel quale sono trattate le *fondamenta delle fabbriche*, è descritta la cura da dedicarsi alla realizzazione delle fabbriche e soprattutto delle *fondamenta*: «Per ciò che in quelle l’assunzione della terra suol partorire infiniti difetti, perché la terra non può esser sempre dello stesso peso, che suol essere nella state, ma nel verno ricevendo dalle piogge la copia dell’acqua, cresce, & col peso, & con la grandezza disrompe, & scaccia spesso le sepi della muratura». Nel capo III del Libro III, dedicato ai templi, sono descritte invece le fondazioni su palafitta nel caso il terreno non sia sodo ma *mosso, ovvero palustre*: «Quel luogo si deve cavare, & votare, & con pali d’Alno, o di Olivo, o di Rovere arsicciati conficcare, & con le machine fatte a questo proposito siano battute le palificate spessissime», con lo spazio tra le parti dei pali rimaste fuori dal terreno colmate con carbone, e infine il getto di solidissima muratura nelle fondazioni. Il capo XII del Libro V tratta invece delle fondazioni subacquee. Nel caso si utilizzi malta idraulica:

*Si porti la polve da quelle parti, che sono delle Cumi fin al promontorio di Minerva [ci si riferisce alla pozzolana cavata nella zona campana compresa fra Cuma e Sorrento], & mescolarla nel mortaio in modo che due ad una rispondino. Poi la dove si haverà deliberato di fabricare bisogna poner nell’acqua le casse di rovere, & rinchiusse con catene mandarle giù nell’acqua, et tenerle fermamente a fondo. Dapoi quella parte, che sarà tra le casse al basso sott’acqua, si deve ispianare, & purgare, & ivi gettarvi di quella materia impastata, & mescolata nel mortaio, con la misura data di sopra, & con cementi, fin che si empia lo spacio, che si deve murare, quello dico, che è tra le casse.*

Nel caso invece non si disponga della pozzolana, il metodo è quello precedentemente descritto del getto a pareti *stagne*.

Nel capitolo III del Libro III del *De re aedificatoria*, dedicato alle *fondamenta* degli edifici, sono presenti gli accorgimenti da porre in atto nel caso il terreno sia umido o paludoso: prima operazione sempre consigliata è quella dello scavo di pozzi, non solo per utilizzare l’acqua eventualmente sgorgante ma anche per aprire uno sbocco alle *esalationi di sotterra* e allontanare dall’opera le esalazioni nocive. Nelle località dove l’acqua «*scorrendo possa smuovere, & portar via alcu-*

---

<sup>32</sup> Ivi, p. 131.

*na cosa, ti gioverà certo molto il farvi una profondissima fossa. Et che per la continuatione assidua delle pioggie, essi monti si dilavino, & sieno rosi dalle acque.»* Nei luoghi paludosi, oltre all'infissione di pali e picche in un'area larga almeno il doppio di quella del muro, «*bisogna fare le fosse larghe, & bisogna affortificare le Sponde di qua, & di là delle fosse, con pali, con graticci, con tavole, con Alga, & con fango»*, affinché non vi scorra l'acqua. Dopo aver estratto l'acqua e la sabbia presenti, il piano deve essere spianato «*acciò non penda in luogo alcuno, d'alcuna delle bande, & che le cose, che vi s'hanno a por sopra, sieno bilanciate di uguali pesi.»*

L'argomento è trattato e descritto ampiamente da Milizia nel capitolo V del Libro II–Tomo III. Dei cinque “casi studio”, il primo appare il più interessante, utilizzato dopo la diminuzione del livello dell'acqua (che non si può o non si vuole eliminare): si eguaglia il terreno, piantando i ripari ed effettuando i tracciamenti dell'edificio. Lo strato più profondo è costituito da ciottoli, pietre o macigni — ponendo quelli più grandi lungo il perimetro — sopra i quali si getta una quantità sufficiente di malta di calce e pozzolana; si ripetono questi strati fino al raggiungimento del pianterreno, o alla quota sopra l'acqua, lasciando infine questa nuova *muratura* per qualche anno «*alla prova degl'inconvenienti delle acque, caricandola di tutti i materiali necessarj alla continuazione dell'edificio, affinché col darle tutto il peso, di cui ella è capace, si assetti ugualmente e a sufficienza da per tutto.»* Stesso metodo può essere utilizzato per le fondazioni sulla sabbia.

### 2.3.3 *Le pietre*

Luogo dell'estrazione organizzata e di coltivazione delle pietre sono le cave, giacimenti generalmente a cielo aperto caratterizzati da un orientamento basato sull'andamento naturale e sotterraneo della roccia. Due sono i tipi di cave: a *gradoni*, site ossia a mezza costa sui rilievi e disposte ad “anfiteatro” lungo i fianchi della montagna, o a *fossa*, caratterizzate invece dall'abbassamento graduale della quota del terreno. Una terza categoria, costituita dal sistema a *galleria* o a *pozzo*, è destinata ai materiali disposti a strati o ad ammassi sviluppati in profondità.

La prima tecnica storica di distacco della pietra, la cosiddetta “*tagliata a mano*” in blocchi parallelepipedi, avveniva in base all'orientamento delle sue venature dopo l'eliminazione del *cappellaccio* (lo strato superficiale deteriorato di vegetazione). Nelle cave a gradoni «*due lati (quello frontale e quello del piano orizzontale) erano già liberi; per separare gli altri tre lati verticali si operava un solco di delimitazione, a monte e ai fianchi, della stessa altezza del blocco da estrarre»*<sup>33</sup>, di larghezza maggiore o minore a seconda delle dimensioni del blocco da cavare. Lo stacco definitivo tramite cunei di legno e mazzuoli avveniva manualmente in corrispondenza del *verso*, ossia il piano della pietra con minore resistenza a trazione: il blocco ribaltato o fatto scivolare sul piano di cava poteva già subire delle operazioni preliminari — utili per ridurre i pezzi nella forma e nelle dimensioni volute — consistenti nello *sbozzo grossolano* (o preparatorio)

<sup>33</sup> A. CAGNANA, *op. cit.*, p. 38.



realizzato tramite spaccatura eseguita con metodi analoghi a quelli utilizzati nella fase di distacco. Operazione che si svolgeva in passato *a lato* delle cave era quella della selezione del materiale e di scarto della roccia, che avveniva sempre manualmente facendo riferimento a caratteri macroscopici. Come per qualsiasi materia prima, l'approvvigionamento della pietra si differenziava in base a svariati fattori, come la sua giacitura, le tradizioni storiche o il capitale investito, ed è difficile o quasi impossibile riconoscere «*un filone evolutivo delle tecniche semplici ad altre più complesse. Si va difatti da grandi impianti, progettati per smantellare montagne già in età romana (ruina montium) e dipendenti dall'autorità centrale, alle coltivazioni individuali attuate con la morte realmente sospesa sul capo anche in periodi posteriori.*»<sup>34</sup>

Una volta giunti in cantiere — via terra, tramite il trasporto mediante *lizze* o carri a trazione animale, o via acqua — gli elementi subivano le lavorazioni necessarie alla loro messa in opera, previa la preparazione delle aree (attuata già dagli Egizi): la *spaccatura*, l'operazione più semplice consistente nella frattura a martello della roccia con uno o più colpi diretti parallelamente ai piani preferenziali di divisibilità<sup>35</sup>; la *sbozzatura*, più complessa della precedente realizzata mediante piccoli colpi non perpendicolari e utilizzata sia in cava per “rifinire” i blocchi cavati eliminandone le zone più soggette a rottura, sia in cantiere per definire gli elementi da impiegare nelle murature; le operazioni di compimento per «*ricavare con l'ausilio di diversi attrezzi usati in successione, una rifinitura progressiva delle parti in vista dell'opera*»<sup>36</sup>, come la *subbiatura*, la *cesellatura*, l'*intaccatura* e l'*incavatura*; e infine la *squadratura* (o *riquadratura*), l'operazione più complessa tra quelle elencate, utile per ottenere blocchi di forma parallelepipedica di grandi dimensioni e nella quale dovevano essere utilizzati strumenti di misurazione e traguardo come righe e squadri.

Nel capo VII del Libro II del *De architectura* sono descritte caratteristiche, qualità e metodi di utilizzo delle pietre da costruzione, diversificandole fra *tenere* (si mettono in opera facilmente, negli interni sopportano bene i carichi ma che utilizzate all'aperto sono ridotte in polvere dall'azione del gelo), di *media durezza* (sopportano bene i carichi e le azioni delle intemperie ma non contro il fuoco) e *dure* (di tantissime qualità e di resistenza agli agenti atmosferici e al fuoco). In maniera più dettagliata tratta quelle rosse *paliene* estratte vicino Roma, e tutti quei materiali reperibili nei dintorni della città: l'estrazione deve avvenire d'estate, almeno due anni prima dell'utilizzo dopo una necessaria stagionatura all'aperto; «*quelle, che dalle piogge & mali tempi per lo spazio di due anni saranno state offese, siano poste nelle fondamenta: le altre non guaste, come ap-*

<sup>34</sup> T. MANNONI e E. GIANNICEDDA, *op. cit.*, p. 74.

<sup>35</sup> «*La divisibilità è un requisito fondamentale in relazione alla possibilità di estrarre e lavorare una roccia. Essa dipende dalla presenza di microfratture oppure di piani in corrispondenza dei quali la coesione e la resistenza delle rocce è minore o molto bassa*», da A. CAGNANA, *op. cit.*, p. 29.

<sup>36</sup> U. MENICALI, *I materiali dell'edilizia storica: tecnologia e impiego dei materiali tradizionali*, NIS, Roma 1992, p. 32.

*provate dalla natura, potranno sopra terra nelle fabbriche mantenersi, né solamente si deono queste cose osservare nelle pietre quadrate, ma anche nelle opere di cemento».*

Alberti tratta l'argomento nel capitolo VIII del Libro II: si rinnova il consiglio della loro estrazione durante l'estate, perché «*le pietre non avezze, si assuefacchino, a poco, poco, a Venti, a diacci, & alle piogge, & alle altre ingiurie de Tempi: percioche se le pietre subito cavate della cava, pregne del nativo sugo, & humore, si pongono a Venti crudi, & a subiti diacci, si fendono, & si risolvono*»; la stagionatura deve avvenire *a cielo aperto*, e l'utilizzo non prima di due anni dall'estrazione. La materia deve "abituarsi" a resistere all'azione degli agenti naturali, perchè appena estratta dalla cava la materia sarebbe «*imbecillis ad affrontare le temporum iniuriæ. Occorre un tempo di preparazione, per rendersi valida e costans contro le res adversas, per poter esercitarsi ad affrontare quel futuri æternitate certamen che l'attende con la vicissitudo temporum.*»<sup>37</sup>

Sono descritte le proprietà delle pietre a seconda delle loro caratteristiche fisiche, come il colore, la presenza di venature e l'eventuale materiale di rivestimento, dalle quali deriva il loro grado di lavorabilità. Alberti compie una vera e propria tassonomia delle venature, diretta conseguenza della loro natura eterogenea:

*& quella pietra, che harà manco vene, sarà più intera, & quanto le vene saranno più simili al vicin colore della Pietra, sarà più uguale per tutto. [...] Delle vene, quella è più atta a fendersi, che ha nel suo mezzo una linea rossiccia, o di colore di Ocra, atta a rompersi [...] più di tutte l'altre, è difficile quella che parrà uno diaccio torbidiccio. Le assai vene dimostrano, che le pietre sono incostanti, & atte all'aprirsi, & quanto saranno più diritte, tanto più sieno infedeli, nel disfare le pietre, quanto più sottili, & più puliti tagli vi verranno, tanto più saranno serrate.*

Le pietre di qualità inferiore sono quelle dure e porose, e quelle che si asciugano più lentamente quando sono bagnate superiormente d'acqua: pietra "giusta", ossia di media grandezza, se immersa in un torrente impiega otto giorni per assorbire acqua fino all'interno. A conclusione del capitolo è trattato il comportamento delle pietre con il trascorrere del tempo, «*se quella, che tu bagnerai nella acqua, crescerà di assai peso; ella si risolverà per lo humido. Et quella, che tocca dal fuoco, & dalle fiamme si disfarà, non reggerà né a Soli, né a Caldi*».

Milizia nel capitolo I del Libro I—Tomo III descrive le caratteristiche delle pietre adatte alla costruzione, quelle che «*hanno forza da resistere al carico sopraposto, che non si fendono per l'azione del gelo e del fuoco, né rimangono guaste dall'aria, o corrose dal salso ne' luoghi marittimi.*» Le osservazioni che l'architetto deve compiere riguardano il colore — che deve essere *uguale* e granatura fina e unita — la "consistenza" — con peso *considerabile*, senza vene e buchi — la sua resistenza al gelo e alla salsedine, al fuoco e il suo comportamento a contatto con l'acqua. Particolare attenzione è dedicata a quelle pietre «*che tante porosità apparenti che sembrano spugne, son leggere e senza alcun suono: frattanto sono durissime, e in fabbrica fanno una stretta presa colla calce, la*

<sup>37</sup> A.G. CASSANI, *op. cit.*, p. 114.

*quale s'insinua in que' meati e si attacca tenacemente coll'ispida loro superficie.»* L'autore conferma la necessità ricavata dal *De architettura* di non utilizzare immediatamente in opera le pietre cavate (in estate, mai in inverno perché non acquisterebbero quella *fermezza* necessaria alla posa in opera) ma di sottoporle ad almeno un anno di stagionatura per far *isvaporare l'umidità* e farle consolidare: senza questo periodo, impicciolendosi durante l'essiccamento naturale la fabbrica ne *rimarrebbe tutta offesa e scommossa*, e per il gran freddo «*gelandosi l'interna umidità, le particelle terree non reggono a quello sforzo, e le pietre si fendono, e cadono in distruzione.»*

### 2.3.4 I mattoni

Materia prima dei materiali ceramici è l'argilla, *l'unica roccia plastica* dopo opportuno trattamento con acqua: migliore categoria d'argilla, molto rara in natura, è detta *primaria*, di colore bianco e alla quale appartiene il caolino; più diffuse sono quelle estratte in sedimenti colorati (giallo, grigio, rosa o rosso). Secondo Milizia «*l'antichità e la generalità di quest'uso sono derivate forse dall'abbondanza della materia, che si trova da per tutto, si lavora, e s'impiega più facilmente della pietra»* (capitolo II Libro I–Tomo III).

Una volta estratta, l'argilla per poter subire le necessarie lavorazioni deve raggiungere un determinato grado di plasticità (ossia il giusto rapporto fra scheletro e minerali argillosi) e purezza ottenibili tramite due tipi di interventi, la *macerazione*, consistente nel «*tenerla a lungo in mucchi, continuando ad aggiungere piccole quantità di acqua»*<sup>38</sup>, o la *manipolazione*, con l'aggiunta graduale d'acqua per eliminare le bolle d'aria che ne riducono la plasticità. «*Se la plasticità è troppo elevata — argilla grassa —, durante la foggatura il manufatto tenderà ad afflosciarsi o, come minimo, a fessurarsi durante essiccazione e cottura. Se la plasticità è scarsa (ad esempio, per eccesso di sabbia) la foggatura sarà difficoltosa e l'essiccazione sarà rapida, danneggiando il prodotto»*<sup>39</sup>: nel primo caso si interviene con prodotti *dimagranti* o *degrassanti* (come la sabbia, la terracotta macinata o la roccia triturrata), nel secondo invece si mischia o sostituisce l'argilla con argille migliori.

La *foggatura*, ossia la formazione degli elementi da cuocere, avveniva a mano in stampi di legno cosparsi di sabbia e successivamente *spianati* ed essiccati (lentamente e senza sbalzi di temperatura) tra i tre e i dieci giorni in ambienti asciutti ma non esposti al sole, generalmente nelle stagioni calde e poco piovose. La perdita del contenuto d'acqua causa naturalmente il ritiro in volume degli elementi formati.

I mattoni erano utilizzati in due modi, crudi o cotti.

Per i primi, le tecniche di impiego erano principalmente due, l'*adobe* (ovvero la produzione di mattoni crudi «*essiccati per alcune settimane prima della posa*

---

<sup>38</sup> A. CAGNANA, *op. cit.*, p. 86.

<sup>39</sup> T. MANNONI e E. GIANNICCHEDDA, *op. cit.*, p. 80.

*in opera») e il pisè, consistente «nel costruire cassoni lignei entro i quali viene compressa dell'argilla umida, non troppo fine ma piuttosto ghiaiosa; una volta tolte le casseforme, resta un grande blocco, che seccando indurisce; la costruzione della muratura procede pertanto a blocchi sovrapposti»<sup>40</sup>, generalmente rivestiti in entrambi i casi di argilla cruda e paglia.*

Per i secondi invece operazione fondamentale è la *cottura*, tramite la quale l'utilizzo dei mattoni ha subito una diffusione repentina. Mediante questo procedimento (“banco di prova” dell'intero ciclo produttivo), l'elemento foggato perde definitivamente la sua plasticità e diventa un prodotto ceramico: ambienti destinati sono le *fornaci*, nelle quali a seconda delle temperature raggiunte il materiale ottiene proprietà differenti.

*L'argilla cotta in atmosfera ossidante a 900°–1000°C diviene di colore rosso. Al di sopra di questa temperatura il colore spesso varia dal rosso scuro al porpora, poi al bruno o grigio a circa 1200°C. [...] Il materiale non cotto a sufficienza è color rosa o marrone pallido opaco, ed ha poca durata. In un'atmosfera riducente, in cui sia ridotto o impedito il rifornimento d'ossigeno i mattoni risultano di color porpora-marrone o bluastri, spesso con l'interno nero.<sup>41</sup>*

Le prime fornaci a calore ascendente erano di forma circolare e costituite da due camere, una di combustione più bassa e una superiore dove venivano ammucchiati i mattoni, mentre quelle moderne hanno dimensioni maggiori. I forni Hoffmann, sorti tra la fine del XVII e la metà del XVIII secolo, avevano grandi dimensioni, cicli di cottura continui e produzioni stagionali.

Nel capo III Libro II del *De architectura* sono descritte le caratteristiche delle terre da utilizzare per la realizzazione dei mattoni crudi: si deve preferire la terra *bianchegna, cretola, o rossa* (materiali leggeri ma resistenti), e non dev'essere «arenola, né giarola, né sabbionegna lota; perché essendo di tal sorte di terra composti primamente sono pesanti, dappoi essendo dalle piogge bagnati, cadeno da i muri, & le paglie, che in quelli si pongono.»

Devono essere realizzati in primavera o in autunno, evitandone la realizzazione nelle altre stagioni (soprattutto in estate, perché «essendo cotta dal sole la loro coperta soferficiale, gli fa parere aridi, & secchi, ma di dentro non sono asciutti, & poi le parti aride crepano quando seccandosi si ristignano; & così fessi, si fanno debili»), con un tempo di stagionatura di almeno due anni per favorire la miglior aderenza dell'intonaco. A fine capo, dopo aver trattato delle diverse dimensioni dei mattoni (v. Fig. 5), sono descritti quelli realizzati con argilla e pomici, leggeri e porosi da galleggiare nell'acqua e resistere all'assorbimento dell'umidità.

<sup>40</sup> A. CAGNANA, *op. cit.*, pag. 90.

<sup>41</sup> N. DAWY, *Storia del materiale da costruzione*, Il Saggiatore, Milano 1965, p. 76.

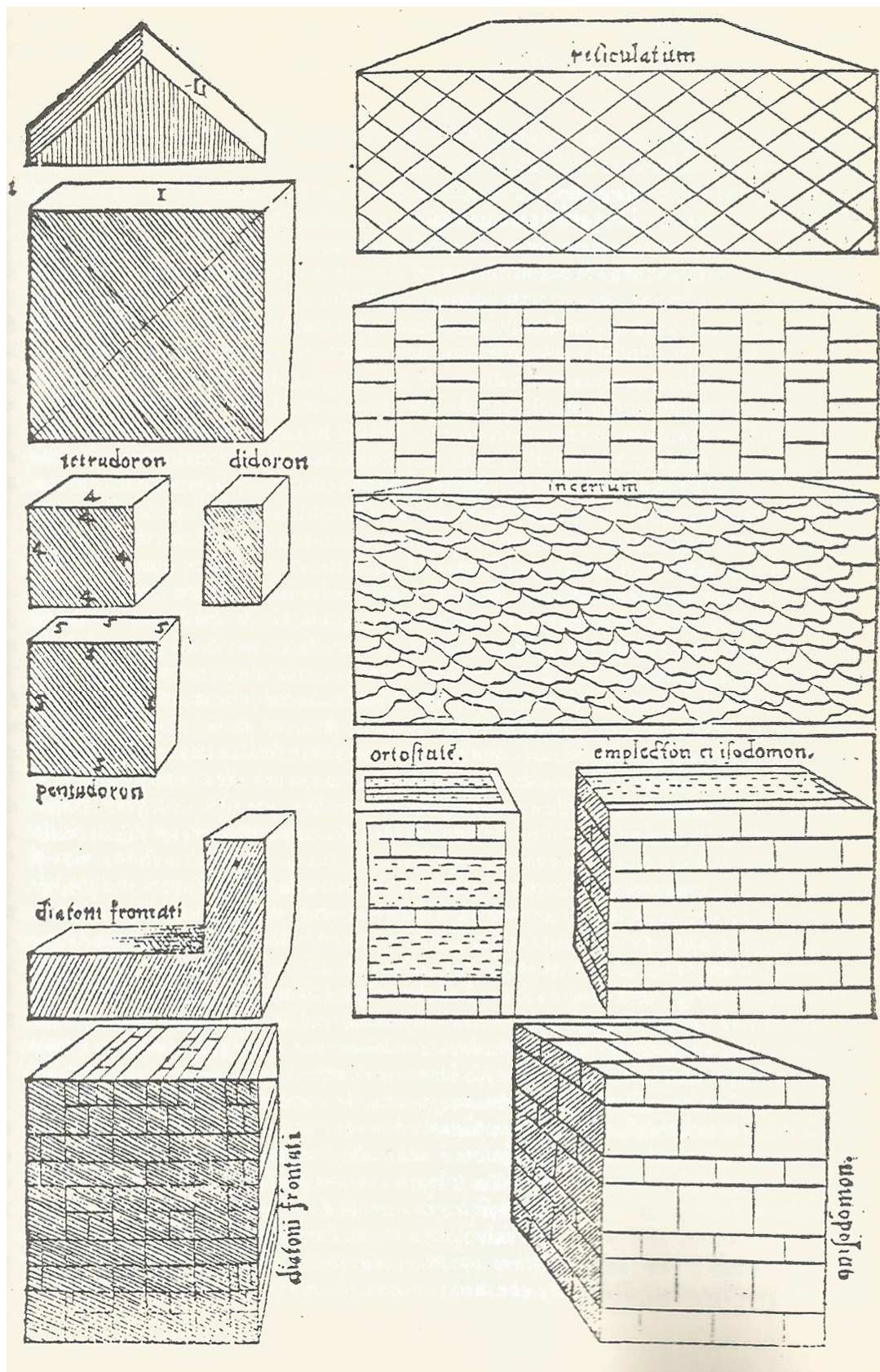


Figura 5. Tipologie di mattoni e tessiture murarie secondo i Greci e i Romani (da VITRUVIO, *op. cit.*, Libro II Capo II)

Illustrandone nei particolari le modalità di confezione, dimensioni e caratteristiche di impiego, «*Vitruvio [...] conferma la propria natura di laudator temporis acti, con elogi sperticati per una tecnica evidentemente al suo tempo in abbandono almeno a Roma. Si rammarica infatti che le leggi impediscano di costruire pareti comuni più spesse di m 0,45, misura insufficiente per innalzare fabbriche a più piani in mattoni crudi, ma adeguata per ossature di pilastri di pietra, e muri di mattoni cotti e conglomerato.*»<sup>42</sup>

Il laterizio è trattato nel capitolo X del Libro II del *De re aedificatoria*, considerato come materiale sostitutivo della pietra e il cui utilizzo iniziò quattro secoli prima «*mediante la carestia, & la necessità delle cose; ma veduto poi, quanto questa sorte di muraglia sia facile alle opere, commoda all'uso, atta alla bellezza, costante, & ferma alla eternità, seguitarono [gli Antichi] di fare sì l'altre cose, sì ancora gli edifici Regij di Mattoni.*».

Sono trattati i soli mattoni cotti, considerati il materiale più conveniente purché «*sia usata ragione, & modo nel cuocerlo.*» L'analisi ha inizio con i metodi di produzione: la tradizione costruttiva consiglia l'utilizzo di terre argillose, *biancheggianti o rossicce*, evitando quelle arenarie, sabbiose e ghiaiose, che creano problemi di resistenza in fase di cottura. Come per la pietra il materiale cavato deve essere stagionato prima di essere trasformato, e la produzione segue i ritmi delle stagioni: deve avvenire nel periodo primaverile, dopo un'adeguata maturazione durante l'intero inverno, mentre è sconsigliata la formatura durante i periodi estivi e invernali. I mattoni modellati devono essere messi nella fornace completamente asciutti, non prima di due anni: «*La loro qualità dipendeva, oltre che dall'impasto, dalla cottura. il sistema empirico per verificare la buona riuscita era sempre quello di ascoltarne la risonanza alla percussione: un suono chiaro e argentino indicava il mattone buono, uno acuto e metallico, quello stracotto, mentre la crinatura o la cattiva cottura provocavano un suono fesso*»<sup>43</sup>. Dopo l'estrazione dalla fornace il mattone deve essere *levigato* piuttosto che ripulito prima che si inumidisca o che si asciughi.

Anche Milizia nel capitolo II del Libro I–Tomo III tratta dei soli mattoni cotti (o *pietre fattizie*) — incomparabilmente migliori rispetto a quelli crudi — e della loro realizzazione per *fasi* sulla lezione di Vitruvio: la scelta dell'argilla, che non deve essere ghiaiosa, sassosa o *sabbionosa*, ma piuttosto biancastra e *attaccaticcia*, meglio se rossiccia che se inumidita si attacca tenacemente ai *corpi*; l'estrazione in autunno e la sua macerazione, realizzata prima in inverno tramite l'esposizione a cielo aperto, e successivamente battendola e maneggiandola accuratamente per depurarla da ogni *particella pietrosa* la quale «*al fuoco si calcinerebbe, e contraendo più umidità spezzerebbe i mattoni*»; la formazione dei mattoni in forme di legno “impolverate” di sabbia secca, con la pasta compattata, spianata e rovesciata su un piano asciutto riparato dal sole; l'essiccamento per due anni e la cottura di 48 ore; la tempra nell'acqua, e la successiva cottura finale fino a mezza vetrificazione senza farli bruciare per l'ottenimento di una doppia

<sup>42</sup> F. GIULIANI CAIROLI, *op. cit.*, p. 198.

<sup>43</sup> Ivi, pp. 200–201.

durezza. «*I mattoni troppo cotti e bruciati sono neri, scabrosi, spugnosi. I poco cotti sono teneri troppo, e posti in opera sono ammoliti dall'umidità, né reggono al peso.*» La buona qualità del procedimento, e quindi dei mattoni, è riconoscibile da cinque diversi fattori: «*1. Se appoggiati alla estremità su due sostegni reggono un peso considerevole. 2. Se hanno una leggerezza molto sensibile rispetto al loro volume [...]. 3. Se percossi danno un suono acuto ed uguale. 4. Se posti nell'acqua non cangiano colore, il quale suole essere d'un rosso sbiadito tirante al giallo, onde formi un color grisastro. 5. Se esposti una invernata al gelo non soffrono alterazione.*»

Milizia riconosce infine il diverso utilizzo dei mattoni in cantiere a seconda del loro grado di cottura: quelli meno cotti di color rosso-giallastro sono utilizzati per *i muri al coperto* non esposti all'umidità o al fuoco; quelli più cotti sono rossi e possono essere utilizzati nei muri solidi allo scoperto; infine, la maggiore cottura dona ai mattoni un colore bruno e possono formare muri (come quelli di camini e forni) esposti all'umidità e al fuoco. Prima di essere messi in opera i mattoni devono essere *infusi* nell'acqua per un quarto d'ora, affinché vi «*perdano quell'arsiccio, che li rende troppo assorbenti.*»

### 2.3.5 Il gesso, le calci e le malte

«*Quando e come sia stato eseguito per la prima volta il processo di calcinazione del calcare per produrre calce viva, è ancora oggi oggetto di discussione.*»<sup>44</sup>

Primo legante ad essere impiegato in età pre-industriale è stato il gesso, ottenuto dalla cottura della selenite — una pietra composta prevalentemente da solfato di calcio biidrato — già a temperature vicine ai 130°C. A tre diverse fasi di cottura corrispondono tre differenti forme di gesso, il *gesso a presa rapida* (solfato di calcio semiidrato), il *gesso da stuccatori*, ottenuto con una cottura tra 160°-180°C, e il *gesso di Parigi* o *gesso cotto* (solfato di calcio anidro), completamente disidratato a una temperatura prossima e superiore ai 400°C. A temperature più alte, fino a 900°C, «*il gesso si stabilizza, diventa poco idratabile e non fa presa quando viene utilizzato nelle malte; per questo è chiamato gesso morto o cotto a morte o bruciato.*»<sup>45</sup> La facilità di estrazione della roccia, di produzione e di reversibilità del processo già a basse temperature hanno reso storicamente il gesso il più antico legante prodotto artificialmente; una volta cotto il gesso è macinato fino all'ottenimento di una polvere più o meno grossolana.

Il processo di produzione delle calci, il secondo tipo di legante, è più complesso di quello del gesso: per le calci aeree grasse (che fanno presa in presenza dell'aria, ottenute dalla cottura di pietre calcaree) il processo ha inizio con la cottura di pietre calcaree (aventi un contenuto di carbonato di calcio superiore al 95%) a 900°-950°C e la trasformazione del carbonato di calcio in *calce viva* (os-

<sup>44</sup> Ivi, p. 104.

<sup>45</sup> U. MENICALI, *op. cit.*, p. 104.

sido di calcio). Per poter essere utilizzata, la calce viva deve subire un processo di spegnimento mediante acqua, ottenendo la *calce spenta* o *idrata* (idrossido di calcio), la quale una volta macerata, impastata e allettata nelle murature a contatto con l'anidride carbonica subisce un fenomeno di *carbonatazione*. Dalla calce spenta, con successive aggiunte di acqua si otteneva:

- *Il grassello (calx macerata). Pasta bianca, densa e untuosa, che essiccava all'aria con grosse fessurazioni. Mantenuta pura, poteva, se ribagnata, tornare allo stato di grassello;*
- *il latte di calce. Poltiglia meno consistente del grassello (20 ÷ 30% di acqua e il resto calce), utilizzata per la tinteggiatura. A questo scopo era adatta particolarmente la calce grassa;*
- *l'acqua di calce. Soluzione limpida, con poteri disinfettanti. Le sue proprietà medicinali erano ampiamente note agli antichi*<sup>46</sup>.

Altra distinzione fondamentale delle calci era quella tra grasse e magre. La calce grassa o dolce (*calx pinguis*), derivata dal calcare puro, «*assorbiva 2,5 ÷ 3 volte il proprio peso in acqua gonfiandosi moltissimo. Lo spegnimento avveniva con grande rapidità sviluppando alta temperatura*»<sup>47</sup>, ed era utilizzata principalmente (dopo un adeguato periodo di “maturazione”) in luoghi coperti e riparati o per gli intonaci, e per confezionare malte idrauliche; la calce magra (*calx magra*) si otteneva invece da calcare impuro, «*durante lo spegnimento non si gonfiava troppo dato che assorbiva solo da 1 a 2,5 volte il proprio peso in acqua.*»<sup>48</sup> Le calci idrauliche, ossia quelle che permettono di realizzare malte adatte a far presa anche in presenza di acqua o in ambienti molto umidi, sono per lo più ricavate dalla cottura di pietre calcaree con un contenuto d'impurità argillose compreso fra il 6 e il 20%.

I forni più antichi erano semplici cavità nel terreno, al cui utilizzo erano destinate maestranze specializzate, mentre i metodi in uso in epoca romana — per i quali testimonianza più importante è riportata nel *De agri cultura* di Catone — erano essenzialmente di tre tipi: *in forno con focolare alla base*, *in forno per appilamento del materiale e su aia esterna*.

Gesso e calci sono i componenti basilari delle malte, ottenute tramite il loro impasto con acqua e aggregati.

L'acqua, in quantità minima necessaria per produrre un impasto omogeneo,

*deve risultare priva o quasi di impurità in sospensione e disciolte [...] dolce e di limitata durezza. [...] La temperatura condiziona il tempo di presa della malta: l'acqua calda accelera la presa e sovente nelle stagioni fredde viene appositamente riscaldata per evitare che le malte a base di calce aerea e di calce idraulica siano sottoposte al gelo prima del-*

<sup>46</sup> F. GIULIANI CAIROLI, *op. cit.*, p. 213.

<sup>47</sup> *Ibid.*

<sup>48</sup> *Ibid.*



*la presa e si disgregghino per l'aumento di volume conseguente alla formazione di ghiaccio negli interstizi.*<sup>49</sup>

Gli aggregati sono invece costituiti principalmente da sabbia e ghiaia (generalmente la miscela migliore consiste nel combinare una parte di calce con 3–4 parti di aggregati), definiti anche *inerti* in quanto «*non reagiscono e non cambiano stato né volume, e impediscono perciò al legante di spaccarsi durante la carbonatazione.*»<sup>50</sup> Le due principali caratteristiche sono la granulometria e la resistenza: per la sabbia, l'inerte più utilizzato, si preferivano granulometrie “varie” (ossia poco classate, tipiche delle sabbie fluviali) in grado di riempire anche i vuoti della malta, mentre frazioni più grossolane richiedono minor quantità di legante e consentono l'ottenimento di malte più magre. «*Elevate dimensioni granulometriche non riducono la resistenza alla compressione. [...] Questo principio è alla base del calcestruzzo, una miscela di ciottoli o schegge di pietra, sabbia e calce.*»<sup>51</sup> In generale, dimensioni dei granuli e loro assortimento sono scelti in base all'impiego della malta. Luoghi di estrazione della sabbia sono le cave subacquee nell'alveo dei grandi fiumi e dei torrenti — nel primo caso, in parte già classata lungo il corso medio, mescolata a particelle limose e argillose nella parte terminale. Per la confezione delle malte devono essere usate sabbie con granuli di natura compatta e non friabile (tipiche di quelle derivate da rocce silicee o granitiche), mentre la forma dei granuli non riveste una particolare importanza: «*La sabbia migliore è di grana grossa e non deve essere mescolata con un tenore superiore al 10% di parti fini, terrose o argillose, che provocano una scarsa aderenza tra i granelli di inerte e il legante. Tra le prove empiriche usate nel passato per determinare la qualità della sabbia alcune sono tuttora valide ed utilizzate*»<sup>52</sup>, descritte più specificatamente nei trattati.

Le malte idrauliche, confezionate con leganti idraulici (calci idrauliche, cementi), fanno presa e induriscono anche quando sono poste in luoghi umidi o in ambiente sommerso, e il loro confezionamento deve rispettare alcuni principi. Le proporzioni fra legante e inerti, anche in questo caso, variano dal tipo d'impiego e dalla qualità dei componenti: la calce idraulica, fino all'Ottocento preferita al cemento per la sua facilità di manipolazione e i minori costi, si «*impiega in una quantità pari a 250-350 kg per ogni metro cubo di sabbia, quando si tratta di normali lavori di muratura, e fino a 400-500 kg per le opere sommerse o per gli intonaci.*»<sup>53</sup> Il confezionamento manuale avveniva generalmente su un tavolato di legno o su un piano di mattoni puliti e sgombri di residui di lavorazioni. La calce in zolle, spenta a parte, era mescolata alla sabbia con un particolare procedimento («*Dopo aver bagnato a doccia la sabbia si attende il tempo necessario allo spegnimento della calce che, in caso di bassa idraulicità, può superare i due o tre*

---

<sup>49</sup> Ivi, p. 128.

<sup>50</sup> A. CAGNANA, *op. cit.*, p. 129.

<sup>51</sup> Ivi, p. 130.

<sup>52</sup> U. MENICALI, *op. cit.*, p. 130.

<sup>53</sup> Ivi, p. 142.

giorni, dopo di che gli strati vengono mescolati e ben battuti con le zappe»<sup>54</sup>), tramite il quale la malta era pronta all'uso; i leganti in polvere invece erano mescolati a secco con sabbia asciutta, per poi essere bagnati con acqua e miscelati mediante zappe in quantità e durata tali da produrre una malta di media consistenza nei quali i singoli componenti non erano più distinguibili.

Utili per i temi trattati in questa relazione sono le cosiddette “cariche idrauliche”, costituite principalmente dalla pozzolana, una roccia di origine vulcanica costituita «da un tufo poco coerente, a grana fine, originato da lapilli e da ceneri vulcaniche debolmente cementate dall'azione degli agenti atmosferici [il quale] appena dopo l'eruzione si raffredda rapidamente e assume un assetto vetroso e scoriaceo.»<sup>55</sup> La reazione generata tra la pozzolana (*pulvis puteolanus*) e la calce idrata è conosciuta fin dal tempo dei Romani, i quali utilizzavano, nei luoghi lontani da quelli della sua estrazione, il cocchiopesto ottenuto dalla polverizzazione di laterizi di piccolo spessore (tegole, vasellame, ecc.) o di mattoni di scarto poco cotti e sottoposti ad ulteriore cottura. L'impiego di queste cariche dava origine alle malte idrauliche composte, utilizzate principalmente nelle murature di grande spessore composte da un nucleo di pietre o da frammenti di laterizio mescolati a malta pozzolanica; per questi usi «la malta può presentarsi di consistenza magra con una proporzione tra calcina e pozzolana compresa fra 1:5 e 1:3, mentre malte più grasse, da 1:3 a 1:5, sono impiegate nelle murature di laterizio, nella preparazione degli intonaci oppure nelle pavimentazioni di mattoni.»<sup>56</sup> La malta realizzata con il cocchiopesto aderisce bene a qualsiasi muratura anche in luoghi umidi, ed è utilizzata generalmente per i sottofondi degli intonaci e, contro le intemperie, per gli strati di finitura.

Nel Libro II capo IV del *De architectura* è descritta l'*arena*, ossia la sabbia per la realizzazione dei *cementi*: tra le arenarie la migliore è «quella che stropicciata con le dita, cigola: ma quella che sarà meschiata con terra, non haverà asprezza. Similmente se l'Arena gettata sopra una veste bianca, & poi crollata non lascerà macchia, né ivi resterà terra di sotto.» Necessario è il perfetto deposito della sabbia di cava: se lasciata alle intemperie e al sole diviene infatti terrosa e se utilizzata «non ritiene i cementi, ma si stacca, & cadeno, & i muri fatti con quelli non sostengono i pesi», mentre se viene utilizzata per gli intonaci tende a creare delle fessurazioni in fase di ritiro. Nel capo V sono descritti in maniera dettagliata i metodi di produzione delle calci ottenute da pietre bianche o di selce: dopo lo spegnimento, l'impasto deve essere realizzato con un rapporto tra calce e sabbia compreso fra 1:2 e 1:3, aggiungendo per migliorarne la qualità mattone cotto pestato o setacciato. Altre proporzioni ricavabili sono riportate nella tabella 8:

---

<sup>54</sup> *Ibid.*

<sup>55</sup> *Ivi*, p. 131.

<sup>56</sup> *Ibid.*

**Tabella 8.** Proporzioni delle componenti per la confezione delle malte.

Calce aerea grassa in pasta	Sabbia di cava	Sabbia di mare o di fiume	Pozzolana	Sabbia di mare o di fiume e frantumi di laterizio
1	3			
1		2		
1			2	
1				3 (2 sabbia + 1 laterizio)

È esposta poi un'interpretazione del comportamento della calce nelle strutture, relazionandola ai quattro elementi fondamentali. Nel capo VI è trattata la pozzolana, una «*specie di polve, che di natura fa cose meravigliose*»: mescolata alla calce e con i cementi, dà *fermezza* agli edifici e quelli costruiti sott'acqua diventano più "forti".

L'argomento è trattato nel capitolo XI del Libro II del *De re aedificatoria*: la calcina di migliore qualità è quella realizzata con pietre durissime, molto compatte e preferibilmente bianche, e comunque «*hor sia la pietra, come si voglia, la di cava sarà molto più utile per fare calcina, che quella, che si raccoglie; & migliore sarà quella, che si caverà di cava ombrosa, & humida, che quella che si caverà di una che sia arida; più trattabile di pietra bianca, che di nericcia.*» Altra calce di buona qualità è quella che deriva da pietre non leggere né molli ma spugnose, adatte piuttosto per gli intonaci.

Sono descritte le quattro categorie di gesso, due trasparenti e due opache: la prima è chiamata *squameola* e somiglia alle zolle d'allume e all'alabastro, mentre la seconda assomiglia a sale scuro; quelle opache assomigliano ad argilla, una è biancheggiante mentre l'altra è rossiccia. Il gesso «*è di necessità romperlo, & tritarlo con martelli di legno, tanto ch'è si converta in farina, & serbarlo amontato in luogo asciutissimo, bisogna adoperarlo presto, & datali la acqua, subito metterlo in opera.*»

È quindi descritto il metodo di realizzazione della calce, opposto a quello del gesso: non deve essere percossa ma deve essere interamente bagnata e fatta macerare con molta acqua molto prima del suo utilizzo in cantiere: «*Accioche se è vi fusse alcuna zolla, che non fosse dal fuoco così cotta a bastanza, con lo stare assai in molle si risolve, & si liquefaccia: Percioche quando ella si mette di subito in opera, non bagnata, o spenta a bisogna, ella ha certi sassolini in se ascosi, crudi, che con il tempo si corrompono, & gettano per ciò dipoi certe cocciuole, onde il lavoro non viene pulito.*» La calce non deve essere bagnata con un solo getto d'acqua, bensì mano a mano finché non sia imbevuta completamente, e deve essere depositata in un luogo umido e all'ombra, senza mescolarla con altri materiali ma ricoperta solamente da uno strato di sabbia superficiale.

Nel capitolo XII è descritta la sabbia nelle categorie di cava, di fiume e di mare. Della prima le migliori sono quella *incarbonchiata* e quella più fine, la peggiore è quella bianca, mentre quella ghiaiosa si utilizza principalmente per i riempimenti delle fondazioni; della seconda, le migliori sono quelle estratte dai

corsi dei fiumi (più umide di quelle di cava, e più adatte agli intonaci), mentre la marina (che «*si rasciuga difficilmente. & dissolubile stà humidiccia, & scorre per la sua salsedine, & per ciò malvolentieri, né mai fedelmente sostiene i pesi*») è quella di qualità inferiore. In generale, la sabbia di qualità più bassa è quella morbida, non ruvida al tatto, quella che «*con il colore, & con l'odore si assomigliera alla Terra rossiccia*», e quella rimasta a lungo esposta all'aperto «*perché ella si converte quasi in terra, & putrefassi. Et di più quando è atta a generare Arbuscelli, o fichi selvatici, allhora è pessima per tenere insieme la muraglia.*»

Milizia tratta l'argomento nel Libro I–Tomo III. Nel capitolo III è descritta la calce, d'importanza fondamentale nelle fabbriche per il suo effetto di legare insieme le pietre: tutte le pietre «*su le quali l'acqua forte agisce e produce effervescenza, sono proprie a far calce*», con le migliori costituite da quelle più dure e pesanti (come il marmo bianco); in generale, citando Vitruvio e Palladio, «*ogni pietra estratta di fresca da cava umida e ombrosa, eccettuatone il tufo, la ghiaja, le pomici, i sabbi sabbionosi e tutti quelli che si fendono in lastre, o che esposti per qualche tempo al fuoco si vetrificano, in vece di calcinarsi.*» Sono descritte la disposizione e la composizione che il materiale deve avere all'interno della fornace e come dev'essere il fuoco per la buona calcinazione — ossia vivo, violento e continuato per almeno 60 ore — così come l'intero procedimento per ottenere la calce viva, che per essere di buona qualità deve possedere determinate caratteristiche ravvisabili in cinque indizi:

*1. Se diviene la metà più picciola del sasso; da cui si è formata. Perdendo molta acqua, perde del suo volume; ma acquista maggior peso che un consimil volume di pietra non calcinata. La ritirata di queste pietre durante la calcinazione cagiona spesso la disfatta delle calcare. 2. Se percossa risuona. 3. Se quando si smorza, fa sentir de' crepiti, ed esala un fumo denso ed abbondante. 4. Se per ismorzarla, vi bisogna molt'acqua. 5. Se smorzata si attacca alle pareti della fossa o del recipiente.*

Particolari accorgimenti devono essere adottati per lo spegnimento della calce viva, per il quale sono descritti precisamente i diversi procedimenti.

Nel capitolo successivo sono trattate quattro tipologie di *arena*, necessaria affinché la calce faccia *buon legame colla fabbrica*: quella di cava è di due tipi (*maschio*, di colore più scuro, e *femmina*, di colore più tenue), solitamente è frammista alla ghiaia e va «*adoperata estratta di fresco, e se sta molto tempo allo scoperto diviene facilmente terrosa*», ed essendo molto grassa è quindi utilizzata più per i muri e per le volte che per gli intonaci; quelle di fiume e di fossi, di colore giallo, rosso o bianco, che per essere utilizzate nelle fondazioni e nei muri *grossolani* è necessario «*lavarle coll'acqua e purgarle di ogni parte terrosa, d'ogni immondizia, e separarle dalla ghiaia*»; infine quella di mare, «*comunemente rigettata a causa della sua gran copia di sal marino, il quale, quanto più facilmente s'imbeve della umidità, altrettanto è difficile a disseccarsi*», che per essere utilizzata deve essere lavata con molta acqua dolce. In generale, la buona sabbia, oltre a non avere parti terree, deve avere sei caratteristiche per poter essere utilizzata nelle fabbriche: «*1. Quando maneggiata è stridente, 2. Né si attacca alle mani. 3. Se posta sopra un panno bianco e scossa, non vi lascia macchia. 4.*

*Se infusa nell'acqua, non la intorbida. 5. Se per qualche tempo esposta all'aria aperta, non produce erbe. 6. Se è nera, rossa, carbonchia, bionda, contiene allora del ferro, e in conseguenza del vitriuolo, o del sale acido; quindi l'arena bianca è la meno buona».*

Il capitolo V è dedicato alla malta, dalla cui qualità «*dipende tutta la bontà della costruzione.*» È necessario ben proporzionare calce e sabbia in quantità e qualità, in base alle loro “varietà” ed origine. La sua perfezione «*deriva dalla fatica di maneggiarla. Gli antichi dicevano che la malta va stemprata col sudor della fronte, cioè misticata lungo tempo, in vece di mettervi molt'acqua per averla subito e senza fatica. A forza di braccia ha da diventar liquida e grassa. Poca acqua, anzi niente. Non è la necessità, ma la pigrizia degli operaj, che v'impiega l'acqua, la quale la sgrassa, ne ammortisce i sali, e ne diminuisce la bontà.*»

Generalmente calce e sabbia devono essere presenti in parti uguali, ma a seconda della qualità della calce «*si posson mettere 3/5 d'arena in 2/5 di calce, e talvolta anche 2/3 d'arena, e fino anche a 3/4, il che è bene straordinario, essendo rarissima una calce sì forte e sì grassa da portar tanta arena.*» L'autore analizza il rapporto fra la malta e l'acqua necessaria per la sua consistenza ma che in abbondanza la rende debolissima. Sono poi descritti i diversi fenomeni riscontrabili nelle fabbriche: la malta non fa immediatamente presa ma è necessario del tempo affinché si introduca nei pori delle pietre (per questo motivo le fabbriche fresche devono essere riparate sia dal vento che dalle alte temperature); la calce conserva per molto tempo l'umidità, e pertanto le calce da utilizzare in luoghi umidi devono contenere più sabbia; l'acqua e i sali che *svaporano* dalle nuove murature formano una crosta bianca; la malta non fa presa con ogni pietra, e «*ne fa meno, quanto più le pietre sono lisce, e più si accostano al marmo; onde nelle fabbriche de' marmi è inutile la malta*»; infine, più le pietre assorbono acqua più la malta deve essere umida.

Per i luoghi umidi l'autore riporta la recente *scoperta grande* del metodo Lorient, poi ripreso dal Rondelet nel suo manuale, per la produzione di un *cemento* tramite l'impasto di calce spenta con 1/3 di calce viva in polvere, deducendone alcune conseguenze pratiche (ossia cinque tipologie di malte utilizzabili in diversi casi): tra quelle descritte, interessanti appaiono quella composta da «*una parte di mattone ben pesto [sostituibile con tufo secco e pietroso, polverizzato e stacciato, o con focacce di terra cotte] e setacciato, due parti di sabbia fina di fiume crivellata, un quarto di calce smorzata e stemprata, e un quarto di calce viva in polvere*» — utile per intonacare bacini, canali e ogni costruzione *da mantenere acqua* — e la seconda contenente polvere di carbon fossile mescolata con una pari quantità di calce viva. Un ultimo impasto è quello composto da calce *stemperata*, olio di lino o di noce, sabbia o macerie. La malta è eccellente se è impenetrabile all'acqua, se passa subito dallo stato liquido a quello solido, se conserva sempre lo stesso volume senza fessurarsi, e se acquista una «*tenuità prodigiosa da penetrare i minimi ciottoli, che se ne inzuppino.*»

Il capitolo VI tratta infine delle diverse categorie del gesso: quello usuale, bianco con alcune punte lucenti, macchiettato di rosso o verde; il gesso a fogli,

detto *pietra specularia*, con l'apparenza del talco e formato da fogli posti gli uni sugli altri che si separano facilmente; il gesso alabastrino, il più duro e più bianco. Il principale uso del gesso, per la produzione del *cemento*, necessita di una buona (e difficile) cottura, per mezzo della quale acquista la proprietà di *attaccare insieme i corpi solidi* con una maggiore velocità della malta di calce. Se il gesso è troppo cotto diviene arido e incapace di *far lega*, mentre se lo è poco l'umidità rimasta lo rende inutilizzabile; la buona qualità di cottura genera un materiale untuoso al tatto che deve essere subito utilizzato tranne in inverno nei climi freddi — perché «*gelandosi l'acqua, con cui si è stemprato, si ammortisce, né fa più corpo: onde ne risultano opere che si scheggiano, si scrostano, e riescono per conseguenza poco durevoli, e brutte*» — o nei luoghi umidi, perché l'acqua «*non potendo svaporar, si gonfia e cade*».

### 2.3.6 *Le murature*

I tipi di muratura storica possono essere ricavati direttamente dai trattati analizzati.

Nel capo VIII del Libro II del *De architectura* i tipi descritti sono due, la *reticulata* e l'*incerta*: la prima più *gratiosa* e nella quale più facilmente si possono fare le aperture, mentre la seconda «*sedendo i cementi l'uno sopra l'altro, in modo di imbrici, non bella, come la reticulata, ma si bene più ferma rende la muratura.*» Sono riportate anche le tecniche dei Greci, l'uno detto *uguale* e l'altro *diseguale*:

*Il primo è quando tutti i corsi sono eguali in grandezza. L'altro è quando gli ordini de i corsi non saranno drizzati pari. L'una, & l'altra maniera per questo è ferma, perché prima i cementi sono di soda, & ferma natura, né possono asciugare il liquore della materia, ma li conservano nel suo humore per grandissimo tempo, & i letti loro piani, & bene livellati non lasciano sgrottare la materia, ma con la continuata grossezza dei pareti così legati durano lunghissimamente.*

Ultima tessitura, utilizzata per i rustici, è quella detta *riempita*.

Nel *De re aedificatoria*, nel capitolo VI del Libro III, i tipi descritti sono invece tre: «*Lo ordinario, lo amandorlato, & l'incerto*». Il primo, tra tutte «*muraglia più ferma, & la più costante*», è quello ottenuto dall'unione di pietre squadrate, di dimensioni medio–grandi, con le linee rette perfettamente orizzontali e verticali; il secondo è invece costituito da pietre medio–piccole disposte “sopra” uno spigolo con la fronte piana e verticale; il terzo infine, utilizzato anche nel selciato delle strade, da pietre *roze* congiunte in modo tale che «*qual s'è l'uno de lati per quanto e possa, con la sua faccia si accosti il più che può a lati delle altre pietre, che gli sono a canto.*» Il *riempimento* varia a seconda della funzione del muro: le cosiddette *ossature* si edificano in tipo *ordinario* per la loro intera larghezza, non introducendovi mai pietre irregolari; nelle *muraglie da finimenti* invece «*infra l'una, & l'altra corteccia, si riempie di qual si voglia sprezzato, & guasto sasso, quali come con opera amassata a caso, & tumultuariamente fatta*» (capitolo VIII Libro III). Precetto generale è quello comunque di riempire il muro per la sua in-

tera altezza e larghezza con «*tutti gli ordini di pietre quadrate, accioch'egli durasse eterno*», e che sia fatto attraversare tra gli involucri da un certo numero di pietre ordinarie non troppo distanti l'una dall'altra. Altra regola fondamentale riportata sempre nel capitolo VIII è quella, una volta iniziato un filare di pietre, di proseguirlo lungo l'intera costruzione, evitando «*che ella [la muraglia] sia da mano destra di pietre grandi, & da sinistra di piccole*»: la calce, premuta durante la fase di asciugatura, perderebbe con l'aggiunta di ulteriore peso la sua presa, generando altri *varij difetti*.

Il capo VIII del Libro II del *De architectura* è destinato alla descrizione di due diversi generi di murature, l'*opus reticulatum* (il più bello ma che si fessura facilmente a causa delle sue giaciture) e l'*opus incertum* (più stabile del primo): entrambe sono costituite da pietre molto piccole,

*accioche i pareti spesso satiati della materia fatta di calce, & di arena più lungamente si tenghino insieme; perché essendo di molle, & rara virtù fuggendo il succo della materia, dissecano. Ma quando abonderà la copia della calce, & dell'arena, il parete, che haverà preso molto dell'humore, non isvanirà così presto, ma si tenirà insieme. Ma subito, che la forza humida per la rarità dei cementi sarà succiata dalla materia, allhora la calce staccandosi dall'arena si discioglie, & i cementi non si possono con questi attaccare, ma a lungo andare fanno i pareti ruinosi.*

La soluzione è riconosciuta nella muratura greca: fra le due facce, debitamente distanziate, si realizzavano delle pareti di due piedi in pietra rossa o in mattone cotto o in selce, collegate alle fronti con grappe di ferro e di piombo; in questo modo, «*non a grumo, & sottosopra, ma ordinatamente fatta l'opera potrà senza difetto eternamente durare. Perché sedendo tra se i letti, & le commisture di quelli, & incatenate non spigneranno la muratura, né lasceranno che i pilastrelli, o stanti legati insieme rovinino.*» Sia la muratura isodoma sia quella pseudoisodoma (diverse a seconda dello spessore dei ricorsi) sono stabili perché il pietrame utilizzato non assorbe l'acqua dalla malta, la quale rimane umida a lungo. Il terzo genere di muratura greca, l'*emplecton* — nel quale due facce sono intonacate mentre le altre sono legate con la malta a giunti alterni — è stata variata in epoca romana. A questo paragrafo appartengono le considerazioni relative alla *ratio perpetuitas* sopra citate.

Alle caratteristiche delle murature e dei loro spessori presenti negli edifici di Roma, sono descritti anche alcuni “dettagli costruttivi”, come ad esempio quello del nodo muratura/tetto, per evitare effetti “inconvenienti”:

*Posto sia nella sommità de i pareti sotto la copritura del tetto una muratura di terra cotta, di altezza d'un piede, & mezo, & habbia gli sporti delle corone, & i gocciolatoi [...] perché quando nel tetto saranno le tegole rotte, o gettate a basso da i venti, la sportatura, & il recinto de mattoni cotti, non lascerà offendere il crudo, ma lo sporto de i cornicioni, porterà le gocce lontane, & in quel modo serveranno intiere le murature de mattoni crudi.*

Il Libro III del *De re aedificatoria* tratta *delle opere*, con i primi tre capitoli dedicati alla realizzazione e alle diverse tipologie di fondazioni, mentre nel capitolo IV per ciascun materiale da costruzione sono elencate le caratteristiche migliori per il loro utilizzo in opera. Già nel capitolo I è riportato uno degli intenti del Libro: «*Imperochè il condurre un'edificio, non è come pensano gli ignoranti, il porre l'una pietra sopra l'altra; o il murare l'un pezzame sopra l'altro; ma essendo le parti molto diverse hanno ancora bisogno di molte cose, & di diversa industria*».

Le pietre devono essere integre, prive di fango e ben umide, ed è «*cosa chiara, che le pietre mezane [pietre intermedie per peso e dimensione], non sono bagnate dalle acque a bastanza, se non in capo a nove giorni, & le più grandi più tardi*»; la calce non deve presentare zolle non compatte, sfatte e/o polverose, ma deve essere invece biancheggianti, leggera e se bagnata «*con assai scoppi faccia gran fumo, & forte, & che se ne vadia in alto*»; la sabbia infine può essere sia setacciata, se sono necessari materiali fluidi e cedevoli, oppure mischiata con ghiaia o pietrisco, se occorre una grana più grossa.

Nel capitolo VI sono trattate le murature. Primo accorgimento relativo agli edifici “di grande mole” consiste nel «*lasciare nel mezo delle grossezze delle Mura, da fondamenti infino al disopra, sfogatoi aperti, & spiramenti non molto lontani l'un da l'altro, per i quali possino liberamente esalare senza alcun danno della Muraglia, i vapori che si fussero generati, & ragunati sotto il Terreno, se alcuno per sorte ve ne fusse*». I tre tipi di murature descritti sono tutti composti da «*il ripieno di mezo del muro, & le due scorze, o vogliamo dire cortecce da amendue le parti, delle quali l'una di fuori ha da ricevere i soli, & i venti, l'altra di dentro ha a nutrire l'ombra della pianta*». Per costruire l'involucro dello zoccolo, ossia la parte più bassa della muratura a contatto con il terreno, si consiglia l'utilizzo di dure pietre squadrate di grandi dimensioni, possibilmente della stessa specie. È la parte più bassa, fino ad un'altezza di circa un piede da terra, la più importante perché «*le gocciole dell'acque piovane, che cascano da tetti, rodono quella parte della Muraglia [...] Percioche quelle parti, che per la varietà de Temporalis, son hora secche da raggi del Sole, & da fiati de Venti, & hora humide per i noturni vapori, o per l'acque, noi le veggiamo certo consumate prestamente, o intarlate del tutto*», mentre non sono biasimati coloro che seguendo questo consiglio costruiscono la parte superiore in mattoni crudi.

Nel successivo capitolo si descrivono le tessiture delle murature in pietra, che come il legno possiede venature, nodi, altre parti più deboli di altre e «*saccate di materia putrida, laquale materia col tempo rigonfia (si come io penso) inzuppata di humidità dell'aria, che ella ha succiata, onde ne seguitano più gravi posteme, & guastamenti di colonne*». Nel collocare gli elementi, la faccia più forte e meno soggetta a deteriorarsi deve essere rivolta verso la direzione da cui proviene l'assalto degli elementi avversi, con le venature disposte orizzontalmente «*accioche aggravata per il peso delle disopra, non apra mai in luogo alcuno*».

Nel già citato capitolo VIII si trattano gli involucri. Ponendo maggior attenzione a quello esterno, deve essere preferito il materiale robustissimo perché resistente:



*A fastidiosissimi, & nocivissimi, o vuoi Soli, o molestie di Venti, o veramente a i fuochi, o alle brinate [...] donde nel cadere da Canali de tetti, o dalle grondaie le piogge maggiori sieno da Venti sbattute nella muraglia [...] Noi habbiamo considerato tutti gli edificij consumati per la Vecchiaia, essere cominciati a rovinare di verso Ostro. Et la cagione, perché così avenga, è forse, perché l'ardore, & l'impeto del Sole, mentre che l'opera era ancora in piede consumò troppo presto il nervo della calcina. Aggiugnesi, che per i fiati d'ostro, inhumiditosi più, & più volte il muro, & per gli ardori del Sole ribollito, marcitosi, alla fine si corrompe.*

Nel capitolo X si trattano nuovamente le calce, e si sottolineano le caratteristiche per il loro miglior utilizzo:

*Tu hai da sapere, che quella calcina è cotta è cotta a bastanza; la quale bagnata, & poi doppo il caldo spenta, immitando la schiuma del latte, ingrossando tutte le zolle rigonfia. Di non essere stata in macero a bastanza, te ne daranno inditio, i sassolini, che nel mescolarla con la rena vi troverai. Se tu gli darai più rena che il bisogno, per la asprezza sua, non farà presa. Et se tu gliene darai manco, che non ricerca la forza, & la natura sua; resterà come una pania per la liquidezza, cattiva, & ti obedirà mal volentieri.*

La calce non ben macerata (o *difettosa*) è utilizzabile nelle fondamenta e nel riempimento interno delle murature, mentre per la costruzione delle ossature e dei “legamenti” deve essere evitata qualsiasi calce non perfetta; si elencano inoltre i migliori “accoppiamenti” fra tipi di pietra e natura della sabbia della calce:

*La pietra arida di sua natura, & sitibonda, & ha mala convenienza con la rena de fiumi. La pietra humida per natura, & acquidosa, amerà molto la rena di cava. Non vorrei che la rena tolta dal mare, si mettesse di verso Ostro, Forse che ella più commodamente si esporrà a Venti Tramontani. A quali si voglia pietra minuta, si debbe dare lo intriso più magro; alla pietra esausta, & arida, si debbe dare più grasso. [...] Alle pietre maggiori, non si pon sotto se non intrisi liquidi, & flussibili; quali per ripieno, accioche simil materia vi paia posta più per letto mobile, sopra il quale le s'hanno a posare che per altro: Onde mentre le si adattano, son certo più facili a essere mosse dalle mani de gli Artefici.*

Le condizioni del terreno e il clima influiscono sull'altezza alla quale interrompere la costruzione del muro, ricoprendone la parte superiore lasciata interrotta con paglia per evitare che il vento o il sole «*non consumi il nervo della Calcina, & la faccia più tosto diventare vana, che rasciugarsi, o fare presa in debito tempo*»; alla ripresa dell'elevazione dovrà essere versata dell'acqua fino a darne un conveniente grado di umidità ed eliminando le tracce di polveri.

Il capitolo XV descrive gli elementi più delicati, i manti di copertura. La copertura costituisce infatti una delle armi con le quali l'edificio può difendersi dagli assalti del tempo, benché

*la industria, & l'arte de gli huomini, fatto esperienza d'ogni cosa, non per ancora saputo trovare gagliarda, & bastante contro le ingiurie de tempi, secondo che la necessità della cosa ricerca. Né io ho fede, che ella si possa trovare così facilmente. Imperoche conciosia che non solamente le piogge, ma i diacci, & le gran vampe, & i Venti più d'ogni altra*

*cosa molesti, non restino mai di danneggiarle in ogni luogo; che cosa è quella, che possa più horamai in luogo alcuno sopportare, i tanto continui, o più tosto crudeli inimici?*

La pioggia è un *inimico* insidioso e *improbo* per la sua azione incessante e stillicida. Per i pavimenti trattati nel capitolo XVI è fondamentale quindi, *«dove il pavimento habbia a ricevere l'acque che cascano da le grondaie de Tetti; bisogna farlo di pietre molto grandi, & molto falde; accioche egli (per dir così) per la malignità delle continue gocciolate, che da alto impetuosamente addosso gli cascano; non sia forato, o guasto.»*

Nel Libro X si trattano invece gli accorgimenti costruttivi migliori per difendersi dalle alte e dalle basse temperature. Nel primo caso le soluzioni consistono in portici interrati e/o coperti a volta, nel predisporre nei locali grandi finestre ma non rivolte verso sud e soprattutto nello sfruttare l'efficace moto dell'aria. E ancora: *«Perché la ombra sia da per se più gelata, gioverà molto fare stanze l'una sopra l'altra, & mura dietro alle mura. Et quanto quelle saranno più lontane l'una da l'altra, tanto sarà l'ombra più gagliarda che il caldo, fino a tanto che un luogo così coperto, & così accerchiato non si riscaldi».*

Descrivendone il funzionamento si fornisce pertanto indirettamente una definizione di inerzia termica delle strutture murarie, ancora oggi uno dei parametri utilizzati per la scelta dei materiali d'involucro: il muro massiccio *«si spoglia più tardi di quella vampa, che egli ha presa dal Sole, & tiene ancora più lungamente il freddo che egli harà preso. Infra quelle mura doppie, che noi havviam detto si mantiene ugualmente l'aria temperata, ne luoghi, dove gli impeti del soli offendano assai, un muro fatto di pomice non piglia così presto il caldo, & manco lo ritiene.»* Quando invece ci si deve difendere dal freddo, primo "alleato" è naturalmente l'utilizzo del fuoco tramite la realizzazione di camini.

Nel capitolo I del Libro III–Tomo III si trattano le murature. Dopo averne riportate sette tipologie diverse, l'autore tratta di quelle in mattoni cotti, considerate le più resistenti alle intemperie, agli agenti atmosferici e agli incendi rispetto a quelle realizzate in pietra. I mattoni cotti infatti *«spianano bene gli uni gli altri, si collegano bene fra loro, e fanno una strettissima presa colla calce, la quale penetra nei loro pori, e ne forma un sol masso»*, la loro porosità li rende migliori per l'intonacatura, si asciugano presto e sono più leggeri. Come già fatto negli altri capitoli, Milizia elenca i cinque punti per i quali un muro può considerarsi *forte*: quando ha una *grossezza* conveniente (punto al quale l'autore parla, tra le caratteristiche da rispettare, quella della salubrità), quando i materiali sono ben *assetati* e gli elementi ben concatenati, quando è innalzato perfettamente a piombo e se è eretto uniformemente *da per tutto*.

## 2.4 Il restauro: guasti, vizi, soluzioni

### 2.4.1 De architectura

Il capo VII del Libro VI tratta delle esposizioni dei locali all'interno degli edifici privati: i triclini invernali e i bagni «*riguardino quella parte, dove il Sole tramonta il verno, perché bisogna usare il lume della sera, & anche per questo perché il Sole cadendo ha lo splendore opposto, & rimettendo il calore nel tempo vespertino impedisce più la regione d'intorno*»; le biblioteche e le Librerie devono essere poste ad est perché in quelle rivolte a sud e ad ovest la carta è colpita dai tarli e dall'umidità; sempre ad est devono essere rivolti i triclini primaverili e autunnali perché «*l'impeto del Sole opposto andando di lungo verso l'Occidente fa quelle stanze di lumi circondate più temperate in quel tempo, che si vogliono adoperare*»; quelli estivi devono essere invece rivolti a nord, come le pinacoteche dove si «*hanno a salvare scritture, & tavole, o pitture, ove si fanno le coltre, o piumacci cuciti con diversi colori, & imbottiti, o dove si dipinge*», affinché la stabilità della luce mantenga i colori delle opere.

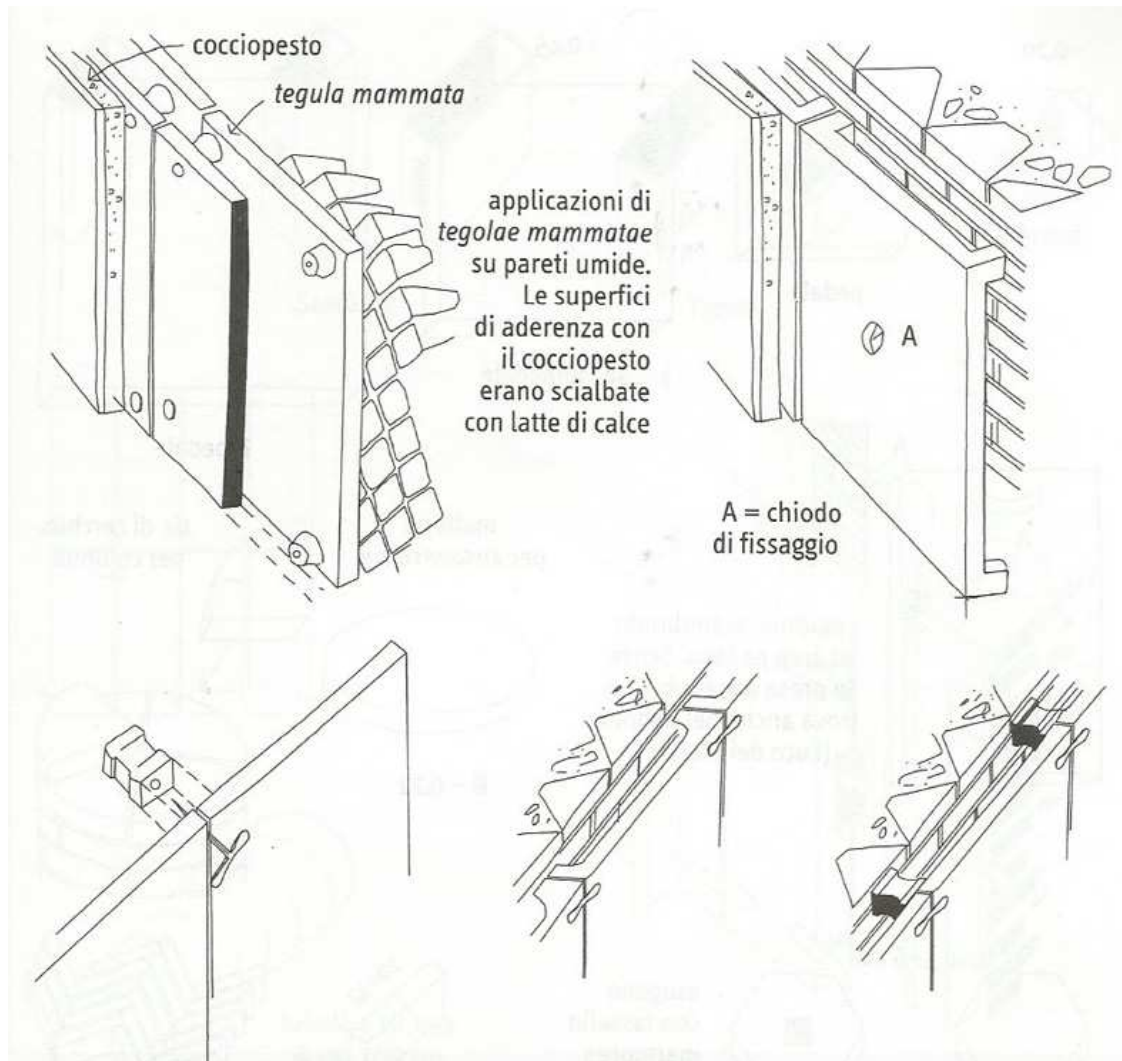
Il capo I del Libro VII tratta dei terrazzi, in particolar modo di quelli allo scoperto sopra le case. Dopo aver descritto ampiamente la stratigrafia e la struttura lignea, sono specificati gli accorgimenti di rivestimento:

*Siano poste le tegole di due piedi tra le commesse, sopra il terrazzo sottopostovi la materia, havendo in ogni lato delle loro commissure i canaletti larghi un dito, lequali poi che saranno congiunte, siano empite di calce, con oglio battuta, & siano fregate insieme le congiunture, & ben commesse, così la calce, che si attacherà nei canali, indurandosi, non lascerà, ne acqua, ne altro trapassare con quelle commissure: dappoi che così sarà gettato questo terrazzo, ivi si deve sopra indure l'anima, & con bastoni rammazzarla bene.*

Il capo IV è invece dedicato alle finiture negli ambienti umidi: scopo è che le strutture possano durare senza difetti, e diversi sono i “casi operativi” trattati. Le prime sono le finiture dei muri di locali posti al piano terreno, nelle quali si realizzano delle arricciature (*trullissatio*) alte circa tre piedi (circa 90 cm) dal pavimento utilizzando il cocchiopesto in sostituzione della sabbia: «*Naturalmente il cocchiopesto poteva anche essere maggiore, come spesso capita di trovare, e perfino occupare l'intero spessore dell'intonacatura come succede molto di frequente nell'edilizia ostiense*»<sup>57</sup>.

---

<sup>57</sup> F. GIULIANI CAIROLI, *op. cit.*, p. 185.



**Figura 6.** La soluzione vitruviana per le murature umide, da F. GIULIANI CAIROLI, *op. cit.*, p. 185.

Per le murature completamente umide (v. Fig. 6) la soluzione (già descritta nel capitolo 1) è la realizzazione di una seconda parete più sottile — staccata dalle prime e rifinita con un arriccio in cocciopesto e intonaco — «*& tra due pareti sia tirato un canale più basso del piano del conclave, & questo canale sbocchi in qualche luogo: & poi che egli sarà fatto alquanto alto lasciati vi siano gli spiracoli*» in alto e in basso sulla parete, senza i quali l'umidità invaderebbe nuovamente il muro.

Nel caso invece lo spazio non sia sufficiente alla costruzione della seconda parete, è consigliata la costruzione sul fondo di un canale provvisto di buttafuori (*nares*) e la realizzazione degli sfiatatoi (*spiramenta*) in alto e in basso sulla parete verso l'esterno, descrivendone i dettagli tecnici: tegole di due piedi rivestite in calce mista ad acqua (in modo che non respingano l'arricciatura di cocciopesto) devono essere poste sopra il bordo del canale da una parte, mentre l'altra deve essere occupata da pilastrini di mattoni di otto dita (circa 60 cm), distanti dalla parete non più di un palmo (circa 8 cm), per il sostegno ciascuno degli angoli di due tegole. Al di sopra si devono infine fissare alla parete delle tegole uncinatae

verticali (*tegulae hamatae*) e rivestite internamente in pece e rifinite con calce mista ad acqua. L'ultima difficoltà, la tendenza al distacco della sgrossatura di cocciopesto applicata sulle tegole e dovuta alla veloce disidratazione, era risolta tramite la scialbatura delle facce esterne delle tegole con latte di calce.

Altro punto trattato è quello dei pavimenti dei *triclini* invernali, per i quali è descritta l'articolata stratigrafia adottata in epoca greca in modo che «né i convivi loro, quello, che da i vasi, & da gli sputi loro si manda a terra, subito caduto si secca, & i servi, che gli ministrano, se bene saranno scalzi, non piglieranno freddo da tali pavimenti»: strato più profondo e sufficientemente pendente è costituito da pietrame o cocchio, con un soprastante strato di carbone e un impasto di sabbione, calce e cenere, da livellare e levigare.

#### 2.4.2 *De re aedificatoria*

L'intera opera, in particolar modo il libro X dedicato all'*instauratio* degli edifici, è legata al tema della "durata" e al principio fondamentale della *firmitas*. Se per il primo gli edifici devono essere edificati "come se" potessero resistere in eterno, il secondo «*esige che ogni costruzione dell'uomo, sia rispetto alla robustezza e alla durata, compatta e solida e indistruttibile.*»<sup>58</sup> Nel trattato si parla della *prodigiosa naturae vis*, la "forza della Natura" contro la quale l'Uomo ha tentato di opporre resistenza condannando così la propria Architettura alla rovina: alla Natura appartengono «*i casi repentini de fuochi, delle saette, de tremuoti, & delli impeti dell'acque; & delle inondazioni, & dell'altre molte cose, che di giorno in giorno l'impeto, prodigioso della Natura ne può arrecare [...] mediante le quali cose si rovina, & si difetta qual'si voglia ben'ordinata; & ben fatta muraglia da qual si voglia l'Architetto*» (Libro X capitolo I). Gli effetti della Natura sono visibili nell'ardore del sole, nell'ombra diaccia, nei venti e nelle gelate, per i quali «*veggiamo i durissimi sassi consumarsi, aprirsi, & infracidarsi; & col tempo spiccarsi dalle alte ripe, & cadere sassi oltra modo grandissimi, talmente che rovinano con gran parte del Monte.*»

Alberti, riconoscendo alla Natura il primato sull'Uomo, individua i limiti e gli errori dell'architetto. Per i primi definisce il dovere del *nosce te ipsum*, del "conosci te stesso", il riconoscimento dei limiti concessi alla *téchne* umana; per i secondi l'autore critica fortemente non solo l'*arroganza* e «*la "stultizia" di chi crede di potersi opporre alla forza della natura, di fronte alle quali si chiede Leon Battista, chi non potrebbe ridere, o piuttosto odiare, tanta insania umana?*»<sup>59</sup>, ma anche e soprattutto i difetti degli edifici causati dall'architetto. Proprio contro l'Uomo Alberti scaglia nel capitolo I le critiche più feroci:

*Le villanie, che fanno gli huomini, Così mi guardi Dio, come alcuna volta io non posso fare, che è non mi venga a stomaco, vedendo che per stracurataggine di alcuni (per non dire cosa odiosa) che direi per avaritia, e si consente di disfare quelle muraglie, allequali*

<sup>58</sup> A.G. CASSANI, *op. cit.*, p. 135.

<sup>59</sup> Ivi, p. 137.

*ha perdonato, mediante la loro maiestà, il barbaro, & l'infuriato inimico, & allequali il tempo perverso, & ostinato dissipatore delle cose, acconsentiva, che ancora stessero eterne.*

I difetti, espressi nei libri precedenti, riguardano la natura distruttiva e “passiva” (intesa come causa e conseguenza del disinteresse per il destino dell'Architettura) dell'Uomo, che deve essere contrastata, nei confronti degli edifici del passato, da una *pietas* che deve da un lato paragonarsi al diligente costruire *ex novo*, e dall'altro deve saper risparmiare il tessuto antico–medievale delle città senza cadere vittima dell'*ædificandi libido*, tesi molto chiara e più volte sottolineata: «*Io ti avvertisco, che tu non corra a furia, per desiderio di edificare, a cominciare la opera, rovinando muraglie antiche; o a gittare i grandissimi fondamenti di tutta l'opera, il che fanno gli inconsiderati, & i furiosi*» (Libro II capitolo I).

Per Alberti la durata delle costruzioni è indice di un rigoroso *impegno* costruttivo, tramite *cura, diligentia, prudentia e industria*:

*Senza quell'attenzione costante, quell'applicazione assidua, quella vigilanza continua nei confronti di ogni opera umana, non è possibile pensare ad una durata nel tempo. [...] L'architetto deve fare tutto ciò che sta in lui, pur all'interno dei suoi limiti di uomo, per rendere ferma e durevole la sua opera architettonica: non è in suo potere “fare ch'è casi non seguano [...] ma che non vengano per nostro errore e negligenza, possiamo noi, e dobbiamo con maturo consiglio provvedervi”<sup>60</sup>.*

Quattro sono le forme di durata, intendibile come *conservazione*: la buona progettazione, la tutela, la manutenzione e il restauro. Come già visto, tema fondamentale dell'intero trattato appare la necessità di un progetto accurato, di una realizzazione attenta, di una «*idea precisa di quel che si vuole e dei mezzi per attuarlo*», di una sua attuazione con gli stessi criteri con i quali è stata iniziata, e di una conclusione raggiunta soltanto all'ottenimento *della massima esattezza di ogni particolare*. L'attenzione posta nella fabbrica «*deve proseguire, prolungandosi nel tempo con un'attenta e assidua vigilanza sull'opera immersa nella vicissitudo rerum. È nello stesso “occhio alato” che deve possedere qualunque architectus doctus, pius e prudens, che deve essere costantemente all'erta per cogliere al loro primo manifestarsi quegli indizi, quelle cause che innescano un processo di degrado. Vigil e circumspectus dev'essere l'uomo.*»<sup>61</sup> Il ritardo nella diagnosi non farà altro che accrescere le conseguenze del danno.

*Extrema ratio* è il restauro, rendendolo adatto — nel caso la costruzione sia stata condotta con quell'attenzione sempre sollecitata — solo ai casi di *sinistris impræmeditatisque*, quelli soggetti all'aleatorietà della Fortuna e quindi sfuggenti all'impegno dell'architetto. Nella tesi che non si debbano modificare radicalmente quegli edifici eccezionalmente deteriorati, sono descritti i consigli per abbellire quelli pregiudicati nella loro stabilità o *dall'intelletto e dal senno*, cioè per errori

<sup>60</sup> *Ibid.*

<sup>61</sup> *Ivi*, p. 140.

nella fase progettuale, o derivanti da un'esecuzione inadeguata. Le prime forme sono quelle più gravi, per le quali è «difficile porre rimedio agli errori di localizzazione che hanno rese malsane le fabbriche, rumorose e spiacevoli; come pure agli errori di delimitazione, quali il mancato proporzionato tra abitanti e spazi liberi, tra sito e ceto sociale»<sup>62</sup>, o derivanti da errori nel dimensionamento. Chiaro appare il tentativo di collegare stabilmente edifici e disegno della città, di elaborare ossia delle teorie generali sociali per una città "a misura d'uomo" concepita dall'architetto a partire dalle sue necessità formali e funzionali.

Nel capitolo XIII del Libro I è presente un accorgimento da adottare per i condotti delle acque e per il deflusso di quella piovana: i primi devono essere progettati per eliminare le *superfluità* senza arrecare lesioni all'edificio *né rodendo, né macchiando*; per la seconda invece, gli architetti accorti predispongono delle *doccie* per portarla *infuora*, o la utilizzano raccogliendola in condotti e cisterne, oppure le raccolgono in una rete fognaria «*dove le lavassero le immonditie; acciò che gli occhi, & i nasi de gli huomini non ne fussino offesi.*»

Nel Libro X l'elemento principale trattato è l'acqua: nel capitolo II è riconosciuta non solo come «*nutrimento di calore, & uno alimento della vita*» degli animali, senza il quale «*quelle cose, che crescono, & si nutriscono sopra de la terra, tutte, se tu gli leverai l'acqua diventeranno, & si convertiranno in niente*», ma anche come elemento fondamentale per la *vita* delle città.

Primo aspetto indagato nel capitolo IV riguarda gli indizi per scovare le acque nascoste, fondamentale per l'approvvigionamento e la formazione dei pozzi, e indirettamente per predire la bontà di un luogo per la costruzione degli edifici. Prima traccia è la forma del luogo, «*un luogo concavo, pare che egli sia quasi un vaso apparecchiato à ritenere l'acqua*»; i raggi solari a differenza possono disseccare le vene d'acqua sotterranee facendole evaporare o ricettandole in zone palustri. Altre zone dove è possibile trovare acqua sono quelle rivolte verso nord dove è *ombra oscurissima*, o quelle coperte dalla neve. Alberti considera, a partire dalla qualità dei terreni dove nascono i fiumi, che nei terreni ben "serrati" l'acqua non è presente se non *in pelle in pelle*, mentre dove il terreno è sciolto «*ha più humore ma non vi troverai l'acqua, senon giù ben adentro.*» La presenza della vegetazione è un altro sintomo evidente della presenza di acqua, ben evidente soprattutto nelle zone desertiche.

La natura del terreno è l'ultimo aspetto descritto ampiamente in molte varianti:

*Percioche i sassi Rossi, il più delle volte sono aquidosi, ma sogliono ingannare; percioche le acque, infra le vene delle quali tali sassi abbondano, se ne vanno. Et la felice, pietra tutta sugosa, & viva, che nella radice del Monte sia rotta, & molto aspra, ne porge facilmente la acqua. La terra sottile ancora facilmente ti darà occasione di trovare la acqua in abbondantia, ma farà di cattivo sapore, Ma il sabbion maschio, & la rena, che si chiama carbonchio, ne porgono con certezza, le acque molto sane & eterne. Il contrario interviene nella Creta, che per esser troppo spessa, non ti dà acque. Ma mantiene quella, che di fuori li viene. Nel sabbione si truovano molto sottili, & fangose; & nel fondo fanno*

---

<sup>62</sup> G. CANTONE, *op. cit.*, p. 30.

*posatura. Della Arzilla escono acque leggiere, ma più dolci che le altre. Del tufo più fredde, del terreno nero più limpide. Ma né la Ghiaia, se ella sarà sciolta, o minuta, vi si caverà con speranza non certa. Ma dove ella comincerà ad essere serrata più a basso, non sarà speranza incerta il cavarvi, Ma trovatevi l'acqua, ove ella si sia, o ne l'una, o ne l'altra sarà sempre di buono sapore.*

Nei quattro successivi capitoli sono descritti i metodi per realizzare i pozzi e i condotti, la qualità delle acque e del loro uso, i metodi per la realizzazione dei canali e delle cisterne.

Nel capitolo XIV è presente un breve compendio del rapporto tra umidità e murature, e soprattutto degli accorgimenti utili per mantenere i locali “sani” in relazione ai materiali da costruzione utilizzati: il migliore tipo di muro è quello costituito da mattoni crudi essiccati non rivestiti con gesso, che rende l'aria malsana e “densa”, ma piuttosto con legno d'abete o di pioppo, il quale rende l'ambiente più sano, tiepido d'inverno e non troppo caldo d'estate. Degli altri materiali di costruzione, «*il muro di selice, o di marmo è, & freddo & humido, conciosia che con suo freddo ristringne l'aria, & la converte in sudore, quello che è di Tufo & di mattoni è più comodo, poi che è sarà asciutto del tutto [...] Ma perché [i muri] si rasciughino presto si ha à lasciare i vani aperti à venti che scorrono.*»

I capitoli XVI e XVIII sono invece una rassegna di interventi di restauro contro i vizi manifesti e nascosti, «*che dimostra la conoscenza da parte di Alberti della cultura tecnico-artigianale del cantiere medievale.*»<sup>63</sup>

Il primo è dedicato ai metodi utili per riscaldare e raffrescare gli ambienti, consistenti innanzitutto nei rivestimenti delle pareti con tessuti di lana o di lino. Se invece il locale è umido, affinché l'acqua non vi possa entrare si consiglia di scavare al di sotto dei pozzi e di riempire di pietra pomice o di ghiaia rivestendoli poi di carboni e sabbione o tubetti d'argilla, completati di *doccioni e ammattonati*: «*Gioverà certo grandemente se l'aria sotto al pavimento potrà respirare, Ma contro allo impeto delli ardori del Sole & contro alle crudi tempeste dello Inverno farà molto bene, se il piano per altro non vi farà humido ma secco.*» È raccomandato, in sostituzione dell'ammattionato, un assito di legno per generare dell'aria fredda al di sotto del pavimento, e di coprire il locale con una volta affinché «*la state ella sia fresca, & lo Inverno tiepida.*»

Per le mura invece, che «*si pelano, o elle s'aprono, o gli ossami si rompono, o elle si piegano da lor diritti*», sono riportate insieme ai rimedi le tante e diverse cause occulte, manifeste o oscure (causate queste ultime dalla pigrizia dell'uomo), ravvisabili soprattutto nella negligenza e nella trascuranza degli Uomini o in molte ragioni “secondarie” (come fulmini, terremoti e conformazioni del terreno) aggravate da spessori limitati, dagli imperfetti collegamenti fra le loro parti, dalla presenza di “vani nocivi” o dall'assenza di «*ossami bastanti & gagliardi contro le ingiurie de temporali.*» Alle prime è ricondotto l'effetto causato dalla vegetazione, mentre per le seconde sono descritti diversi metodi d'intervento: se il muro è troppo sottile se ne dovrà realizzare un altro di pietra ordinaria *tal che diventino uno solo* — o solamente introdurre l'ossatura (pilastri,

<sup>63</sup> A.G. CASSANI, *op. cit.*, p. 145.



travi, colonne) mediante dei vani — tramite delle morse di pietra fuoriuscenti del muro esistente e sulle quali innestare il nuovo realizzando così una “muratura a sacco”; dove mancano le giunture si useranno invece catene o legamenti di ferro o di rame. Se il muro è sottoposto al peso della terra, anche in presenza d’umidità, si deve realizzare una fossa sufficientemente larga e «*muravi alcuni mezzi cerchi, i quali certamente ricevino la forza del peso dell’aggravante terreno, & aggiugnivi in alcuni luoghi vaselli, o doccie, per le quali se ne scoli, & si spurghi l’humore che vi distilla.*»

L’ultimo capitolo è dedicato a quelle « *cose, allequali non si può provvedere, ma che si possono dopo il fatto emendare.*» I difetti possono distinguersi in *vitia*, che possono essere riparati dall’uomo, e in *insita atque innata*, che derivano da responsabilità dell’architetto o da cause esterne che sfuggono al suo controllo.

I *vitia*: «*Alcuni sono difetti dell’animo, & alcuni delle mani; dell’animo sono l’elettione, lo scompartimento, la distribuzione, il finimento mal fatto, dissipato, & confuso. Ma i difetti delle mani sono l’apparecchiamento delle cose, il provvederle, il murarle, & metterle insieme poco accuratamente, & a caso, & simili, ne quai difetti, i poco diligenti, & mal considerati, facilmente incorrono.*»

I secondi invece sono tanti e vari, già trattati nel passato e basati sulle tesi che «*tutte le cose sono superate, & vinte dal tempo, & che i tormenti della vecchiaia sono pieni di insidie, & molto potenti, né possono i corpi sforzarsi contro a’ patti della natura, di non invecchiare, talmente, ch’alcuni pensano, che’l Cielo stesso sia mortale.*»

«*Il restauro è anch’esso soggetto ai limiti in cui si dibatte l’uomo: non tutti gli errori infatti possono essere corretti con “ingegno” e “arte”. Alcuni di essi sfuggono totalmente ad ogni possibilità di essere emendati. Come ogni virtus umana, anche l’instauratio è del tutto limitata: “Taluni, inoltre, con l’ingegno e il mestiere possono essere corretti; altri sono affatto irreparabili”*»<sup>64</sup>, al punto che se «*si vedono fabbriche estremamente deteriorate tanto da richiedere interventi massicci che ne altererebbero l’originaria fisionomia, conviene piuttosto demolirle e ricostruirle.*»<sup>65</sup> Nel restauro l’architetto deve agire come un medico, cogliendo i sintomi della malattia e fornire di conseguenza le efficaci soluzioni. Utilissima appare la lettura del luogo e degli edifici vicini, ricavata «*dalle mura- ture delle case più vicine: se saranno divenute scabre e consunte, sarà segno che la zona soffre di particolari mali.*» L’autore, trattando della basilica di San Pietro a Roma e del suo stato di degrado, elenca i casi relativi alla stabilità delle strutture dando per ognuno i metodi di controllo e di risoluzione, dai dissesti delle fondazioni e del terreno alle fessurazioni nelle murature, dai danni a colonne e pilastri ai cedimenti parziali delle strutture.

---

<sup>64</sup> Ivi, p. 142.

<sup>65</sup> G. CANTONE, *op.cit.*, p. 29.

### 2.4.3 *Principij di architettura civile*

Milizia nel capitolo VIII del Libro III–Tomo III, tratta delle *ristaurazioni*, intese come i rifacimenti di alcune o di tutte le parti di un edificio «*degradato, o perito per cattiva costruzione, o per lasso degli anni, così che si rimette nella sua prima forma, o si aumenta anche considerabilmente, o più si abbellisce.*» Come già visto, per Milizia la perfezione dell'opera si ottiene solamente quando sono rispettati i tre requisiti dell'Architettura, e risulta immediato considerare che un edificio non *solido* non è utile né alla bellezza né alla comodità. «*Per i significati impliciti nell'opera d'arte e per il desiderio di perfezione Milizia auspica che dei savi legislatori provvedano, coi mezzi propri alla loro funzione, ad intervenire sulle tecniche edilizie per assicurare alle fabbriche la più lunga durata possibile*»<sup>66</sup>, dato che «*gli edifizj, come gli uomini, e come tutti i corpi, portano fin dal loro concepimento il principio della loro distruzione, la quale deve esser tenuta più lungi che si può.*»

Dopo aver elencato le cause per cui un edificio può rovinarsi (l'uso, il caldo e il freddo, il proprio peso, l'alternarsi dell'aria umida e secca, le scosse e gli urti ordinari e accidentali), l'autore descrive, per le diverse tipologie di *malanni*, i propri metodi di intervento:

- ° quando un edificio è *decrepito*, la migliore soluzione è demolirlo e ricostruirlo *di pianta*;

- ° se è in gran parte *sano e robusto*, e le lesioni (dovute a vizi di costruzione) interessano solo qualche sua parte, l'intervento riguarderà la parte lesa «*ma colle necessarie precauzioni che il nuovo leghi bene col vecchio, [il quale] non fa alcun moto, mentre il nuovo col disseccarsi è in continua alterazione, finché non sia bene assettato.*» Nel caso invece si debba edificare un edificio sopra fondazioni vecchie, o aggiungere parti ad un edificio esistente, dovrà essere verificato che le fondazioni siano sufficientemente resistenti;

- ° «*Quando un edificio è compiuto, è sempre pericoloso il ritoccarlo*», perché «*nascono sovente gravi malanni alle fabbriche, per alcune mutazioni che vi si fanno*»: bisogna affidarsi all'architetto-costruttore dell'opera (il quale *sapeva bene il suo mestiere* e ha «*posto nella sua fabbrica che quello che vi era assolutamente necessario, e che tutte le grossezze fossero state proporzionate alla quantità e qualità del peso*») ed evitare ogni intervento sull'esistente, soprattutto sulle fondazioni o sul terreno circostante che possono diminuirne la solidità. Nel caso si debbano realizzare degli scavi molto vicini all'edificio, si dovrà scavare poco per volta, «*si muri subito, si riempia*»;

- ° nel caso invece si debbano demolire parti di edifici, la demolizione deve essere compiuta poco a poco, «*e a misura che se ne fa un tratto conviene appuntellar la fabbrica o con travi, o con contrafforti di muro, o con muri nuovi.*»

A queste considerazioni di carattere generale riguardanti le strutture degli edifici, Milizia dedica alcuni capitoli dello stesso Libro agli accorgimenti tecnici da

---

<sup>66</sup> I. PROZZILLO, *op. cit.*, p. 76.

utilizzare durante la costruzione relativi al rapporto acqua/edificio. I temi trattati riguardano principalmente gli intonaci, le coperture e i pavimenti.

I primi sono analizzati nel capitolo III. Quando devono essere realizzati in luoghi umidi, parzialmente o totalmente interrati o esposti a qualche terrapieno, agli intonaci di sabbia e calce dev'essere aggiunto «*tritume di mattoni o di tegole*» per formare un intonaco *ben grosso*. L'autore cita la soluzione vitruviana dell'intercapedine muraria, qui ripresa per lo smaltimento delle acque: «*Si fabbrichi vicino al muro principale un muricciuolo sottile distante dall'altro quanto possa situarsi fra loro un canale, o un picciolo condotto, che possa ricever l'acqua tramandata dal muro esterno, e la faccia scolare al di fuori. Di più: affinché l'umidità non resti rinserrata fra i due muri, giova praticare degli spiragli nel muricciuolo per l'esito de' vapori*». E anche nel caso in cui la seconda muratura non possa essere realizzata, Milizia cita letteralmente la soluzione presente nel *De architettura*: «*Quante scrupolose precauzioni! Si omettono questi scrupoli, e l'umidità in certi luoghi imperverserà tanto, che renderà gli edificj inservibili, e di breve durata*».

Contro l'umidità l'autore consiglia di utilizzare intonaci esterni di vernice, stesi in spessore doppio rispetto a quelli interni e composti di «*corpi flogistici, e l'umido non si attacca*» (come gomme, resine, zolfi o parti metalliche).

I tetti, oltre a «*difendere gli abitanti dalle ingiurie dell'aria*», hanno la funzione fondamentale di allontanare l'acqua piovana. Alla descrizione delle componenti delle coperture e delle loro caratteristiche, Milizia aggiunge due importanti considerazioni: un tetto non deve mai scaricare le acque sopra un altro perché «*l'impeto dello scarico danneggerebbe il tetto inferiore. Dunque le acque del tetto di sopra vanno raccolte nelle gronde, e condotte giù per dozzioni*»; i tetti devono sporgere dalle murature solo per l'aggetto necessario a «*difender la fabbrica dall'acqua che scola da su: un maggiore sporto li renderebbe inutili, disagiati, troppo pesanti, e pericolosi a cadere*». Gli stillicidi — dannosi per gli edifici e *molesti ai passeggiatori* — devono essere totalmente evitati: le grondaie devono scaricare in tubi (dozzioni metallici, in pietra o in terracotta verniciata) posti in dimensioni e numero sufficiente agli angoli dell'edificio «*ben incassati nell'interno de' muri, e tirati da cima fino in fondo dell'edificio [...] per preservare le abitazioni dalla umidità, per non incomodare le strade, e per mettere a profitto ogni acqua*». Al fondo di ciascun canale devono poi essere realizzati dei pozzetti di dimensioni sufficienti affinché i depositi e i materiali trasportati vi si depositino, collegati a cisterne o vasche (nel caso l'acqua piovana sia riutilizzata) o direttamente alla fognatura. L'autore poi descrive i cosiddetti *secchi*, i piccoli condotti di scolo delle acque provenienti dal terreno.

Sono analizzate brevemente le principali cause di degrado delle coperture, dovuto principalmente alla

*trascuratezza nel tener puliti i tetti e i muri. Una radice di qualsiasi pianterella può esser più dannosa delle saette, e de' turbini. Gocce d'acqua trapelanti pel tetto putrefanno tutto. Fino i muschi e i licheni debbono essere considerati: attaccandosi essi colle radici*

*sulle tegole, o su i muri, vi ritengono a guisa di spugna l'umidità, e vi cagionano una specie di putrefazione, e una vera carie: cancrenano, e riducon in terra i sassi più duri.*

Gli ultimi elementi trattati sono i pavimenti su suoli umidi. Alla tipologia vitruviana nuovamente citata, Milizia aggiunge quella utilizzata secondo il *gusto* dei Romani tratta dal De La Faye, composta da un primo letto più profondo di lastre di pietra dura collegate con uno *smalto di calcina*, e di «*rosticci o sieno scorie di ferro*», da un secondo strato costituito da frantumi di selci e di pietre dure con un cemento formato da 1/3 di sabbia e 1/3 di calce, e da un terzo strato composto per 1/3 di cemento, 1/3 di calce e 1/3 di marmo e pietre dure ridotte in polvere. L'ultimo *letto* è costituito da smalto colorato (costituito per 1/3 di cemento, 1/3 di polvere di marmo e 1/3 di calce stacciata), o da dadi di marmo, o da terra smaltata.

Le terrazze allo scoperto invece — le quali devono essere realizzate affinché «*resistano alla umidità, né si fendano pel Sole, né si sfarinino per le brine e pel gelo, con grandissimo nocumento della travatura, o della volta, de' muri, di tutto l'edificio, e della salute e sicurezza degli abitanti*» — sono costituite da un lastrico alto circa un piede formato da 2/5 di calcinaccio, 1/5 di cocci pesti e 2/5 di calcina, da un soprastante strato di cocci e di calce e dal pavimento di tasselli sufficientemente pendente. «*Ogni anno poi all'avvicinarsi dell'inverno s'imbeverava con feccia d'olio; preservativo contro il gelo*»: nei climi più rigidi il rivestimento era costituito da mattoni ricoperti di calce stemprata con olio (una sorta di colla composta di calce in polvere, olio e bambagia) e uno strato di finitura di cocci e calcina. Infine, quando un terrazzo è crepato non bisogna «*mettere nuovo lastrico nelle crepature: il nuovo non lega col vecchio, e nel seccarsi si distacca*»: se la fessura è piccola si colmerà con olio di noce bollito con cenere previa la sua pulitura, mentre se è grande l'olio deve essere mescolato con un *poco di verde de gris*; quando invece è larga tre o quattro pollici, «*si usi della buona malta con un resto di limatura di ferro: il ferro arrugginandosi gonfia la malta, e la attacca col vecchio.*»

### 3. IL RISANAMENTO DELLE MURATURE NEI MANUALI DEL XIX SECOLO

#### 3.1 L'Ottocento

All'inizio del XIX secolo la ricerca non è solo ampliata e sviluppata da diversi autori, ma è, come ben analizzato da Antoine Picon, ormai figlia del cambiamento settecentesco della nuova

*percezione del modo fisico [...] Laddove i filosofi, gli scienziati e gli ingegneri dell'età classica erano soliti considerare la natura come un qualcosa di organizzato secondo le leggi dell'ordine e della proporzione, come un qualcosa di essenzialmente architettonico, le élites del XVIII secolo furono via via più impressionate dalla mobilità degli elementi naturali. [...] L'efficienza non era più legata a una ideale disposizione di mezzi, governata dalle proporzioni, bensì era vista come l'espressione del dinamismo naturale<sup>1</sup>.*

Tra il XVIII e il XIX secolo si può percepire il passaggio dall'età della *razionalità classica, geometrica* (o vitruviana) ad una *razionalità analitica*, per il quale in Italia possono essere sinteticamente riconosciute diverse tappe di questo nuovo corso:

- ° nel 1826 a Bologna è pubblicato il manuale a cura di Nicola Cavalieri di San Bertolo, il primo manuale *moderno* italiano redatto per la scuola d'ingegneria di Roma fondata da papa Pio VII. I cinque volumi e le tavole allegate trattano: i lavori di terra, argini e strade, i lavori di legname e ferro, i lavori murali (per i quali sono definite e classificate le loro modalità costruttive, i materiali e le forme), le macchine e le manovre, i principi e le regole per le stime dei lavori.
- ° nel 1831 a Mantova è pubblicata la traduzione italiana a cura di Basilio Soresina del *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare* di Rondelet, composto da cinque tomi e sette volumi;
- ° nel 1864 è pubblicato *L'arte del costruttore ossia istituzioni teorico-pratiche per l'ingegnere dei lavori pubblici* di Carlo Gabussi, suddiviso in due volumi (il primo sui lavori di terra, il secondo sui materiali delle opere d'arte) e 144 tavole. Si tratta del primo manuale nel quale si fa riferimento ai mattoni cavi;
- ° nel 1869 a Torino è pubblicato il primo manuale dell'Italia unita, *L'arte del fabbricare* di Giovanni Curioni, suddiviso in sei volumi. I temi trattati sono: le opere topografiche, i materiali da costruzione, i lavori generali di architettura

---

<sup>1</sup> A. PICON, *Tra utopia e ruggine. Paesaggi dell'ingegneria dal Settecento a oggi*, Umberto Allemandi & C., Torino 2006, p. 27.

civile stradale e idraulica, la resistenza dei materiali, la geometria pratica applicata all'arte del costruttore e le costruzioni civili stradali e idrauliche;

° nel 1884 è pubblicato il *Trattato generale di costruzioni civili* di Gustav Adolf Breyman, suddiviso in cinque volumi (costruzioni in pietra e strutture murali, costruzioni in legno, costruzioni metalliche, distribuzione generale degli edifici in conformità allo scopo) e quattro tavole;

° nel 1885 è pubblicato *Particolari di costruzioni murali e finimenti di fabbricati* di Giuseppe Musso e Giuseppe Copperi, suddiviso in tre parti ognuna delle quali risulta composta da due volumi di testo e uno di tavole. La prima parte si occupa delle strutture murarie, la seconda delle opere di finimento, la terza delle costruzioni rurali;

° nel 1893 è pubblicato *La pratica del fabbricare* di Carlo Formenti, in due volumi e 64 tavole. La prima parte (sul rustico nelle fabbriche) tratta degli sterri e del cantiere, delle opere di fondazione, delle strutture elementari in generale e dei cementi armati; la seconda parte (sulle finiture delle fabbriche) tratta delle strutture complete, della provvista e distribuzione dell'acqua, delle fognature, dei camini, del riscaldamento, della ventilazione, dell'illuminazione e delle applicazioni riassuntive.

*I trattati classici, da Vitruvio ai cinquecenteschi, sono stati la bibbia per la didattica in architettura almeno fino alla prima metà dell'Ottocento: e le nuove pubblicazioni seguivano fedelmente la loro traccia: raccolte di tutte le conoscenze in architettura civile, militare e idraulica [...] universali, ma con nozioni di tipo superiore; per una didattica elitaria. Nell'Ottocento [...] cade il limite: la trattazione scientifica si sistematizza, approfondendo analiticamente gli argomenti senza lacune di propedeuticità. Le nozioni su materiali e tecniche costruttive ricuciono la scissione tra progettazione e cantiere<sup>2</sup>.*

Il passaggio di *razionalità* coincide anche con quello tra *logica empirica* e *logica scientifica*: la prima è quella primigenia dell'Uomo derivata dalle sue necessità e dalla grande varietà di materie prime esistenti in natura, basata su «tentativi ed errori, cioè da indagini logiche, ma solo sperimentali, prive cioè di spiegazioni scientifiche di ciò che [l'Uomo] ha imparato praticamente»<sup>3</sup>; la seconda invece, figlia della *scienza nuova* di Bacone e di Galileo, ha spaziato in tutti i campi del sapere — anche e soprattutto quelli già oggetto di interpretazioni filosofico-irrazionali — sostituendo in molte attività produttive il “saper fare empirico” con tecnologie moderne “insegnabili” anche in forma scritta e utilizzabili con limitate esercitazioni pratiche sulla base comunque di buone conoscenze pratiche.

La *logica empirica*, fatta di tentativi “coraggiosi”, intuizioni, modifiche a conoscenze precedenti e procedimenti lineari ma complessi, non è stata però completamente sostituita nella ricerca puramente scientifica e nella vita comune. Ogni sequenza di operazioni richiede un “saper fare” — dalla scelta della materia prima più adatta agli strumenti e ai modi per poterla estrarre e lavorare — e quel-

<sup>2</sup> M. FELICI, introduzione a J.B. RONDELET, *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare*, Volume I Tomo I, Editrice Librerie Dedalo, Roma 2004, p. III.

<sup>3</sup> T. MANNONI e E. GIANNICEDDA, *op. cit.*, p. 8.

lo empirico «*ha sempre messo in grado di produrre ottimi manufatti*»<sup>4</sup>, corrispondenti a precise (seppur difficili e non principali) ipotesi di utilità: più un manufatto è difficile, più il ciclo (realizzato anche dallo stesso operatore) diviene complicato, mentre se il risultato dev'essere una miscela di più materiali, la regola «*più logica è quella di sostituire, o di variare, la quantità di un componente, tenendo ferme quelle degli altri, e controllando ogni volta le variazioni delle caratteristiche tecniche del prodotto.*»<sup>5</sup> “Legante” dei cicli produttivi era non solo l'organizzazione economica, ma anche la conoscenza della materia prima e delle sue caratteristiche; la scarsa padronanza delle cause naturali sottese ai processi può spiegare il totale rispetto delle regole alla loro base, e la conseguente omogeneità dei prodotti antichi (e l'assenza di trattati dei mestieri).

Qualsiasi società è stata tesoriera delle esperienze accumulate, e quindi dei miglioramenti del “saper fare”: prima fondamentale organizzazione è stata, prima della produzione industriale, quella «*dell'apprendistato che, per ragioni fisiologiche legate al sapere empirico, non poteva avvenire che in modo visivo-manuale ed orale tra chi sapeva e chi imparava.*»<sup>6</sup> Per l'artigiano esistevano una serie di “regole dell'arte” imparate dal maestro, e solo rispettando queste regole il manufatto poteva considerarsi funzionante: se anch'esso diventava sufficientemente bravo, poteva tentare qualche miglioramento delle tecniche, da trasmettere ai propri allievi.

### 3.2 Il Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare di Jean Baptiste Rondelet (1802–1817)

Allievo di Jacques–François Blondel e di Etienne–Louis Boullée, Jean-Baptiste Rondelet si dimostrò uno dei migliori costruttori del suo tempo e uno dei principali organizzatori delle scuole in ingegneria sorte in Francia alla fine del XVIII secolo. Per Rondelet «*l'architettura ha la missione di contribuire al progresso umano. Non essendo, almeno nelle sue ambizioni, una semplice operazione di ingegneria, essa deve rispondere non solo all'esigenza di stabilità ma anche a quelle di convenienza e di bellezza. In questo modo sarà possibile costruire edifici al tempo stesso sicuri, confortevoli e grandiosi, che faranno la gloria della città.*»<sup>7</sup>

La sua opera più importante è il *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, pubblicato in cinque libri e sette tomi tra il 1802 e il 1817 e accompagnato da una raccolta di tavole illustrate: obiettivo è riportare in primo piano la maestria nella costruzione e le capacità tecniche e teoriche. Novità dell'opera è il non affidarsi a “ricette” antiche ma piuttosto all'esperienza dell'autore, e in base a quest'orientamento tecnico–scientifico il trattato è suddiviso in architettura mili-

---

<sup>4</sup> Ivi, p. 13.

<sup>5</sup> Ivi, p. 11.

<sup>6</sup> Ivi, p. 14.

<sup>7</sup> B. EVERS e C. THOENES, *op. cit.*, p. 336.

tare, costruzione navale e architettura civile (comprendente i grandi edifici pubblici, come ad esempio templi, palazzi, scuole, teatri, archi di trionfo, fontane, ponti, piazze e strade): «*Le modalità di presentazione la inseriscono tra il trattato all'antica maniera e un nuovo tipo di manuale strutturato in modo sistematico*»<sup>8</sup>.

La parte più importante tratta anche in questo caso dei materiali come i mattoni, pietra, cemento o terra, e per la prima volta il ferro è descritto come materiale da costruzione, e un'ampia parte è dedicata al calcolo dei costi di costruzione. I sette tomi trattano al tomo I della pietra, al tomo II del mattone e del cemento, al tomo III degli aspetti tecnici della costruzione a volta, al tomo IV della concezione matematica, al tomo V del problema delle infrastrutture e del movimento tettonico, al tomo VI della struttura portante, mentre il tomo VII di diversi argomenti, tra i quali la costruzione delle coperture e il rivestimento delle pareti.

Nelle sue concezioni estetiche, Rondelet è

*legato alle idee del XVIII secolo che ebbero la loro fioritura durante l'impero napoleonico. [...] L'approccio razionalistico di Rondelet e il suo protofunzionalismo costituiscono le radici di sviluppi decisivi del XX secolo. Nella sua epoca incise profondamente nella discussione di teoria architettonica, anche se c'erano pensatori tradizionalisti più influenti che, grazie alle circostanze politiche, ebbero maggiori possibilità di operare come architetti costruttori*<sup>9</sup>.

### 3.2.1 *I materiali da costruzione*

Nel capo I del Libro I, dopo aver descritto origine e specie di pietre (marmi, graniti, basalti, porfidi) in Francia, in Italia e in diverse altre regioni europee, l'autore descrive le caratteristiche che devono avere per poter essere utilizzate nelle costruzioni: «*Le pietre di buona qualità debbono avere la grana fina ed omogenea, la tessitura uniforme e compatta, debbono resistere all'umidità ed al gelo, e non ischeggiarsi all'azione del fuoco. Poche pietre riuniscono tutte queste qualità; perciò la prima cura di un architetto incaricato di eseguire un edificio, dev'essere quella di esaminare le pietre usate nel paese ove si deve edificare, per adoperar ciascuna nei lavori ai quali è più adatta*».

Quattro sono le specie di pietre definite dai *mineralogi*: quelle argillose, molli al tatto, composte da filamenti o scaglie separabili e che non fanno effervescenza con gli acidi; quelle calcaree, dalle quali appunto si ricava la calce; quelle *gipsee*, ossia gessose, non utilizzabili come materiale *di murazione* e che si decompongono con l'umidità; infine quelle *scintillanti* (o *ignescenti*) che danno «*scintille ignee quando si percuotono coll'acciarino*». In generale, le pietre possono distinguersi in dure, che non possono essere tagliate «*se non colla sega ad acqua ed a sabbia*», e in tenere, più chiare e che si possono tagliare manualmente *colla sega a denti*: le pietre *scintillanti*, più dure e difficili da lavorare, sono quelle più

<sup>8</sup> Ivi, p. 338.

<sup>9</sup> H.W. KRUF, *op. cit.*, p. 379.



resistenti, mentre quelle calcaree sono più tenere ma meno resistenti alle intemperie e al fuoco.

È descritto il metodo di estrazione, a seconda della natura della pietra: «*E quando le cave sono nuove, è buona cosa scavar massi in ogni stagione dell'anno; esporne all'aria, all'acqua, all'umido, al gelo ed anche all'azione del fuoco*», mentre quando sono vecchie è necessario visitare gli edifici costruiti con le pietre ricavate, per dedurne resistenza ai pesi, all'acqua e all'umidità, e i metodi della loro posa in opera. Importante è anche il rapporto pietra/acqua: «*Quando si bagna una pietra, se assorbe rapidamente l'acqua ed aumenta di peso, essa è poco propria a resistere all'umidità*».

Il capo II è invece dedicato alle pietre artificiali, ossia mattoni crudi e cotti, una tecnica utilizzata principalmente come *supplemento* dove le pietre sono di rara o bassa qualità. I primi hanno il difetto «*di non poter resistere all'umido nei climi freddi [...] e non si conservano che nei paesi caldi e nei climi secchi*»: la terra non deve essere arenosa, pietrosa e sabbionosa – sia perché *riescono pesanti*, sia perché quando bagnati dalle piogge *si sfarinano e si stemperano* a causa della slegatura della paglia – ma piuttosto argillosa, bianchiccia cretosa o rossa.

La formatura deve avvenire in primavera e in autunno perché si possano essiccare in maniera uniforme. Per i primi particolarmente dettagliata è il metodo di impasto e formatura degli elementi, mentre per i secondi l'autore disserta lungamente sulla descrizione delle fornaci per la cottura e la disposizione degli elementi al loro interno:

*Affinché l'azione del fuoco sui mattoni produca un regolare effetto si è conosciuto essere necessario che nelle prime 24 ore si mantenga ad un grado moderato, che si mantenga per altre 36 ore ad un grado più intenso, e quindi si spinga il calore e si conservi nel massimo grado d'intensità finché il materiale sia cotto a perfezione. I laterizi si lasciano raffreddare lentamente nella fornace, mentre un troppo rapido raffreddamento li fa deteriorare, si sfogliano, e sotto la pressione e per effetto del gelo si sfarinano. I mattoni di una stessa infornata riescono di qualità diversa secondo la loro posizione nella fornace, pure quando il fuoco si è regolato a dovere tutti i materiali sono buoni purché si abbia cura di applicarli alle varie occorrenze delle costruzioni.*

Nel capo III è trattata la malta di calce, e della necessità, per essere utile nella costruzione, di essere realizzata con materiali di buona qualità: le pietre migliori per la produzione della calce sono quelle più dure, pesanti, di *grana fina ed omogenea* e tessitura compatta. Anche in questo caso l'autore descrive i metodi di cottura: il riscaldamento della fornace deve avvenire per gradi (sia perché «*se le pietre sono assalite da un fuoco troppo vivo, si spezzano e fanno crollare quelle che si dispongono nel forno a guisa di volta a giorno per facilitare la cottura di esse*», sia perché «*è da temersi che le pietre prese troppo rapidamente dal fuoco non possano più convertirsi in calce; invece un fuoco moderato in principio le fa sudar lentamente e ne ritira l'umidità senza fenomeno*») e senza interruzioni; le *fornate* devono essere costituite da pietre di una sola specie e se possibile della stessa cava, con quelle più dure e grosse poste al centro; la durata è variabile dal-

le 15 alle 60 ore, a seconda di diversi fattori (qualità delle pietre, combustibili impiegati, costruzione del forno).

Nello stesso capo è trattata la sabbia, elencandone le quattro tipologie (*vitree, quarzose, calcaree e argillose*), e le categorie a seconda della grossezza delle parti (*«le più grosse si chiamano ghiaie; l'arena ha le sue parti meno grosse e più regolari; la sabbia le ha ancor più piccole e meno aride; e finalmente il sabbione le ha finissime»*) e del luogo di estrazione. L'articolo è poi interamente strutturato sulle citazioni del Vitruvio (riportato interamente) e dei successivi trattatisti, e sulla descrizione degli *esperimenti* compiuti dall'autore nella realizzazione delle malte tramite materiali diversi. Più *interessante* appare l'articolo successivo sulla pozzolana: dopo aver elencato diversi tipi di materiale ricavato in Italia, Rondelet espone alcune tecniche per le costruzioni nell'acqua. Mescolando infatti la pozzolana grigia di Napoli con sabbia, *«rapillo, e coi ritagli di pietre, la mistura di queste diverse materie, agitata a più riprese forma un eccellente massiccio che indurisce nell'acqua di mare, ove diviene più consistente che la pietra»*, mentre quella rosso-bruna romana può essere utilizzata *«sola colla calce con cui fa una malta eccellente.»* Il cemento è invece una polvere di *tegole peste*, con la quale si può realizzare una malta resistente all'acqua e all'umidità, utilizzata principalmente per gli intonaci dei bacini, delle cisterne e degli acquedotti. Si possono adoperare tegole ben cotte ricavate direttamente dai tetti, piccoli ciottoli, ghiaia o piccole *palle terr'argillose* cotte e pestate.

Dei metodi di formazione della malta, l'autore ne descrive due: quello di Lorient e quello di De La Faye. La prima si ottiene aggiungendo alla malta ordinaria (formata da *«una parte di mattone ben pesto e stacciato, e due parti di sabbia di fiume cribrata, con calce vecchia estinta»*) 1/3 di calce viva in polvere; utilizzata principalmente per i lavori nell'acqua, l'autore ne sottolinea i maggiori costi di produzione e la perdita di consistenza nel tempo a causa dell'eccessiva quantità di calce dell'impasto che assorbe l'umidità necessaria all'aderenza della malta con le pietre e i mattoni. Per il secondo metodo invece — più semplice, meno costoso e meno *imbarazzante* del primo — l'autore riporta diverse *combinazioni* a seconda dei materiali utilizzati:

*Se avete sabbia di terra, rozza al tatto come quella che i Romani chiamavano fossicia, mettete in un vaso qualunque tre misure di essa ed una di calce; fate un miscuglio esatto di queste materie, ed agitately quindi aggiungendo la quantità d'acqua necessaria a fare una malta grassa.*

*Se invece è sabbia di terra, bianca, gialla, o rossa, e che sia fina al tatto, mescolatene due parti con una di calce, e seguite il modo testé indicato.*

*Se è sabbia di torrente, ne unirete del pari due parti con una di calce seguendo il metodo stesso.*

*Se è sabbia di mare o di fiume, recentemente estratta dall'acqua, mescolerete due parti senz'aggiugnere acqua, mentre questa sabbia ne conterrà quanto occorre per fare una malta grassissima mescolandola perfettamente.*

*Se la vostra sabbia di mare o di fiume è secca, la mescolerete pure con un terzo di calce, dando al tutto l'acqua necessaria a ben mescolarlo.*

Il capo IV è dedicato al gesso, utilizzato maggiormente per la costruzione delle case ordinarie data la sua facilità di formare un “corpo solido” senza altri materiali tranne l’acqua. A differenza della calce, «*il gesso impastato aumenta di volume facendo corpo [...] è perciò che si debbono prendere certe precauzioni quando si adopera il gesso in certi lavori, come nelle volte, e nei cammini fatti contro muri isolati*». L’autore descrive i tre tipi di gesso: quello comune, di colore bianco grigiastro, quello *sfogliato* (o selenite) e l’alabastrite (o falso alabastro). La cottura del gesso, come quella per la calce, deve rispettare alcune regole: modo migliore è quello di incrementarne costantemente la temperatura e di mantenerla per almeno 24 ore. Il gesso poco cotto è arido e non forma *un corpo solido*, quando invece è troppo cotto non è *grasso abbastanza*, quando infine è ben cotto «*il lavoratore sente nel maneggiarlo che è dolce e che si attacca ai diti [...] Il gesso deve polverizzarsi appena è cotto, o col batterlo o collo stritolarlo con macchine o cilindri di pietra, mentre perde la sua qualità, benché resti per poco esposto all’aria: il sole riscaldandolo, lo fa fermentare; l’umidità ne diminuisce la forza, e l’aria ruba la maggior parte de’ suoi sali.*»

Nel capo III del Libro IV–Tomo II l’autore confronta i due materiali per la costruzione delle murature moderne: il gesso è sì più *comodo* della malta per le case comuni, ma è caratterizzato da una solidità che va man mano diminuendo («*Quando queste ultime [costruzioni in gesso] sono esposte all’umidità o alle ingiurie dell’aria, hanno bisogno di essere rinnovate dopo quindici o venti anni*») a causa della deformazione dovuta all’aumento di volume, mentre le costruzioni in malta, assestandosi, acquistano una consistenza più solida: «*I muri di facciata murati in malta si conservano piani ed a piombo, mentre quelli in gesso si contorcono e perdono il perpendicolo, quantunque originariamente sieno stati fabbricati tutti piani come quelli in malta*».

### 3.2.2 Le tecniche costruttive: fondazioni, murature, coperture

Le fondazioni sono descritte nella sezione III del Libro IX–Tomo IV. Nel capo I sono descritte quelle da realizzare «*sopra sabbie mobili, oppure penetrate dall’acqua*»: miglior accorgimento, già utilizzato dai Romani, è quello di realizzare sopra tutta la superficie del *recinto* (o *tura*, formato da una doppia fila di pali riuniti da due *palanche*) uno strato ben battuto, livellato e appianato di «*smalto o di murazione in pietrame a bagno di malta*», sopra il quale posare un filare di pietre «*forti piccole a bagno di malta, e battuto per servire di base ai fondamenti dei muri o punti d’appoggio.*» Le fondazioni in acqua, soprattutto quelle delle pile dei ponti, sono costituite in profondità da pali a tre o quattro metri di distanza l’uno dall’altro.

Il successivo capo tratta invece delle fondazioni in terreni argillosi, metodo riconosciuto come *pericoloso*. Il procedimento riportato, utilizzato da Blondel nella corderia di Rochefort, consiste nell’utilizzo di una graticola di legname «*formata di pezzi di legno di 10 a 11 pollici di grossezza, commesse a coda di rondine tanto piene che vôte*», estesa per tutta la lunghezza dei muri di *faccia* e di

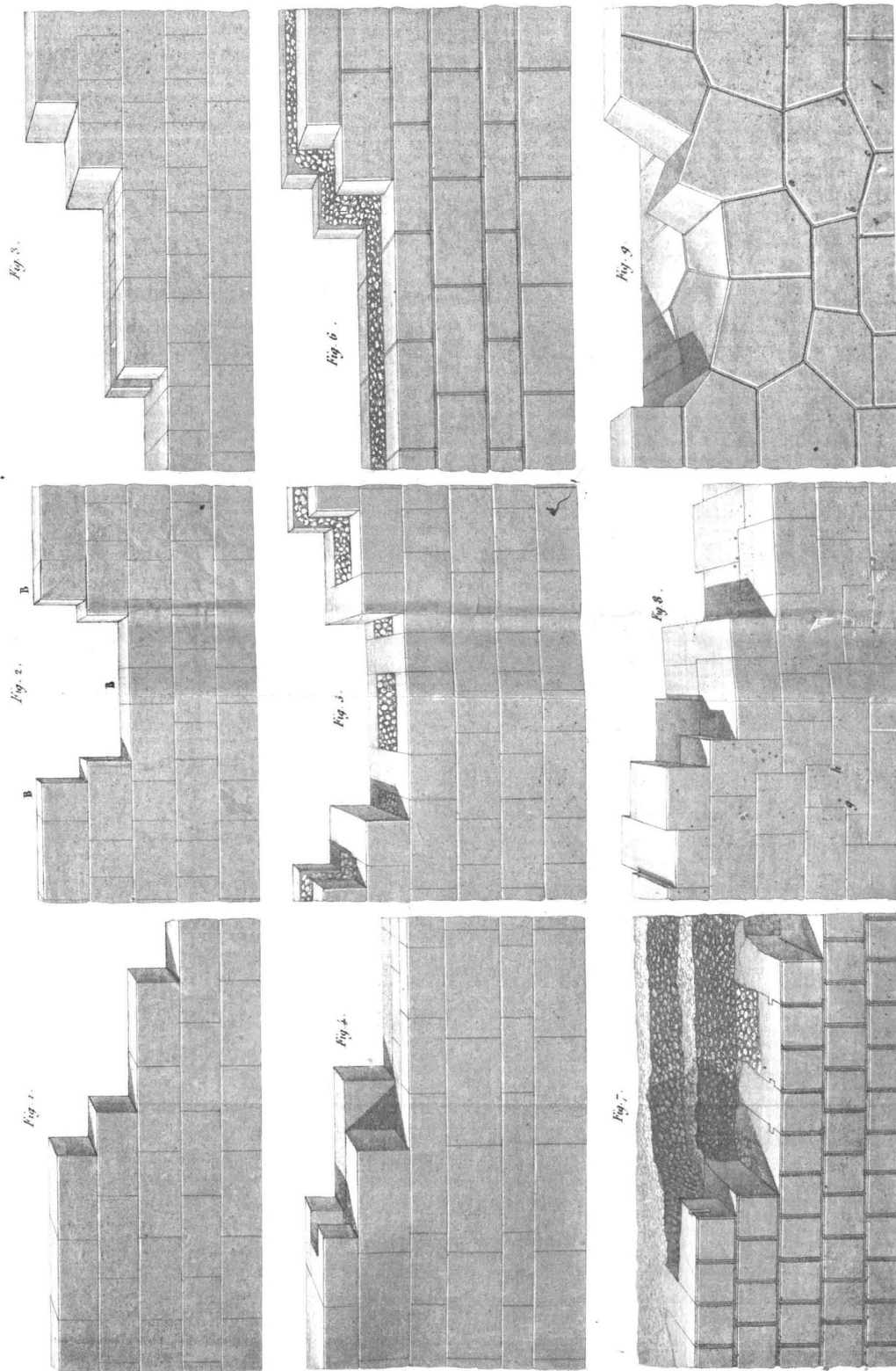
quelli di *traverso*. Sopra la graticola, interrata completamente nell'argilla, si forma un tavolato con tavoloni combaciati, e sopra questo si posa il primo filare di grosso pietrame "ad anello" facendo ossia in modo che il filare superiore iniziasse solamente dopo il completamento di quello successivo.

Il capo IV è dedicato alle fondazioni nell'acqua, dove l'autore riprende e cita alcuni trattatisti del passato (Vitruvio, Philander, Barbaro, Perrault, Belidor) riguardo le fondazioni tramite ture. Quelle invece in acqua realizzate in *getto*, utilizzate «*qualche volta per evitare le ture e i disseccamenti*», consistono nell'utilizzo di calce viva e pozzolana gettate sul fondo e di pietre fissate con adeguati sostegni di legno.

Il tema delle murature è trattato in diverse parti del trattato.

Nel Libro II—Tomo II è trattata la *costruzione in pietre da taglio*. Il capo I descrive diversi *apparecchi* utilizzati nell'antichità e rappresentati in una specifica tavola d'appendice, tutti costituiti senza l'utilizzo di malte con gli elementi congiunti gli uni agli altri senza *impostature od assottigliamenti*: «*Le superficie a contatto sono appianate con tanta cura e precisione in tutta la loro estensione che le commessure appena sono sensibili [...] Quando le pietre di taglio non avevano un volume sufficiente a produrre il conveniente grado di stabilità, gli antichi le ruinavano con ramponi di ferro o di bronzo e talvolta anche con chiavi o code di rondine in legno indurito al fuoco*». Gli apparecchi rappresentati sono nove (v. Fig. 7): quello semplice a strati regolari (n. 1), quelli doppio e triplice formati da pietre di uguali dimensioni (n. 2 e n. 3), composto (n. 4, 5 e 6), irregolare formato da pietre *d'ogni dimensione riunite in corsie interrotte da tagli su tutti i sensi* (n. 8), e poligono con pietre tagliate in prismi irregolari (n. 9).

I successivi capi trattano invece i parametri "statici" — come il peso e la sua direzione e il centro di gravità — relativi alla posizione e alla forma da dare alle pietre: taglio più conveniente è quello prismatico o parallelepipedo; più le pietre sono grandi, maggiore è la stabilità della muratura, e «*più solida sarà la loro unione; ma è necessario che i loro letti sieno ben appianati onde poggino dappertutto egualmente; perché più sono grandi, più sono soggetti a rompersi quando si trovano dei punti che non toccano*»; la solidità e la perfezione dei muri sono conseguenze della posa degli elementi gli uni sugli altri e nel «*nel toccarsi per tutta l'estensione della superficie dei loro letti e delle loro commessure*», metodo utilizzato dagli antichi e che ha permesso alle murature di resistere nei secoli.



**Figura 7.** «Diversi apparecchi conosciuti e adoperati dagli antichi, nella costruzione dei muri»

Nel capo III è riportato il principale vizio delle costruzioni moderne, riconducibile nella poca cura posta nel taglio e soprattutto nella loro posa, che genera una muratura con letti e commesure *trascuratissime e mal fatte, storte e dimagrite* in modo che *«il solo spigolo anteriore è quello che porta il peso.»* Soluzione è quella di realizzare letti di malta il più possibili omogenei e continui per tutta la dimensione dell'elemento di pietra.

Il Libro IV–Tomo II è dedicato invece alle altre strutture murali, definite come *«costruzioni in pietrami, in mattoni o in rottami di queste materie istesse uniti assieme per formare un corpo solido per mezzo di calcina o di gesso o di qualunque altro agente suscettibile di produrre lo stesso effetto.»*

Nel capo I della sezione dedicata alla *costruzione de' muri in fabbrica*, dopo aver ampiamente descritto i diversi tipi di muratura citando ampiamente i trattatisti del passato (primo su tutti Vitruvio), l'autore conclude il capo (dedicato alle murature moderne che corrispondono a quelle antiche) raccomandando gli operai le operazioni necessarie a realizzare un *«buon lavoro murario, simile a quelli degli antichi Romani»*: conviene innanzitutto *«collocare i pezzi sopra un buono strato di calce e batterli per farli congiunger bene, e dopo aver ben munito il mezzo del muro e tutti i vacui fra le pietre con pietruzze e schegge misti alla calce, livellare il muro di ciascun ordine di filari con un buono strato di calce.»* Perché la malta ben si unisca con le pietre è necessario che gli operai *«avessero presso di sé una vasca d'acqua nella quale bagnassero le pietre prima di collocarle, ed un paniere a giorno per le schegge o ripieni che si umetterebbero del pari prima di mischiarli alla calce»*, un metodo ideale per i muri di serbatoi, acquedotti o bacini.

I muri in mattoni invece sono riassunti da Rondelet in una tavola specifica rappresentante diverse tessiture murarie (v. Fig. 8):

*Le figure 1 e 2 indicano divisioni e tramezzi formati di mattoni piani o in coltello. La figura 3 fa vedere la disposizione pei piccioli muri o forti divisioni formate o forti divisioni formate con due mattoni in grossezza. Le figure 4 e 5 presentano due combinazioni diverse pei muri la cui grossezza è di tre ordini di mattoni. La figura 6 offre una terza combinazione in cui si fa uso della metà dei mattoni pei riempimenti segnati a.*

*La figura 7 mostra la disposizione per un muro di quattro ordini di mattoni. È evidente che possono esservi molte altre combinazioni: noi ci siamo limitati a quelle che convengono meglio per la semplicità e solidità; ma devesi osservare che per una maggiore solidità fa d'uopo che i mattoni che legano due ordini paralleli si colleghino pure fra loro come si vede indicato dalle lettere b, c, d.*

*La figura 8 fa vedere un'eccellente maniera usata on Olanda per collegare o muri o massicci di una grossezza stragrande. Essa consiste nel formare i corsi con ordini di mattoni posati obliquamente, dando agli ordini di ciascun corso una direzione contraria, onde s'incrocicchino, come si vede indicato dalle lettere e, f. [...] Le figure 9, 10, 11, 12 e 13 rappresentano le diverse combinazioni che si possono formare con mattoni quadrati o mezzi mattoni.*

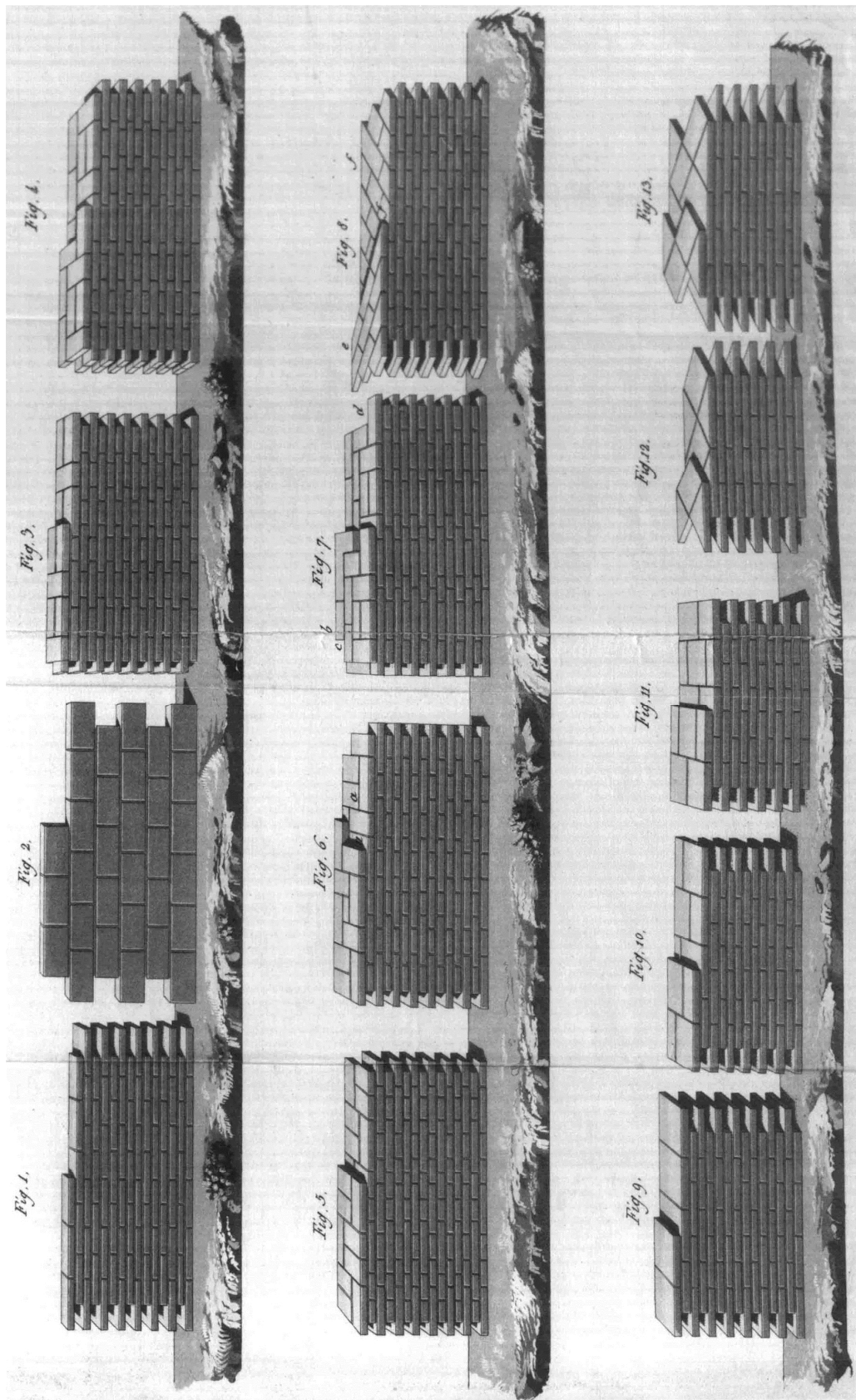


Figura 8: «Diverse maniere di combinare questi mattoni per formare muri, divisioni e tramezzi».

Alle coperture sono infine dedicati due libri: il quinto tratta dell'orditura lignea, mentre l'ottavo della «disposizione dei materiali fatti espressamente per coprire gli edifici»; proprio su quest'ultimo si è concentrata l'attenzione in questa ricerca.

Nel capo I è riconosciuta la fondamentale importanza dei tetti, costruiti, per preservare i monumenti da una rapida distruzione, con le più solide e durevoli materie. I materiali trattati sono sei: il legno, il laterizio, l'ardesia, la pietra, i metalli (rame, piombo e zinco) e la paglia.

Per le coperture in assicelle (*scandulis*) o piccole tavole di legno di quercia, Rondelet descrive le caratteristiche che queste devono avere per coperture resistenti (soprattutto di mulini, *bottegucce* e altri piccoli fabbricati): la posa degli elementi, lavorati dai cosiddetti conciatetti con degli appositi segoli, è simile a quella dell'ardesia e realizzata tramite chiodi, costituenti una copertura *leggerissima* che «*resiste meglio ai colpi di vento che l'ardesia; e però sovente si preferisce per coprire le guglie dei campanili*», e rivestita di catrame o di bitume.

Per le coperture in tegole, espone nel capo III, l'autore riporta alcuni *cenni* sulla loro fabbricazione (del tutto analoghi a quelli per la formazione dei mattoni, eccetto per la pasta d'argilla di origine che dev'essere «*più fina, meglio mescolata e più compressa*»), e le diverse tipologie, da quella più antica utilizzata dai Romani a quella *fiamminga* e quella costituita da tegole piane. Per le coperture in ardesia — così sottile ormai da essere divelta dal forte vento — è descritto nel capo successivo un fenomeno in presenza di pioggia:

*Si è notato che nei tempi umidi, quando cadono delle acque minutissime, il di sotto delle ardesie delle coperture che hanno poca inclinazione è pressoché bagnato, come al di sopra, perché quel poco d'acqua che producono queste piogge rimonta fra la sovrapposizione piuttosto che scorrere, non potendo vincere col suo peso l'aderenza alle doppie superficie del ricoprimento, che fanno l'effetto di tubi capillari. Lo stesso inconveniente avviene quando la neve incomincia a sciogliersi. [...] In generale più le materie di cui si fa uso per coprire sono unite e compatte, più l'acqua è soggetta a rimontare fra le loro superficie, e fa d'uopo dare maggior sovrapposizione o inclinazione ai tetti sopra ai quali devono essere posate.*

Le coperture in pietra sono invece le cosiddette *terrazze* utilizzate a Parigi, formate con tavole di pietra dura posate sopra un “massetto” in gesso realizzato sopra l'ultimo solaio dell'edificio. Affinché possano resistere efficacemente all'acqua, la loro *massa* non deve né piegarsi né rompersi: se la terrazza è esposta a nord o è in un luogo umido «*la fabbrica fra le travi può esser fatta di pietruzze e malta, o di mattoni, ricoperta da uno strato di cemento sul quale si poseranno le tavole di buona pietra dura.*»

### 3.2.3 *La prevenzione e il risanamento dei guasti causati dall'umidità*

L'autore non dedica specificatamente nessuno dei suoi Libri al tema del restauro, ma piuttosto *utilizza* dei casi reali sui quali ha operato come “note d'appendice” di argomenti più ampi. Esempio (che, sebbene riguardi meno i temi



trattati in questa relazione, può essere comunque dimostrativo dell'opera dell'autore) è quello esposto in conclusione del Tomo II riguardante «*le cause dei guasti avvenuti nei piloni di Santa Genoveffa e sui mezzi impiegati a ristaurarli.*»

Nel capo I del Libro IV–Tomo II dedicato agli intonaci in malta di calce («*Strati di malta di calce, in cemento, in gesso od altre materie, che si applicano sui muri, sulle tramezze, sulle volte e soffitti per rendere unite le superfici e talvolta per metterle al coperto dell'umidità e delle intemperie dell'aria*»), dopo aver riportato ampiamente il trattato di Vitruvio, Rondelet tratta degli intonaci per le fabbriche che devono contenere acqua. L'autore osserva che nelle costruzioni antiche destinate a cisterne e serbatoi gli intonaci posati erano *molto grossi*, composti generalmente da un primo strato di malta di pietruzze di 3 o 4 pollici di grandezza, di un secondo strato di circa 1 pollice formato da pozzolana o da *tegole infrante*, e un ultimo strato di tegole *polverizzate e stacciate*. Ogni strato era posato, battuto ed eguagliato evitando ricongiungimenti o rassettature, solo a completa asciugatura di quello precedente, e quello di finitura era particolarmente levigato per rendere la superficie «*estremamente dura e impenetrabile all'acqua.*» L'autore elenca in conclusione i materiali che possono essere utilizzati per realizzare degli intonaci “impermeabilizzanti” (come la buona sabbia, la pozzolana, la polvere di tegole, di marmo e di pietra, la creta e la marna), diffidando però di tutti quelli che induriscono troppo presto, cioè

*prima che abbiano rigettata l'acqua sovrabbondante impiegata alla loro preparazione; perché le malte o cementi che ne provengono sono soggetti a decomporsi in seguito per iscacciare l'umidità superflua che contengono internamente, e che spesso non è stata ritenuta che dall'indurimento prematuro della superficie. Gli antichi evitavano questo inconveniente battendo i loro intonaci. Questa operazione reca tutto l'umido alla superficie, che non secca se non dopo l'interno.*

Il capo successivo è invece dedicato agli intonaci *moderni*, composti da due o tre strati: il primo è l'*incamicatura* ed è costituito da calce “da molto tempo spenta”, ben impastata e grassa, gettato sul muro “rustico” con la cazzuola; il secondo è l'*intonaco*, costituito da calce più magra (ossia con più sabbia), steso con un'assicella piana; il terzo è infine costituito da diversi materiali (latte di calce, calce e creta, pozzolana bianca).

### **3.3 Il Manuale pratico per l'estimazione dei lavori architettonici, stradali, idraulici e di fortificazioni per l'uso degli ingegneri, di Giovanni Pegoretti (1864)**

Il manuale di Giovanni Pegoretti, pubblicato in due edizioni nel 1843 e nel 1864, è strutturato in due volumi. Scopo dell'opera è presentare al lettore i nuovi bisogni, le nuove esigenze commerciali relative agli edifici pubblici, commerciali

e privati, per i quali «*molta parte degli Ingegneri vengono occupati in ogni ramo speciale di Architettura statica ed idraulica.*»

Nel primo volume, suddiviso in nove articoli e dedicato *Alle materie e alle analisi*, «*vengono succintamente accennate le pratiche in corso per la esecuzione della maggior parte delle opere inerenti a fabbricati, strade, canali e manufatti accessori*»; il secondo, suddiviso in diciotto articoli e dedicato alle *Analisi per valutare il costo* dei diversi elementi costruttivi (come fondazioni, muri, intonacature, ecc.), è dedicato agli «*elementi per la valutazione del quantitativo dei materiali che abbisognano, colle spese relative d'acquisto e trasporto, e dei tempi di impiegarsi dai varj artefici e manuali*» — riferibili alle *zone temperate* (ossia all'Europa e all'America settentrionale). *Novità* delle analisi contenute nei volumi (e specialmente nel secondo) sono non solo le quantità (in chilogrammi o in metri cubi) dei materiali necessari al procedimento edilizio, ma anche la durata in ore delle lavorazioni dei singoli operatori: l'architetto-lettore potrà quindi conoscere con esattezza le operazioni e la loro durata ad esempio dello spegnimento della calce (riportate nel paragrafo 5 dell'articolo VI del volume I):

*La mano d'opera per spegnere la calce si determina dietro i seguenti dati:*

*a) Ore 6,00 da muratore per ogni 1000 chilogr. di calce grassa di prima qualità; ore 7,50 se la calce è di seconda qualità; ore 10,00 se è calce magra non idraulica; ore 12,50 se calcina idraulica.*

*b) Per la cavatura dell'acqua occorrente impiega un manuale un'ora ogni metro cubico, se questa trovasi in un canale o bacino comodo e vicino al calcinajo; ma se questa deve essere estratta da pozzi o cisterne, occorrono dalle 1,50 alle 2,00 ore.*

*c) E se tale acqua trovasi a qualche distanza, convien aggiungere il tempo pei viaggi, onde trasportarla col mezzo di brente, o con soglj portati da due uomini, calcolandosi che un uomo colle prime, percorrendo sentieri montuosi, possa fare N. 17 viaggi ogni metro cubico d'acqua, e N. 8 ½ viaggi gli uomini con soglj in istrade piane, impiegando per ogni metro cubico di cammino fra andata e ritorno: ore 0,0005 due uomini con soglio in pianura; ore 0,00047 un uomo con brenta carica nel discendere; ore 0,000526 un uomo con brenta carica nell'ascendere, ai quali tempi devesi aggiungere il perditempo di ore 1,00 per caricare e scaricare la detta quantità d'acqua.*

Negli altri casi — climi molto caldi, aree a contatto di fiumi o torrenti arginati, strade montuose — per l'autore i procedimenti possono distinguersi in base alla quantità di *travaglio* occorrente, alla qualità e alla disposizione di mezzi e materiali, o alla necessità di riparazioni più o meno continue.

Pegoretti riconosce l'importanza ormai assunta, nelle perizie progettuali, sia dalla descrizione delle *opere da farsi*, sia dai dettagli e dalle analisi estimative di tutti i materiali e delle lavorazioni necessarie, «*onde all'occorrenza poter con facilità valutare l'importo di tutte quelle modificazioni e variazioni, che fossero per divenir utili o necessarie.*» Sempre nella prefazione sono elencati i manuali di riferimento per l'autore, tra i quali compaiono il Rondelet e il Cavalieri.

### 3.3.1 *I materiali da costruzione*

L'articolo VI del volume I è dedicato ai principali *materiali di fabbrica* naturali (le pietre da taglio, i pietrami e i sassi, le *ghiaje*, le sabbie, le pozzolane, le argille e i legnami) e industriali (i metalli, i laterizi cotti e crudi, la calce e il gesso e le materie coloranti artefatte).

Sulle pietre da taglio, l'autore dedica alcuni capoversi del paragrafo 1 alla descrizione di vari tipi di pietre citando i trattati esaminati (tra i quali quello del Rondelet): tra le diverse riportate, la "classificazione degli architetti" suddivide le pietre sulla base della loro lavorabilità in tre classi, i *marmi* (come porfidi, basalti, serpentini, graniti porfiritici, marmi e alabastri), le *pietre dure* e le *pietre tenere* (come i graniti ordinari, le pietre quarzose, le arenarie, le *pudinghe*, i tufi calcari, e tutte le specie di pietre vulcaniche come i travertini, i tufi vulcanici e le pietre pomice). Alla tabulazione dei pesi specifici delle principali pietre, l'autore fa seguire i loro diversi gradi di lavorabilità e utilizzo in opera, e tutti quegli elementi necessari alla determinazione del loro costo (ad esempio, la quantità in chilogrammi di *mina* necessaria alla loro estrazione, o il numero di ore necessarie alla sgrossatura, all'abbozzatura e al carico su carri o barche). Il paragrafo 2 tratta invece i pietrami e i ciottoloni per la realizzazione dei muri: per poter utilizzare elementi (purché piani) anche di qualità inferiore, le murature non devono essere «*esposte all'umido, né alle intemperie*», e devono essere *coperte con opportuna intonacatura*.

Il successivo paragrafo è dedicato ai materiali laterizi («*mattoni per muri, vòliti e pavimenti, tegole e tubi per acquedotti e latrine*»), formati con terra argillosa o con marna ben impastata e depurata da ogni materia *lapidea e piritosa* in forme di legno o di ferro nelle quali la terra impastata deve essere compattata adeguatamente. Le stagioni più adatte per la formatura dei mattoni crudi sono la primavera e l'autunno, affinché possano restare esposti «*alla pioggia ed ai geli, le quali le [terre] ammorbidiscono, e le rendono più facili ad essere impastate.*» La quantità d'acqua dell'impasto può variare da 1/3 a 1/2 del volume della terra estratta dalla cava e smossa, ottenendo così, da 1 m<sup>3</sup> d'argilla pura, circa 0,70 m<sup>3</sup> di materiali laterizi. A seconda del grado di cottura nella fornace, gli elementi si dividono in cinque categorie:

*A) ordinari, volgarmente detti albasì, che sono i meno cotti, e corrispondono a circa il 25 per cento del numero totale dei materiali disposti nelle fornaci; b) in mezzanelli o sesoli di seconda qualità, cioè quelli che hanno acquistato un discreto grado di cottura, e che sono circa il 20 per cento; c) in mezzanelli o sesoli di prima qualità, cioè quelli convenientemente cotti, e servibili anche per muri esterni di fabbrica, che ammontano pure al 20 per cento; d) in feriole o forti, ossia quelli perfettamente cotti, e di miglior qualità, che risultano ugualmente il 20 per cento all'incirca; e) finalmente in stracotti, che sono i più prossimi al fuoco e valgono meno degli altri, e sono circa il 15 per cento.*

Quelli ordinari e i *mezzanelli* di seconda qualità resistono *più o meno all'umidità*, quelli di prima qualità sono i più utilizzati per le murature esterne

degli edifici, mentre quelli forti devono essere utilizzati preferibilmente per le parti inferiori delle murature, *massime nei luoghi umidi*, e per le costruzioni idrauliche. Gli ultimi sono invece da utilizzare unicamente nelle fondazioni.

Il paragrafo 4 è dedicato alla calce e al gesso.

La prima è utilizzata per la realizzazione dei cementi *ordinarj ed idraulici*. L'autore suddivide la calce in tre categorie: la prima è *atta per fabbricati* e della quale si ricavano due varietà, una grassissima di prima qualità, e una grassa di qualità inferiore; la seconda è quella idraulica, utilizzata *«esclusivamente per lavori a contatto di acque, o di terreni umidi o sortumosi»*; la terza è magra, che mischiata con colla si utilizza per *imbiancature e dipinture* e per gli stucchi non esposti alle intemperie. La calce idraulica *«si distingue dall'altra nello spegnerla nei calcinaj, giacché ha la proprietà di lievitare poco quando è bagnata, ed assorbe pochissima quantità d'acqua in confronto all'altra, senza crescer molto di volume»* sviluppando poco calore, e deve avere un colore scuro dato dagli ossidi metallici e dalle particelle argillose contenute. La migliore è quella che contiene dal 30 al 40% d'argilla, ed è ottenibile anche mescolando alle calci grasse sabbie argillose o metalliche, pozzolana, polvere di mattoni o scorie *ferrigne*. Metodo alternativo descritto è quello di Vicat consistente nel lasciar estinguere la calcina in sassi esponendola all'aria o in un luogo coperto, e una volta spenta nell'impastarla con poca acqua e argilla pura *«formando delle pallottole, le quali, dopo essere perfettamente asciugate, si fanno cuocere in un forno ad un conveniente grado di calore, cavandole tosto che abbiano acquistato un colore rossiccio.»* Le dosi previste d'argilla sono, per ogni tonnellata di calce grassa: 1,20 m<sup>3</sup> per ottenere un materiale di prima qualità, 0,90 m<sup>3</sup> per uno di seconda qualità, 0,60 m<sup>3</sup> per una calce magra non idraulica.

Del gesso — utilizzato nelle opere in cui occorre l'asciugamento istantaneo della malta — sono riportate quattro specifiche proprietà:

*A) perde ogni sua azione, qualora non venga adoperata presto dopo la calcinazione; per cui ove le fabbriche sono distanti, convien farlo venire nello stato naturale di pietra, per non cuocerlo se non quando occorre di adoperarlo; b) la malta di gesso si adopera appena sciolta ed impastata coll'acqua altrimenti indurisce o diviene inutile; per cui non deve essere preparata che all'atto di metterla in opera; c) il gesso, tutt'al contrario delle altre malte, quando è messo in opera nell'assodarsi si dilata; per cui nelle muraglie si adopera misto alla malta; d) la malta di gesso nei luoghi umidi marcisce, si sfalda e si sfarina, e quindi ne è proscritto l'uso nelle opere idrauliche.*

Per polverizzare il gesso si usano apposite macine ad acqua oppure mosse da cavalli, o con pestelli ferrati. Il prodotto varia a seconda dello strumento utilizzato: *«di una macina mossa da un cavallo con un uomo è di metri cubici 0,50 di gesso polverizzato in una giornata di 10 ore, e di metri cubici 1,10 da due cavalli; un lavorante comune col mezzo dei detti pestelli può ridurre in polvere da ¼ a 1/3 di metro cubico di gesso in una giornata»*.

Il paragrafo 6 tratta invece delle sabbie e della pozzolana. Le prime si distinguono in *silicee e calcaree* — utilizzate nelle malte comuni — e in *argillose e metalliche* — utilizzate nei cementi idraulici. Una seconda classificazione le di-

stingue in *fossili* (utilizzate principalmente, se di natura silicea o calcarea, nella costruzione dei muri di fabbrica e nella realizzazione delle calcine idrauliche), *fluviali* («le più opportune per le intonacature e stabiliture») o *marittime* (utilizzabili solo per «lavori analoghi a contatto di acque salse, o mescolate con calcine idrauliche»). L'*arena* è la sabbia composta da grani grossi, angolari ed irregolari, mentre quella *fin*a ha grani più fini. Le pozzolane si possono invece distinguere in due categorie: delle *naturali* — prodotti vulcanici, o «*provenienti dallo scioglimento delle lave porose*» o compatte — le principali varietà sono quelle porose, argillose, tufacee e il *trass* olandese; le artificiali sono formate *coll'argilla da stoviglie*, o con quella pura mescolata con 1/20 o 1/25 di calce, o con terre *ocracee*, calcari, con schisto o gres ferruginoso.

Le malte, i cementi, i bitumi e i mastici sono invece descritti nell'articolo VII.

Il paragrafo 1 tratta delle malte e dei cementi, ordinari ed idraulici. Per le calcine idrauliche (o *forti*) l'autore elenca le loro diverse categorie:

*Per lo più sono magre, rare volte mezzane, grasse non mai, e queste si distinguono dalle comuni per la prontezza con cui induriscono nell'acqua; perciò si dicono eminentemente idrauliche, allorchando i cementi formati con esse fanno presa fra il 2° e il 4° giorno d'immersione, e la calce diviene assai dura e del tutto insolubile dopo un mese; idrauliche ordinarie, se i cementi fanno presa dopo sei ed otto giorni, e continuano a indurire, impiegando da sei mesi a un anno per diventare discretamente solidi; infine debolmente idrauliche, se occorrono dai 20 ai 40 giorni a far presa i cementi, e se dopo un anno la calce prende la consistenza del sapone, sciogliendosi però con molta difficoltà nell'acqua pura.*

Le stesse categorie possono essere utilizzate per i cementi: quelli idraulici *in massimo grado* sono composti con calce eminentemente idraulica (appena spenta) mescolata con pozzolana, sabbia argillosa o metallica, polvere di laterizi o scorie *ferrigne*; quelli mediocrementemente idraulici sono composti dalla stessa calce mista a sabbia fossile comune, o da calce idraulica ordinaria impastata con 2/3 di sabbia comune e 1/3 di pozzolana; quelli *deboli* sono infine composti con calce idraulica ordinaria e sabbia comune. I diversi materiali sono mescolati con la sabbia tramite una pala o una *marra* di ferro, aggiungendo acqua in proporzione di mezzo volume rispetto a quello della calce.

Per evitare le infiltrazioni nelle cappe delle volte dei ponti e delle terrazze si utilizzano dei cementi idraulici composti da 2/5 di calcina idraulica in pasta con 3/5 di pozzolana, mentre se si utilizza la calcina in polvere, per ottenere 1 m<sup>3</sup> di cemento si devono utilizzare 1,38 m<sup>3</sup> di calcina e 1 m<sup>3</sup> di sabbia e pozzolana.

Nel paragrafo 2 sono descritti diversi tipi di bitume, «*miscugli di materie cementizie, sassi e laterizj frantumati [e impastati] fra loro in differenti dosi*» a seconda del tipo di utilizzo o della natura dei materiali, e impiegati principalmente nelle fondazioni dei ponti e per i *battuti* nell'acqua. Tra quelli elencati, 1 m<sup>3</sup> di quello comune (utilizzato nei lavori ordinari) è costituito da 210 kg di calcina viva idraulica, 0,60 m<sup>3</sup> di sabbia comune e 0,45 m<sup>3</sup> di ghiaia mista con 2/3 di ciottoli grossi *come un uovo*; i bitumi con pozzolana sono invece costituiti da 0,60

m<sup>3</sup> di calce comune spenta, 0,19 m<sup>3</sup> di sabbia comune, 0,19 m<sup>3</sup> di pozzolana, 0,19 m<sup>3</sup> di ghiaia minuta e 0,43 m<sup>3</sup> di ciottoli.

Il paragrafo 3 tratta dei mastici, utilizzati per «*saldare prontamente i materiali; e ridotti liquidi servono anche per intonacare le pareti onde respingere l'umidità di cui sono soggetti i muri*», oltre che per stuccare muri e pavimenti nell'acqua (come quelli delle cisterne, in sostituzione delle malte cementizie). Per poter essere utilizzati adeguatamente in opera, il materiale deve «*possedere al massimo grado la proprietà di prontamente lapidificarsi sia all'aria che all'acqua, di resistere all'influenze atmosferiche, e di essere insolubili all'acqua.*» L'autore descrive la composizione di dieci diversi tipi di mastice, elencando per ciascuno i materiali necessari e le relative quantità per produrne un chilogrammo: dal mastice comune (formato da calcina in polvere, sangue di bue, pozzolana e limature di ferro), a quello resinoso (che si «*adopera caldo per turare le commessure degli ammattonati e lastrici*», formato da pece secca e pozzolana), da quello liquido d'Arcet e Thenard (composto da olio cotto, cera e litargirio, ossia ossido di piombo fuso) a quello di limatura (composto da limatura di ferro e di rame, aceto, urina, aglio e sale comune).

### 3.3.2 *Le tecniche costruttive contro l'umidità*

Nel volume I, all'articolo IV dedicato alle fondazioni, una parte del paragrafo 1 tratta delle fondazioni *senza palificate su fondi arenosi* acquitrinosi e di quelle subacquee. Le prime — da realizzare *a brevi tratti* in modo da terminare i lavori in una giornata senza interruzioni — sono costituite da uno strato inferiore di pietre o massi senza malta, ben battuto con magli o mazze, e da uno strato superiore di malta idraulica sul quale infine si *innalza poscia il nuovo fondamento* in malta. La tecnica è più complessa nel caso la profondità del suolo *sodo* sia maggiore di 50 cm, dove si deve realizzare delle murature in bitume in trincea. Le seconde invece sono di più difficile realizzazione, e consistono non solo in “semplici” lavori di escavazione, ma in diverse altre operazioni o *ripieghi artificiali* variabili a seconda del luogo, della natura dei suoli e della resistenza delle strutture da opporre all'impeto delle acque.

Per fondazioni più complesse, per le quali è necessaria la realizzazione di *ture*, l'autore illustra i metodi per rimediare alle eventuali infiltrazioni d'acqua:

*Si procura di otturarle [le infiltrazioni] con argilla, o anche meglio con un impasto di malta ordinaria e di calcina magra viva, capace di formare con l'arena del fondo un cemento valido a resistere alla pressione dell'acqua; [...] Ma se la filtrazione è generale, in tal caso conviene distendere sul fondo uno strato di terra sciolta, o di sabbia fina, o meglio di argilla, il quale strato abbia una grossezza dai 30 ai 40 centimetri, e sia coperto con un suolo di tavole fermate mediante un sufficiente carico di pietre. [...] Le dette filtrazioni si riparano altresì mediante uno strato di smalto idraulico, dello spessore di 7 decimetri almeno, il quale risulta d'un effetto più sicuro, se giace sopra un tavolato.*

A titolo di esempio si riportano le descrizioni di due tipologie di fondazione idrauliche contenute nell'articolo XI—serie I del volume II.

La prima è per una fondazione idraulica con bitume comune. I materiali occorrenti per 1 m<sup>3</sup> sono: «*Bitume composto di calcina viva idraulica, chilogr. 210; sabbia comune silicea o calcarea, metri cub. 0,60; ghiaja mista con 2/3 circa di ciottoli grossi come un uovo, met. c. 0,45*». La seconda invece è per una idraulica con bitume comune in cui «*siavi mescolata la polvere di laterizj o di scorie metalliche e frantumi di mattoni*», ed è composta da: «*Bitume composto di calcina viva comune, chilogrammi 200; sabbia comune silicea o calcarea, metri cubi 0,40; polvere di laterizj o di scorie metalliche, metri cub. 0,20; frantumi di mattoni, metri cubici 0,15, i quali possono formarsi con laterizj vecchi; ma se sono nuovi ne occorrono  $\frac{0,12}{v}$ , essendo v il volume di ciascun laterizio; ghiaia grossa, metri cubici 0,30*».

Nell'articolo VIII del volume I sono invece descritti diverse operazioni di *lavoratura* delle pietre da taglio:

- ° la *sbozzatura grossolana*, eseguita nelle cave per diminuire il peso dei blocchi togliendo tutte le parti esterne degradate, e riducendo i conci *con quelle forme e dimensioni* sufficienti per poter essere lavorati in seguito;
- ° la *segatura*, tramite la quale le pietre si tagliano in lastre o si squadrano, limitata normalmente ai marmi e ai porfidi, tramite seghe con o senza lame dentate;
- ° l'*apparecchio a taglio rustico*, con il quale si *modellano esattamente* le pietre e si appianano le fronti sgrossate dei massi grezzi preparati nelle cave;
- ° la *martellinatura* (o *gradinatura*) *grossolana, mezzana o fina*, realizzate battendo ed appianando le fronti lavorate dei conci tramite martelline o gradine dentate, e distinte a seconda del grado di pulimento finale;
- ° la *cesellatura* degli spigoli delle pietre martellate grossolanamente tramite scalpelli piatti per realizzare «*un contorno il quale a guisa di bugnato accenni le connessioni della pietra stessa colle altre che la circondano*»;
- ° l'*orsatura* delle sagome tramite il cosiddetto *orso*, un pezzo di pietra arenaria *stropicciato* sulle facciate esterne bagnate con acqua per lisciarle e far scomparire qualunque piccola irregolarità lasciata nelle operazioni precedenti;
- ° il *pulimento a lucido*, composto da quattro operazioni: la *rotatura*, strofinando la superficie orsata e bagnata con un pezzo di pietra ordinaria da affilare e con un pezzo più fine della stessa pietra; la *pomiciatura*, utilizzando invece con pietra pomice; la *piombatura*, eseguita lisciando la superficie cosparsa di *finissimo smeriglio sciolto nell'acqua* tramite pezzi di piombo; infine, la *brunitura* (o *forbitura*), utilizzando uno straccio di tela.

Le murature in pietre da taglio sono descritte nel volume I nel paragrafo 1 dell'articolo IX: il metodo moderno, il cosiddetto *bagno di malta*, è più economico di quello antico a secco, e può produrre una sufficiente solidità «*purché si impieghi malta fina di buona presa, e si abbia cura che non resti alcun vano tra le pietre, e che lo strato della malta delle committiture orizzontali sia di grossezza uniforme*». I filari di pietra devono essere posati perfettamente orizzontali sopra uno strato di malta composta da calcina, *finissimo* cocchiopesto e sabbia (o polve-

re di marmo) e posata anche sulle facce laterali di *combaciamento*. Lo stesso articolo tratta di altri tipi di muratura, come ad esempio quelli *laterizj* realizzati con mattoni nuovi e interi e costruiti a corsi orizzontali «*colle commessure verticali interne ed esterne, che sieno sempre alternate*»; gli elementi devono essere puliti, bagnati con acqua e posati con abbondante malta di buona qualità battendoli leggermente ad uno ad uno col martello o con la cazzuola. Si riporta a titolo di esempio l'analisi riportata nell'articolo XVIII—serie II del volume II relativa ad un muro d'elevazione in calce e mattoni “nuovi”:

1. Il numero  $n$  di mattoni occorrenti rilevasi da  $n = \frac{1}{v+v'}$ , in cui  $v$  indica il volume di ciascun laterizio; e  $v'$  quello della malta che lo avviluppa: il quale  $v' = 0,006 [l' + g(1 + l')]$ , ove  $l'$  sono i lati del laterizio e  $g$  la sua grossezza.
2. Il quantitativo della malta è di metri cubici  $1,05nv'$ , compreso  $1/20$  che si spreca; e per comporre un metro cubico di questa malta occorrono: a) metri cubici 0,36 di calcina in pasta, per formare la quale si deve spegnere: chilogr. 120 di calce viva dolce di prima qualità; chilogr. 144 di quella di seconda qualità; chilogr. 180 di quella forte od idraulica; b) metri cubici 0,89 di sabbia o di pozzolana, venendo la pozzolana a pesare chilogrammi 1141.

Per la realizzazione delle murature formate con cemento idraulico devono essere rispettare alcune *cure particolari*:

*Affinché il cemento idraulico impiegato nei muri fornisca un buon risultato è necessario innanzi tutto di pulire perfettamente i materiali che si usano. [...] terminate queste operazioni, si impasta la quantità di cemento che si abbisogna, il quale si impiega in modo che vi siano immersi i materiali che si battono onde assicurarli al loro posto ed acciocché il cemento possa riempire gli interstizi; si deve evitare di battere i materiali o di percuotere la muratura eseguita dopo la presa del cemento, poiché lo stesso si sgretolerebbe. [...] Le murature eseguite, come pure i materiali da impiegarsi nelle nuove si devono conservare umidi, bagnandoli frequentemente, specialmente durante la stagione estiva.*

Tutti i muri descritti devono essere realizzati adottando diversi accorgimenti in opera: «*Sono da costruirsi generalmente nelle stagioni temperate; ma se per necessità devonsi continuare i lavori anche durante la state o l'inverno, in tali casi fa d'uopo di non trascurare opportune cautele: cioè in estate di mantenere fresco il muramento, facendolo spesso inaffiare durante la giornata; e nell'inverno di coprire ogni sera il lavoro con paglia e strame*».

Il paragrafo 3 tratta di quattro tipi di *cappe* cementizie e di bitume, realizzate sopra volte, terrazzi o ponti per «*impedire alle acque che trapelano attraverso di un rinterro o di un pavimento, di insinuarsi*» all'interno degli elementi, nel periodo autunnale o primaverile ed almeno un anno dopo il disarmo per evitare *crepolature*. Generalmente sono realizzate ad un solo strato fra gli 8 e i 10 cm, oppure a due o più strati con il primo di 6 cm e i successivi di 3 cm, previa la scalzatura «*con cura di tutte le commessure delle pietre e dei mattoni con un ferro appuntato, onde togliervi la malta che è alla superficie o che avesse patito*», e la bagnatura con acqua di calce.



*Terminato questo lavoro, si stuccano a dovere queste commessure con bitume da usarsi per la cappa, e poi si distende il primo strato del bitume stesso, gettandolo con forza, onde si incorpori col muramento; e dopo 12 o 15 ore si batte a piccoli colpi con un pestello di quercia, si conguaglia e si lascia asciugare; indi si distendono gli altri strati superiori, battendoli e conguagliandoli come il primo. [...] Finalmente quando la cappa trovasi ridotta col ribattimento a circa la metà della sua spessezza primitiva, e bastantemente consolidata e pulita (il che si riconosce gettandovi sopra dell'acqua, la quale deve colare senza colorarsi), si distende una prima mano d'olio di lino o di pesce bollente, poi si lascia la superficie; ciò che si replica dopo aver preparata una seconda mano di olio come sopra.*

Le quattro categorie sono composte da cemento artificiale o bitume, mastice colato, mastice in foglio e mastice non coperto. La descrizione della prima è contenuta all'articolo XII–serie III del volume II:

*Per ogni metro superficiale di cappa con cemento artificiale composto di calcina idraulica in pasta, e di pozzolana, o di polvere di laterizj o scorie ferrigne, o di limature metalliche [occorrono]:*

*Cemento idraulico occorrente, compresa la parte che si spreca, dai met. cub. 0,10 ai 0,125 se la cappa è formata da un solo strato di bitume; dai met. cub. 0,12 se è a due strati; met. cub. 0,16 se è a tre strati, ecc. per comporre poi un metro cubico di questo cemento devonsi mescolare: a) metri cubici 0,50 di calcina idraulica in pasta, per comporre la quale abbisognano chil. 250 di calce in sassi; b) metri cubici 0,75 di pozzolana, la quale pesa chilogrammi 961,25; oppure si sostituisce in tutto o in parte a questa pozzolana altrettanta polvere di laterizj o di scorie ferrigne, o limatura di metalli.*

Le cappe con mastice sono descritte, in diverse tipologie, nelle *analisi successive*. Quelle con mastice comune sono costituite da:

*Per ogni metro superficiale di cappa con mastice composto di polvere di pozzolana o di laterizj o di scorie ferrigne, e di catrame vegetabile o minerale, o di bitume di Piremont.*

*Mastice occorrente, compresa la parte che si spreca nel formare la cappa: dai met. cub. 0,015 ai 0,02 se ad uno strato; dai met. cub. 0,016 ai 0,026 se a due strati. Per comporre poi un metro cubico di questo mastice occorrono: a) chilogrammi 400 di catrame vegetabile o minerale, o di bitume di Piremont; b) metri cubici 1,00 di pozzolana polverizzata, la quale pesa chilogrammi 1282; oppure ugual quantità di polvere di laterizj o di scorie ferrigne.*

Nel paragrafo 5 sono descritte le intonacature sia per i muri di nuova realizzazione soggetti all'umidità «sia per la vicinanza d'acque stagnanti che rendano l'aria umida, come per l'esposizione di tramontana», sia per quelli esistenti guasti: l'*arricciatura* della superficie deve essere realizzata con cementi idraulici, o la prima *rabboccatura* con appositi mastici composti da materie cementizie e resinose; nelle murature esistenti si procede «*eseguendo una regolare spicconatura, ed indi risarcendo le parti con una rincocciatura di cemento idraulico o di mastice, intarsiato come sopra di laterizj e scaglie di pietra, e facendovi succedere l'opportuna arricciatura ed intonacatura superiore.*» Altro metodo per “togliere l'umido” nelle parti inferiori dei muri *dipinti con basamento* consiste

nell'intonacarle con una calce di sabbia di cava, ricoprendole successivamente con vernice d'olio e resina bollente stesa a pennello; dopo tre o quattro giorni, si applica una vernice d'olio cotto essiccativo. Un terzo metodo consiste nell'utilizzo di cementi idraulici:

*Le superficie sulle quali si vuol applicare il cemento devono essere preliminarmente pulite e al bisogno scalpellate per togliere tutte le parti alterate, oppure la vecchia malta; le giunture vanno riaperte togliendo il cemento sino alla profondità da 2 a 3 centimetri, e mediante una completa lavorazione si deve far scomparire fino all'ultimo vestigio di polvere; inoltre se le superficie lavate hanno il tempo di asciugarsi, bisogna bagnarle di nuovo alcuni momenti prima dell'impiego del cemento. L'applicazione del cemento si fa colla cazzuola per getti. Si deve proscrivere l'uso del frattazzo e non è d'uopo lasciare la superficie che in alcuni casi particolari ed assai leggermente. Questo lisciamiento chiude i pori delle superficie e completa le unioni, ma dà luogo alle screpolature allorquando l'essiccamento è troppo sollecito. Questa operazione va effettuata prima che il cemento cominci a lapidificarsi.*

Nel volume II, nell'articolo XXII—serie II dedicato alle *stuccature, stabiliture, decorazioni a stucco, imbiancature e dipinture*, sono riportate quattro *analisi* di intonaci resinosi con mastici (mastiche bituminoso, liquido resinoso, liquido bituminoso e liquido) per pareti *soggette all'umido*, per ognuna delle quali l'autore riporta sia le quantità in chilogrammi per l'intonacatura di 1 m<sup>2</sup>, sia le ore necessarie per la sua produzione e posa. Nella serie successiva è invece descritta la composizione della malta di calcina idraulica mista a «*pozzolana o polvere di laterizio, o scorie di ferro, o limature metalliche*» necessaria alla stabilitura di 1 m<sup>2</sup> di parete:

*Metri cubici 0,010 per la rabboccatura, 0,003 per l'arricciatura, 0,002 per l'ultima intonacatura. Per comporre poi un metro cubico di questa malta occorrono: a) metri cubici 0,50 di calcina idraulica, ossia chilogrammi 250 di calce viva da spegnersi; b) metri cubici 0,75 di pozzolana; oppure si sostituisce a questa, o in tutto o in parte, altrettanta polvere di laterizj o di scorie ferrigne, oppure limatura di metalli.*

Per la stabilitura di un metro quadrato di un muro *recipiente d'acqua* i materiali da utilizzare sono: «*Metri cubici 0,010 per la rabboccatura semplice, 0,003 per la completa stabilitura rustica, della quale per comporre un metro cubico occorrono: a) metri cubici 0,36 di calcina dolce colata formata da chilogr. 120 di calce di prima qualità, oppure chilogr. 144 di calce di seconda qualità; b) sabbia o pozzolana metri cubici 0,89*».

Il paragrafo 7 è dedicato ai pavimenti e ai terrazzi. Prima categoria è quella dei pavimenti di laterizi (o ammattonati), realizzati «*con mattoni o pianelle in costa o in piatto, o con un letto di mattoni in piano o uno in costa, o con piastrelle comune quadrate, rettangolari, romboidali, triangolari o esagonali poste di piatto*.» I cementi da utilizzare:

*Devono essere di buona presa, rendendosi assai opportune le malte idrauliche, non solo pei pavimenti nell'acqua, ma anche per quelli esposti alle intemperie: ed in questi ultimi,*

*affinché la malta non abbia a soffrire pei geli, riesce ben fatto di otturare esternamente le giunture, collocandovi del piombo liquefatto, ovvero qualche mastice; le quali stuccature giovano anche ad impedire che l'acqua s'insinui a nuocere i solaj e le volte sottoposte, allorquando vogliasi risparmiare la spesa per la formazione delle cappe.*

Gli ammattonati sono realizzati sopra un letto di sabbia o calcestruzzo di spessore variabile a seconda del materiale di rivestimento (da un minimo di 3 cm a un massimo di 10 cm se il pavimento «*deve servire per recipienti d'acqua, in cui si voglia impedire il disperdimento dell'acqua stessa*»). Nell'articolo XXIII-serie II è descritta la realizzazione di 1 m<sup>2</sup> di lastricato con pietre lavorate:

- 1. Quando il fondo del canale o recipiente d'acqua non sia perfettamente compatto, ma piuttosto sassoso o ghiaioso, fa d'uopo disporre su di esso uno strato di argilla alto dai 10 ai 20 centimetri, ben battuto; occorrendone perciò dai metri cubici 0,125 ai 0,25. [...]*
- 3. Sabbia o pozzolana occorrente: metri cubici 0,05 per sottofondo; metri cubici 0,05 da mescolarsi alla calce; [...]*
- 5. Malta occorrente metri cub. 0,05, composta della suddetta sabbia e di metri cub. 0,018 di calce colata, per formare la quale abbisognano: chilogr. 6,00 di calce se è dolce di prima qualità; chilogr. 7,20 di calce simile di seconda qualità; chilogr. 9,00 di calce idraulica.*

Nello stesso articolo, nella serie V è descritta la realizzazione di 1 m<sup>2</sup> di *battuto o terrazzo rustico* per marciapiedi e cortili in terreno piuttosto umido. Gli strati necessari sono quattro:

- 1. Sabbia e pozzolana da distendersi sul suolo dopo spianato, cui si sostituisce, avendone, del calcinaccio o malta vecchia sminuzzata.*
- 2. Muramento o bitume da formarsi sul fondo, alto metri 0,10, composto di: a) calce idraulica o forte chilogrammi 10,50; b) sabbia comune metri cubici 0,03; c) pietrame minuto o ghiaja grossa metri cubici 0,025.*
- 3. Cemento o bitume per il primo smalto da distendersi sul detto muramento coll'altezza di metri 0,03, il quale cemento va composto di: a) calce chilog. 3,33 se è dolce di prima qualità, 4,00 se è di seconda qualità, 5,00 se magra o forte; b) sabbia comune metri cubici 0,01; tritume di mattoni metri cubici 0,03.*
- 4. Cemento o bitume pel secondo smalto, alto pure metri 0,03, che si compone di: a) chilog. 6,67 di calce dolce di prima qualità, 8,00 se è di seconda qualità; b) sabbia comune metri cubici 0,01; c) polvere di mattoni o pozzolana metri cubici 0,01; ghiaja minuta metri cubici 0,01.*

I cosiddetti terrazzi *alla veneziana* (o battuti marmorei) sono costituiti da tre strati di cemento: il primo si distende direttamente sul suolo ed è costituito da 5 cm di sabbia e da 14 cm di *massiciata* (formata con calcina, pozzolana naturale o artificiale e polvere di marmo); il secondo, posato dopo quattro giorni, è invece costituito da 3 cm di «*tritumi di laterizj mescolati a buona calcina*»; il terzo, realizzato dopo 2 giorni, è detto *stucco* e composto da calcina, pozzolana e polvere fina di marmo.

Per quelli da realizzare in locali interrati con suolo piuttosto umido, i materiali da utilizzare sono:

1. Sabbia e pozzolana da distendersi sul suolo dopo spianato, cui si sostituisce, avendone, del calcinaccio o malta vecchia sminuzzata.
2. Muramento alto metri 0,10, composto di: calce idraulica o forte chilogrammi 10,50, sabbia comune metri cubici 0,03, pietrame minuto o ghiaja grossa metri cub. 0,025.
3. Cemento o bitume per il primo smalto o massiciata, alto metri 0,10 e composto di: chilogrammi 20 di calce viva da spegnersi, metri cubici 0,025 di sabbia comune, metri cubici 0,075 di tritume di mattoni o di scorie di ferro.
4. Cemento o bitume per il secondo smalto, costituito da: chilogrammi 5,00 di calce bianca stagionata, metri cubici 0,005 di sabbia comune, metri cubici 0,010 di tritume di mattoni.
5. Cemento per l'ultimo stucco, che si compone di chilogrammi 2,50 di calce bianca come sopra, metri cubici 0,01 di pozzolana o di polvere di marmo fina, chilogrammi 10 di terre coloranti.
6. Pezzetti o frantumi di marmo colorato metri cubici 0,01.
7. Olio di lino purgato chilogrammi 0,50.

L'ultima parte del volume II è dedicata infine ai cosiddetti *stillicidi* (o *gronde sporgenti*) dei tetti, descritti nell'articolo XXIV-serie IV e nell'articolo XXV-serie I:

1. Assi di larice grosse centimetri 2 1/2 , metri superficiali 1,67 compreso il consumo e compresi anche metri superficiali 0,47 per la religatura o riquadratura del soffitto coprente i travi dello stillicidio.
2. Travetti di peccia od abete grossi centimetri 10 per 7 1/2 , destinati a sostenere il detto soffitto, dei quali ne abbisognano due ogni metro di fuga, ossia metri lineari 1,70.
3. Chiodi da 80 N. 2 o chilogrammi 0,033 per i travetti, e N. 25 brescianelli per le assi o chilogrammi 0,16, compresi quelli per la cornicetta sotto la grondaia di ferro.
4. Il peso del metallo lavorato da impiegarsi nelle doccie delle grondaie varia secondo l'altezza sviluppata della doccia, e secondo la spessore della lamiera; per cui devesi calcolare questo peso coll'aumentarlo di 1/20 per il materiale che si consuma.
5. Chiodi da ribadire, che si considerano 1/50 del peso della lamiera da impiegarsi.
6. Tiranti e brigliette per affrancare la doccia al tetto, che si valutano dai chilogrammi 0,40 ai 0,60.

## 4. BELLANO E L'EX CHIESA DI SAN NICOLAO

### 4.1 Bellano e il lago di Como



**Figura 9.** *Larii Lacus Vulgo/Comensis Descriptio/Auct. Paulo Jovio*, carta geografica del lago di Como pubblicata ad Anversa tra il 1570 e il 1612, da B. GIOVIO, *Historiae Patriae Libri Duo*, Edizioni New Press, Como 1982, p. 43.

Il toponimo *Bellano* è di origine incerta.

Secondo Sigismondo Boldoni, nel suo *Larius ad Herculeum Sfondratum* del 1616, è di origine etrusca<sup>1</sup>; secondo Maurizio Monti invece è riconoscibile una radice latina, *bellus amnis* o *bel fiume*<sup>2</sup>, tesi criticata da Giuseppe Arrigoni nelle *Notizie storiche della Valassina* del 1840:

*Perché il fiume ned è bello né brutto. Latino io lo riterrei da bellum (guerra) e ano, che secondo alcuni si usava in quella lingua per dire sito, e verrebbe dire luogo di guerra. Ed è presumibile che un fatto d'armi possa ivi essere avvenuto essendo l'ingresso alla Valsassina, strada dell'Italia alla Rezia. Aggiungon peso a questa etimologica congettura i sepolcri di mattoni testé rinvenuti, entro cui eranvi ossa umane, qualche lucerna perpetua, vasi lagrimatorj, due pentole di pietra, cesoje, lance e simili cose attribuibili alle romane età<sup>3</sup>,*

rintracciabile anche nei cognomi di alcune famiglie, e nella desinenza di varie parole in dialetto.

Più recentemente, il Soresina ha ipotizzato invece una «derivazione dal linguaggio di popoli idiomáticamente imparentati con la lingua Veda (che è il Sanscrito più antico) indicando l'origine del nome Bellano dal termine bila (caver-

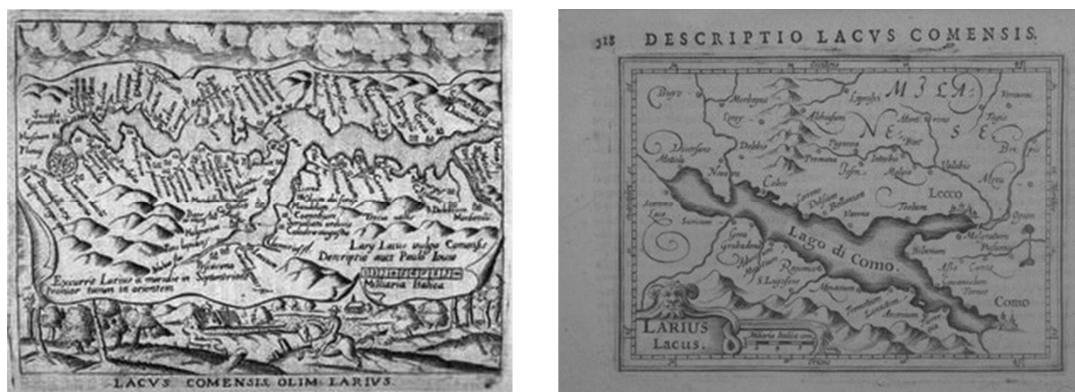
<sup>1</sup> O. ZASTROW, *La chiesa dei Santi Giorgio Nazaro e Celso a Bellano*, Stefanoni Editore, Lecco 1993, p. 13–14.

<sup>2</sup> M. MONTI, *Storia di Como. I*, Pietro Ostinelli, Como 1831, Libro II p. 78.

<sup>3</sup> G. ARRIGONI, *Notizie storiche della Valsassina e delle terre limitrofe dalle più remote fino alla presente età*. Giacomo Pirola Milano 1840, Forni Editore, Bologna 1972, p. 389.

na, buca, cavità): “Potrebbe essere un nome legato all’esistenza di caverne o di abitatori di caverne (uomini o animali)”»<sup>4</sup>

Un’origine *castrale* romana del borgo è riconosciuta da diversi autori nella topografia dell’abitato storico che potrebbe rivelare il disegno di un accampamento romano, sebbene per altri l’assenza di reperti romani riconoscibili nel nucleo antico possa far propendere l’origine verso l’epoca tardo-medievale (sebbene questo possa permettere «di ipotizzare che anche a Bellano un eventuale piano di campagna nell’epoca romana possa essere localizzato a una profondità affatto rilevante, così come è accertato archeologicamente per la città di Como (ove tale quota è indicata tra i meno quattro/sei metri)»<sup>5</sup>).



**Figura 10.** A sinistra: *Lacus Comensis olim Larius*, dall’edizione del *Theatrum Orbis Terrarum* di Abraham Ortelius (Anversa, 1667). A destra: *Bertius Petrus. Descriptio Lacus Comensis*, Amsterdam 1610. Da B. GIOVIO, *op. cit.*, p. 138.

Fin dal 905 (ma presumibilmente già da alcuni secoli) la città era di dominio, insieme alle *micropievi* contigue di Varenna e Dervio, dell’Arcivescovo di Milano, che vi aveva fissato una sua dimora; passò, come l’intera Valsassina, successivamente sotto il controllo dei Torriani (per l’Arrigoni la prima notizia certa del loro dominio della valle risale al 1147) e alla fine del XIII secolo ai Visconti. La città rivestiva nel Tre–Quattrocento «una posizione di rilievo nel Lario: le mura, il Pretorio, la vecchia Parrocchiale presso il Pioverna, i numerosi palazzi, le precocità dell’insegnamento (scuole grammaticales sono attestate dal 1417)»<sup>6</sup> conferivano a Bellano un prestigio ravvisabile anche nei numerosi saccheggi subiti dal borgo (come quello da parte delle truppe della Repubblica di Venezia del 1447) e nella resistenza ai tentativi d’infedazione compiuti fino al 1480, anno dell’assegnazione a Pietro Dal Verme in occasione del suo matrimonio con Chiara Sforza. Il sigillo del borgo è descritto negli statuti<sup>7</sup> trecenteschi, costituiti da

<sup>4</sup> O. ZASTROW, *op. cit.*, p. 13–14.

<sup>5</sup> Ivi, p. 19.

<sup>6</sup> AA.VV., *Lario Orientale: riviera orientale, Valsassina, Val d’Esino, Muggiasca, Valvarrone*, Nodo Libri, Como 1993, p. 44.

<sup>7</sup> Gli statuti erano serie di regole giuridiche redatti da uomini eletti dal comune, che disciplinavano molteplici aspetti della vita quotidiana, sia in ambito pubblico che privato e regolamentavano comportamenti e situazioni, cariche ed istituzioni, nonché pene per i trasgressori.

340 capitoli, e «portava le figure di quattro chiavi, corrispondenti alle quattro porte principali, dalle quali partivano le strade verso i territori vicini. Si desume [...] che il comune era originariamente diviso in squadre, evolute a loro volta dall'unione di diverse parentele, o parti.»<sup>8</sup>

Chiara Sforza, figlia di Galeazzo Maria, seppe conservare lo *status quo* fino alla sua morte nel 1530 — nonostante ad esempio le numerose espropriazioni e i danni alle mura da parte del Medeghino; nel 1533 gli eredi Fregoso cedettero il borgo e gli altri feudi agli Sfondrati della Riviera (concessi in feudo con il titolo di contea dall'imperatore Carlo V), che la mantennero fino al 1788.

Per la redazione di una *storia* di Bellano si è deciso di analizzare l'opera di tre autori che nell'Ottocento hanno dedicato i loro studi alla Valsassina e al Lago di Como, ricercando notizie, avvenimenti e personaggi legati al borgo. Nonostante la scarsità delle informazioni legate a Bellano rispetto alla *mole* contenuta nelle opere, si è comunque potuta raccogliere una discreta documentazione qui di seguito riassunta, la quale sebbene non legata direttamente alla chiesa di San Nicolao aiuta in ogni modo a comprendere le “vicissitudini” di questo territorio.

Primo autore è Carlo Amoretti e il suo *Viaggio da Milano ai tre laghi Maggiore, di Lugano e di Como e ne' monti che li circondano* del 1817. Scopo dei ventotto capitoli del libro è offrire a lettori *nazionali e forestieri* le cose amene visibili nei tre laghi dell'alto milanese senza dover chiedere indirizzi, consigli e notizie al *servitor di piazza, al postiglione e al barcajuolo*, rischiando di *vedere male le cose* o di non vederle del tutto: ciascun capitolo tratta di un tragitto specifico fra due città o borghi, con quelli più interessanti per questa ricerca costituiti dal XIX e dal XXI.

Il capitolo XIX tratta l'itinerario *Dalla Canedabbia al Pian di Colico in Valtellina, a Bellano*. Da Bellano parte l'*erta e incomoda salita* che conduce alla Valsassina: «*Si tragitta o si costeggia un seno ben coltivato e ameno, e giugnesi a Bellano. Era questo altre volte più grosso e più ben edificato borgo che ora non è; ma le guerre degli scorsi secoli lo hanno rovinato. Sulla facciata della chiesa parrocchiale si vedono ancora gli stemmi delle famiglie Torriani e Visconti. Varie manifatture vi sono, principalmente di seta, e v'è molto commercio, essendo qui la strada che conduce a Valsassina*».

Il capitolo XXI è quello invece dedicato al tragitto *Da Bellano a Lecco, e ritorno alla Cadenabbia*. Si parla, nello specifico, della maggiore attrazione naturalistica del borgo, l'Orrido:

*Dessi questo nome al luogo ove cade la Pioverna in mezzo a uno scoglio ch'essa ha corrosa per l'altezza perpendicolare di ben 200 piedi, a foggia d'ampio pozzo, in fondo a cui s'è aperta una strada per portarsi al lago; e l'ha corrosa tortuosamente, perché il sasso, ora calcareo or argillaceo scistoso, ora quarzoso, le opponea diversa resistenza [...] Sur un ponte angusto, pensile e sostenuto da catene si tragitta il fiume, e per una scala rozamente tagliata nel sasso si sale ove da un balcone vedesi l'interno della caverna, da cui*

---

<sup>8</sup> S. ALMINI, *Comune di Bellano. Sec. XIII — 1757*, in [www.lombardiabeniculturali.it](http://www.lombardiabeniculturali.it)

*il fiume precipitarsi e scorre. Può osservarsi che l'acqua, quasi spintavi da flutto, or cresce or diminuisce, mostrando una specie di respirazione, come quando nell'uscire da chiuso loco contrasta coll'aria.*

Secondo testo consultato sono le *Notizie storiche della Valsassina* di Giuseppe Arrigoni del 1840. Nei cenni topografici introduttivi, l'autore descrive geograficamente la Valsassina, giacente «*fra una doppia catena di altissime montagne, che Alpi, od emanazioni delle Alpi si possono considerare, e sono quelle che sorgono ad oriente del Lario*»; all'epoca della pubblicazione, la valle è sotto la giurisdizione civile della provincia di Como e sotto quella ecclesiastica della diocesi di Milano. È divisa in quattro vallate, la *Valsassina* o *valle di Pioverna*, la *valle di Varrone*, la *val Casarga* e la *valle di Perledo*. Bellano appartiene alla prima, che si estende:

*Dall'est all'ovest per circa miglia diciotto. Il suo ingresso dalla parte d'oriente è una spaccatura di montagne alta, lunga e stretta in modo che quasi la rinserra e chiude. Triste e melanconico luogo, ove solo regna il silenzio della natura, ed ove la mestizia, la sorpresa, il terrore ti assalgono ad un tempo! Aprisi quindi la valle a guisa di anfiteatro, e di nuovo si rinserra per allargarsi e rinserrarsi ancora. La Pioverna, uno dei principali fiumi della Provincia, che scende dal monte Corneto, tutta la valle con ruinoso corso discorre, finché giunge a Taceno, ove s'incanala in valloni profondissimi e tortuosamente tagliati dal corso delle acque secondo che il sasso quarzoso o calcareo opponeva diversa resistenza. Per entro i quali cupi e precipiti burroni aggirandosi le acque, parte sfuggono per sotterranei anfratti al Lario, e parte vanno a formare il celebrato Orrido di Bellano.*

Tutte le valli sono circondate da montagne *ispide e precipiti* calcaree o di schisto argillo–micaceo. L'Orrido di Bellano è descritto nelle righe successive:

*Un'altissima fessura che, come si disse, l'acqua si è per lunghissimo tratto e per la profondità di ben duecento braccia scavata nel sasso da Taceno a Bellano. [...] Sopra un ponte pensile sostenuto da catene di ferro, e per una scala intagliata nel sasso, si tragittava il fiume e s'internava nelle buje caverne di questo orribil burrato; ma nel 1816 distaccatosi il macigno a cui era assicurato il ponticello che schiacciò sotto di sé, e venne così a scemarsi la terribile maestà di quel luogo.*

All'anno di pubblicazione la popolazione censita in Valsassina è di circa 18.000 persone, delle quali «*più di quattro mila sono nel distretto di Bellano*»: l'aria è salubre ma la temperatura varia da luogo a luogo (tantoché in alcuni non matura il granoturco mentre in altri si coltiva l'ulivo); la maggior parte degli abitanti è «*occupata a lavorare il ferro nelle fucine ed a far carbone, ed il minor numero traggono il vitto dai prodotti dei bestiami*»; l'indole è *franca, allegra, ospitaliera e buona*, mentre le case e i vestiti sono generalmente *puliti e decenti* ed i cibi semplici e salubri.

I cinque Libri trattano della storia della Valsassina dai *più remoti tempi* fino al 1844. Come detto, le notizie relative a Bellano sono discontinue e frammentarie:

° nel 905, l'arcivescovo di Milano Andrea da Carcano e il giudice Raginfredo stabilirono nella *corte* di Bellano la sede per dirimere una disputa sfociata in



aperta ribellione fra i cittadini di Limonta e l'abate del monastero milanese di Sant'Ambrogio che aveva giurisdizione sul borgo (Libro I, capitolo VI);

° nel IX secolo «*Bellano era circondato da valide mura con sette porte, ed aveva internamente un castello*» (Libro I, capitolo VII), probabilmente quello dell'Arcivescovo;

° nel 1039, durante l'assedio di Milano da parte dell'imperatore Corrado, gli abitanti di Bellano e di Bellagio, "istigati" dall'arcivescovo di Milano, «*avevano preparato armi e navi per portarsi a danneggiare i paesi*» di Dongo, Gravedona e Sorico per *divertire* le milizie di queste pievi partecipanti all'assedio. Ma i bellanesi «*non avevano ancora ogni cosa apparecchiata che ebbero sentore dello scioglimento dell'assedio [dovuto alla morte dell'imperatore, NdA]. Mal soffrendo però che tanto apparato di guerra riescisse infruttuoso, divisarono di cogliere all'impensata il reduce esercito, e si nascosero colle navi in un seno fra Lezzeno e Bellagio.*» Il raid contro le navi nemiche ebbe successo, una nave avversaria fu catturata e una affondata.

La rivalsa dei *Pievesi* non si fece attendere: *guarite le piaghe e ristorate le navi*, dopo aver incitato alla vendetta i compatrioti, preparavano per la primavera del 1040 una spedizione contro i due paesi (alleatisi intanto con Como). Dopo aver assediato e saccheggiato Corenno e Dervio, si diressero verso Bellagio, dove però trovarono in difesa truppe bellanesi e bellagine, seppur in numero inferiore fino all'arrivo degli alleati *Isolani* dall'Isola Comacina, e furono costretti a ritirarsi. I *Pievesi* tentarono allora la conquista del castello di Dervio con un assedio durato quattro mesi e arresosi solo per mancanza d'acqua. Con la caduta del castello finirono le *avvisaglie* fra i paesi, che causarono ai bellanesi la perdita di Dervio, Corenno e Dorio (Libro I, capitolo VII).

° Intorno al 1126, Bellano fu saccheggiata da truppe comensi e dei *Pievesi* nella guerra fra Como e Milano (Libro II, capitolo VI);

° intorno al 1311, Bellano, Varenna, Dervio e la Mugiasca furono invase e depredate da Cressone Crivelli nella lotta fra Torriani e Visconti per il controllo della *Riviera di Lecco* (Libro II, capitolo XII);

° nel 1431 Bellano è conquistata dal generale veneziano Daniello Venturi. Ricaduta in mani milanesi, nel giugno 1447 le truppe della Serenissima spedite da Micheletto Atténdolo «*con ispirito più che vandalico frugarono ogni angolo rubando ciò che poterono, ed il resto guastando e incendiando, "ed entrarono su per forza (dice Cristoforo da Soldo) ne' luoghi. Il rubare che fecero sarebbe impossibile scriverlo, cioè in Valsassina, e la Mugiasca"*». La preda della razzia è stimata in duecentomila ducati: scesi a Bellano devastarono tutta la riviera fino a Colico (Libro III, capitolo III). Due anni dopo, nella lotta tra Sforzeschi e Veneziani, Bellano appoggia i primi ma è occupata, saccheggiata e arsa dalle truppe comensi (Libro III, capitolo IV). Con la pace di Lodi del 9 aprile 1454, la Valsassina passa definitivamente sotto il controllo degli Sforza.

° Nei primi anni del XVI secolo, dopo la conquista del Ducato di Milano da parte del re Ludovico XII di Francia nel 1499, il *venturiere* Antonio del Matto

solleva i *Lariensi* a favore degli Sforzeschi e con truppe dei Grigioni «*prese a infestare le terre della riviera orientale, che favorirono i Francesi, occupando Corenno, Dorio, Dervio e Bellano.*» Nel 1518 a Bellano si svolsero senza esito due congressi tra Giovanni Traverso (delegato delle *Tre Leghe Grigie*) e il regio senatore Giacomo Minuzio per i francesi, per cercare di interrompere le razzie delle truppe *masnadiere* (Libro III, capitolo VI);

° nel 1537, dopo la conquista da parte dell'imperatore Carlo V, un atto notarile stabilisce che il salario residuo del professore di medicina all'Università di Pavia Nicolò Boldoni di Bellano venisse pagato dall'imperatore tramite l'interesse annuo del 5% sui proventi del sale di Bellano (Libro IV, capitolo I);

° nel settembre 1629, un esercito di trentaseimila Lanzichenecchi sotto il comando di Rambaldo Collalto, «*gente sacrilega, lasciva, assassina [...] sporchi, sucidi e attaccati da un morbo contagioso*», per ventitré giorni razziano e devastano la Riviera da Colico fino a Olate portando la peste (l'anno successivo Bellano fu uno dei borghi dai quali il commercio con Milano era vietato). Una testimonianza ci arriva da Sigismondo Boldoni, professore a Pavia e residente a Bellano (Libro IV, capitolo III):

*Ogni campo è devastato con rabbia nemica, ogni casa spogliata, gli abitanti percossi, nelle magioni non vi sono più vasi, le travi, i tini, le imposte bruciate, ogni cosa lordata. Un tanto tetro e simile alla lor crudeltà nelle strade, nelle piazze, nelle case; sperperata del tutto la vendemmia, gli abituri di campagna arsi, le barche trattenute perché non si possa fuggire...tutta la sponda del lago di Como da Sammolaco a Bellano, e la Valsassina, che da Bellano e Lecco per lungo corso si estende, vengono devastati con rapine e stragi.*

Nel 1613 Bellano contava 761 abitanti, nel 1631 erano 462.

° Con l'arrivo degli Austriaci, la Valsassina fu soggetta al catasto delle terre, secondo l'Arrigoni con *grave nocumento* per la regione «*imperciocchè i boschi, i pascoli e gli edifici da ferro, che prima ne erano esenti, furono gravati da censo.*» Bellano fu assoggettata al distretto censuario della Valsassina, appartenente alla provincia di Milano (Libro V, capitoli II–III).

Alcune delle notizie sopra riportate sono documentate in un altro libro, l'*Historia Patriæ* di Benedetto Giovio pubblicata postuma a Venezia nel 1629, come il saccheggio da parte delle truppe della Serenissima di Michele Attendolo del giugno del 1447, lo svolgimento nello stesso periodo di un'assemblea della famiglia Rusconi in lotta con la città di Como, il saccheggio da parte dei Grigioni dell'aprile 1516 e la successiva conferenza tra gli Svizzeri e i Francesi, ed infine un altro saccheggio, nel febbraio del 1532 da parte di Giangiacomo Medici.

Giuseppe Arrigoni è autore di un secondo libro, i *Documenti inediti riguardanti la storia della Valsassina e delle terre limitrofe*, in qualche modo una sorta di "prosecuzione" delle precedenti *Notizie* ma pubblicati solo nel 1857 a seguito dei Moti del 1848. Il libro è basato ancora una volta su *memorie* di «*paesi, chiese, conventi e personaggi celebri, statuti, carte, epigrafi e simili materie*» relative

alla Riviera di Lecco. Alla parte prima appartengono i *Racconti*, traduzioni da parte dell'autore di vari manoscritti: il primo è la *Descrizione della Valsassina* del 1571 di Paride Cattaneo Della Torre. Anche in questo caso la parte introduttiva è dedicata alla descrizione della valle, e le notizie su *Belano* sono scarse.

Il Della Torre, nel capitolo dedicato alla descrizione della Valsassina, biasima gli autori, *cosmografi, storici et chronisti* che l'hanno preceduto, i quali hanno scritto sì del territorio preferendo però «*solcare con le barchette l'amenò sito del lago*» piuttosto che «*cavalcare una valletta di dieciotto in venti miglia*»<sup>9</sup>: «*Ma siagli perdonato, perché molto meglio è andar agiatamente in barca per detto lago, che cavalcar con pericolo le storte vie di detta valle. Io adunque sotto entrarò a questa puoca fatica di tal descrizione, non già perché voglia far professione di cosmografo, né di cronista, né meno di compositore; ma solamente per dar cagione a qualche altro più vivace spirito di far quello non hanno voluto far gli altri*»<sup>10</sup>.

Il borgo di Bellano:

*Dirò alquanto anchora il sito di Belano sì per essere già stato della domination de Torriani sì anche per essere qua il fine del nostro fiume et il contado da questa parte della nostra valle et di questa valle et perché sono ancora in quel nobil borgo molti de loro venuti ad habitare et il simile havendo fatto alcuni di loro, in questi luoghi. Sede il bel borgo di Bellano, etimologia degna del luogho, alle basse radici dell'alto monte della Valsassina detto Muggia, in un picciol piano, tutto cinto di mura con sette porte et un superbo molo. [...] Hanno statuti per se, sono mandati questi Iudici et Podestà dalli Illustrissimi signori Sfondrati signori in vero molto nobilissimi et cristiani. Si vede poi al loro bello et famoso Molo, dove riducono loro navi a ripa. È habitato questo nobile luogo da diverse honorate famiglie*<sup>11</sup>.

Alla descrizione storica del borgo segue quella geografica e topografica:

*Tutti questi Gentilhuomini possedono honorate, belle, degne et pompose case, fertili, puliti et vaghi giardini, bone ortaglie. Hanno questa felicità che pono dire che facciano li più dilicati et stupendi vini che in Italia si possono ritrovare; fanno ancora bonissimi olei de oliva et de noce, boni marroni et castagne raccogliono in quantità, sono dominatori de gran parte del lago, dal qual traggono molti suavi et saporiti pesci, sono abondantissimi de ogni sorta frutti, hanno bon aria temperata et sana, la lor origine è antica*<sup>12</sup>.

Ultimo autore è Carlo Redaelli che nelle sue *Notizie Istoriche della Brianza, del distretto di Lecco, della Valsassina e de' luoghi limitrofi*, fa derivare il toponimo *Valle Sassina* dal latino *Saxina* o *Saxia*, e descrive a metà dell'Ottocento gli abitanti di questi territori:

<sup>9</sup> G. ARRIGONI, *Documenti inediti*, pp. 16–17.

<sup>10</sup> *Ibid.*

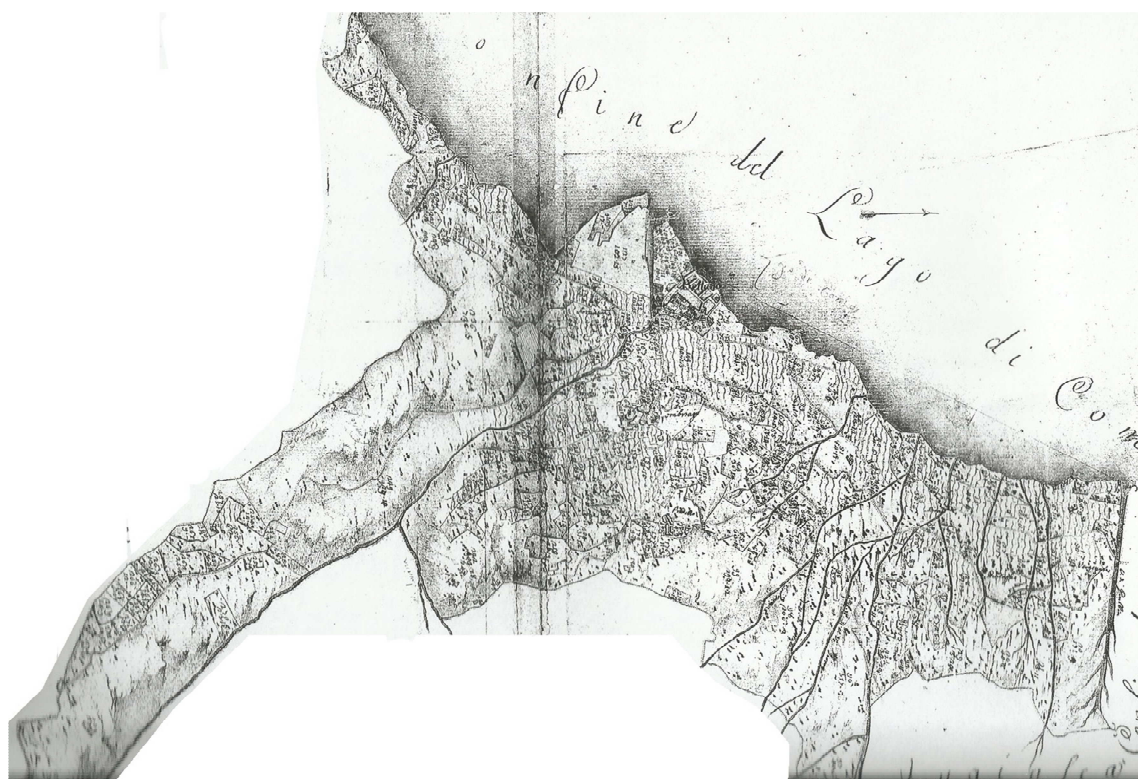
<sup>11</sup> *Ivi*, pp. 74–76.

<sup>12</sup> *Ivi*, p. 77.

*Il carattere degli abitanti è generalmente parlando, quieto, franco, onesto; il loro aspetto è dolce, ed in alcuni luoghi si vedono individui di belle e robuste forme, e vi si trova molta gente vegeta in età molto avanzata. Si potrebbe asserire, che sono incapaci di gravi delitti; ed amanti poi sono, per quanto lo permettono i loro mezzi, dell'ospitalità. [...] Vantano a buon dritto alcuni uomini distinti in ogni età nelle armi, nelle lettere, nelle magistrature e nel disimpegno d'elevate cariche ecclesiastiche, non che distinti artisti. [...] Non pochi sono giustamente riputati bravi agricoltori<sup>13</sup>.*

## 4.2 Bellano nella cartografia storica

Prima rappresentazione delle proprietà ai fini inventari del comune appaiono nel 1722 con la redazione del *Catasto Teresiano* (avviato nel 1718 da Carlo VI d'Asburgo).



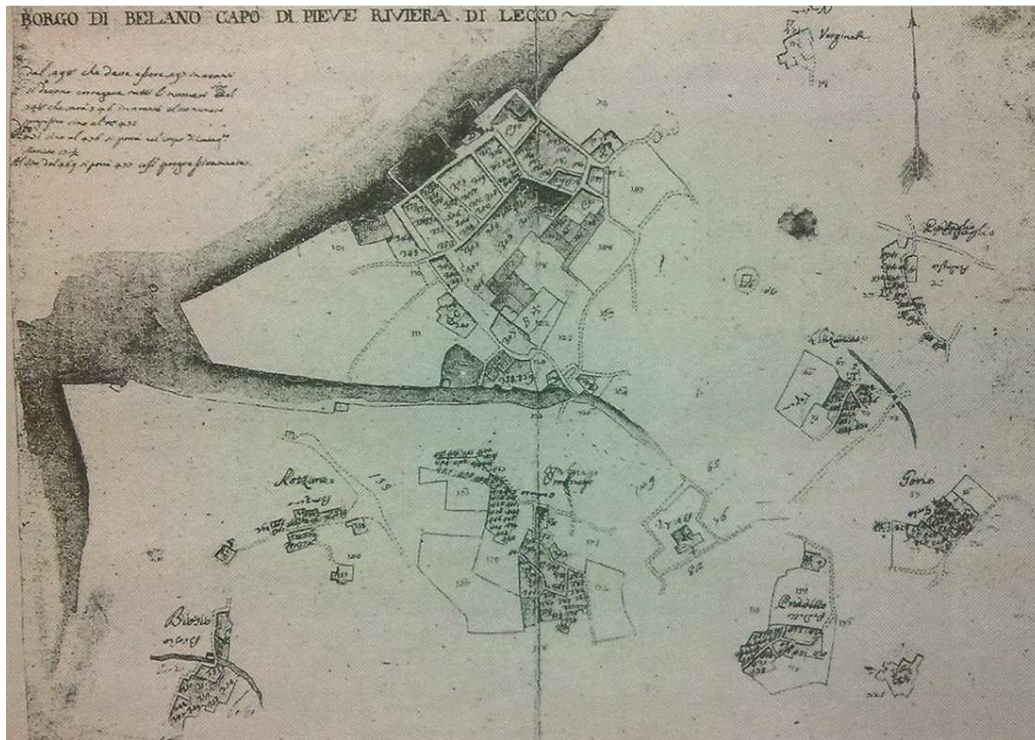
**Figura 11.** Bellano. Capo di Pieve, con Linzanico, Ombriago, Ronzano, Biosio, Pradello, Gorio, Pedaglio e Verginato. Riviera di Lecco. Catasto Teresiano o di Carlo VI, 1722 (Archivio di Stato di Como).

Come visto, secondo l'Arrigoni il censimento procurò nei cittadini bellanesi (e si può reputare anche in tutti quelli *colpiti* dai nuovi balzelli) e alla regione *grave nocumento* per la tassazione di boschi, pascoli ed *edifici da ferro* prima esenti. Non si può escludere che nelle parole dell'autore si nasconda una critica (non

<sup>13</sup> C. REDAELLI, *Notizie Istoriche della Brianza, del distretto di Lecco, della Valsassina e de' luoghi limitrofi da' più remoti tempi sino ai nostri giorni*, Tipografia di Felice Rusconi, Milano 1825, pp. 25–26.

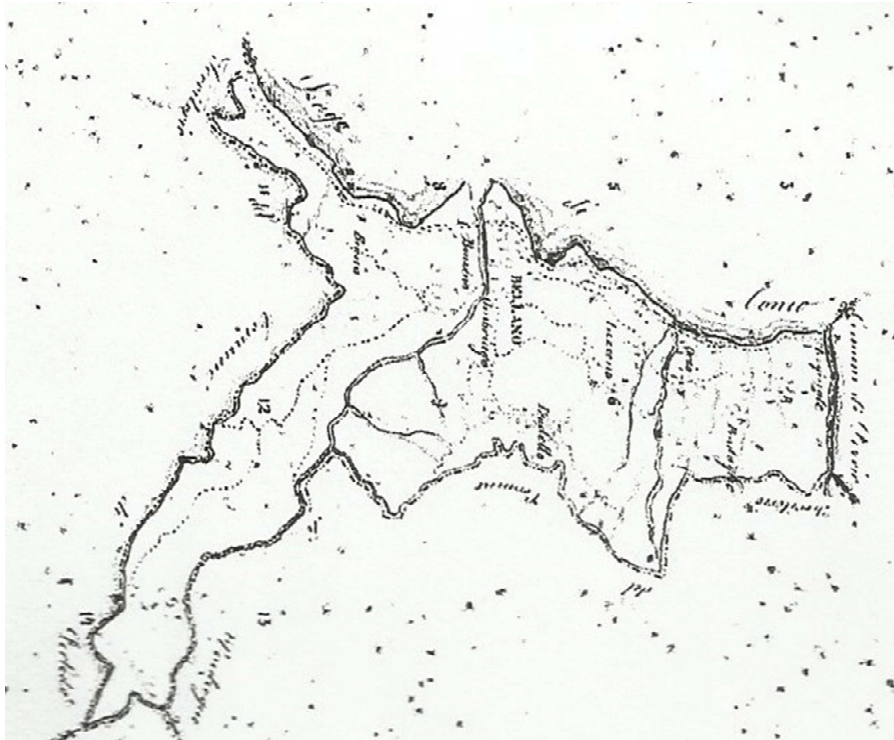
troppo velata) ai dominatori austriaci ritornati nel Regno Lombardo–Veneto dopo il 1815.

Nelle mappe di *seconda stazione* sono riportati i fabbricati del territorio comunale, mentre nel registro allegato (il *Sommarione*) sono indicati i relativi proprietari, il censo, la superficie delle particelle e il loro valore capitale. Nel *Sommarione* la chiesa di San Nicolao è censita con una lettera A (“bene ecclesiastico non soggetto a rendita”), mentre l’adiacente particella 276 è dichiarata di proprietà dell’*Abbazia di S. Nicolao di Bellano*, descritta come *Casa di abitazione dell’Abate*, avente una rendita di 9 scudi.

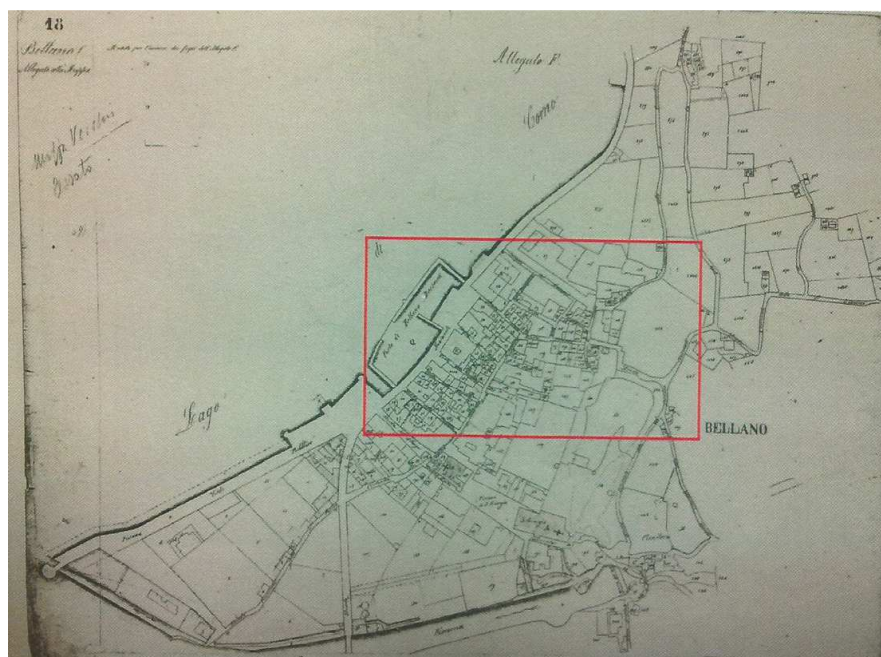


**Figura 12.** Borgo di Bellano. Capo di Pieve. Riviera di Lecco. Catasto Teresiano o di Carlo VI, 1722 (Archivio di Stato di Como).

Secondo censimento è quello realizzato per la redazione del Catasto Lombardo–Veneto del 1860. Nel registro sono riportati sia l'*Oratorio sotto il titolo di S. Nicolao in Bellano* (con la relativa superficie in pertiche metriche), sia la *casa* attigua intestata a Pietro Gavazzi. Del 1895 è l'aggiornamento catastale con il passaggio della chiesa da bene ecclesiastico a bene privato.

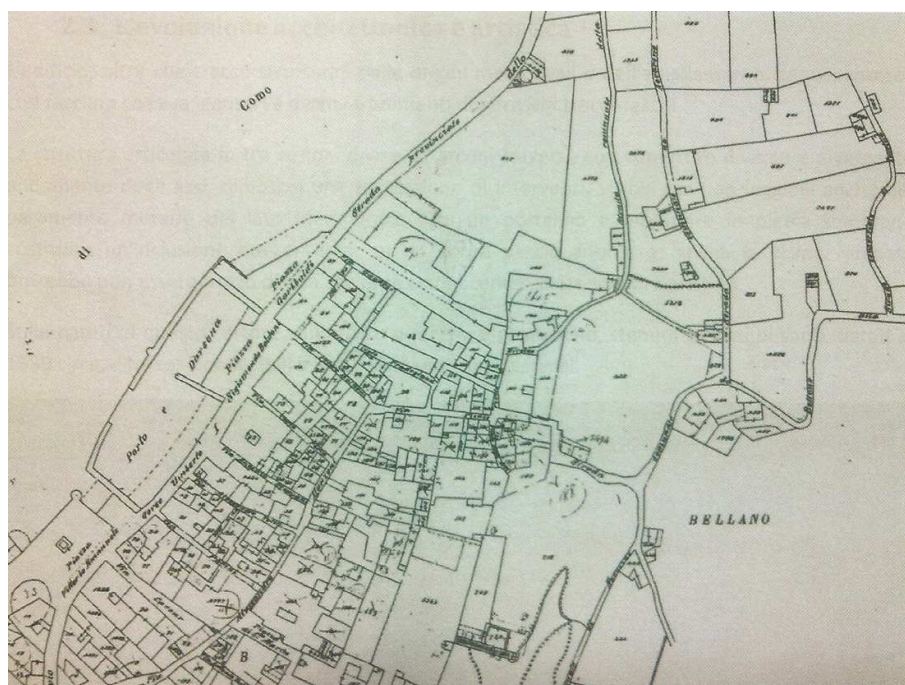


**Figura 13.** *Frontespizio e Quadro d'Unione*. Catasto Lombardo–Veneto, 1860 (Archivio di Stato di Como).



**Figura 14.** Allegato alla Mappa, Foglio 18. Catasto Lombardo-Veneto, 1860 (Archivio di Stato di Como).

Ultimo censimento storico è quello del cosiddetto *Cessato* Catasto del 1898, nel quale si può constatare l'avvenuto cambio di *qualità* della chiesa del 1895.



**Figura 15.** Foglio 18. Cessato Catasto, 1898 (Archivio di Stato di Como).

### 4.3 L'ex chiesa di San Nicolao e l'Ordine degli Umiliati

L'ex chiesa di San Nicolao è legata ad un ordine religioso sorto e diffusosi nella seconda metà del XII secolo dalla scarsa storiografia, gli Umiliati.

Derivato da un movimento religioso — composto da laici (uomini e donne), alcuni dei quali decidevano di vivere in comunità, altri invece «*volevano compiere una ricerca personale di perfezione cristiana rimanendo in famiglia e continuando a esercitare la loro professione o mestiere*»<sup>14</sup> — l'Ordine degli Umiliati, concesso e approvato da papa Innocenzo III nel 1201, mantenne una certa *libertà* rispetto ai canoni del monachesimo tradizionale.

Diversi erano gli elementi di diversità, oltre al divieto di giuramento sulla base del Vangelo:

*Soprattutto, una caratteristica divisione in Primo, Secondo e Terzo ordine [rispettivamente composti da religiosi veri e propri, laici viventi in comunità e laici che avevano scelto la vita coniugale, NdA], mirante a contemperare esigenze religiose diverse; una forte presenza dell'elemento laicale, e non solo nel Terzo ordine che — si noti — precedette nel tempo tutti gli altri Terzi ordini legati ai Mendicanti; l'esistenza di conventi doppi, ossia di comunità maschili e femminili affiancate nello stesso edificio o in edifici attigui e collaboranti nell'attività lavorativa. Colpiva inoltre il notevole influsso esercitato per un certo periodo da questi religiosi sulla società contemporanea, non solo in ambito religioso, ma anche nel quadro della vita politica, sociale ed economica*<sup>15</sup>.

Nel 1216 si contavano non meno di centocinquanta comunità regolari nel territorio ambrosiano e lombardo, ed un numero considerevole di laici “rimasti” nelle proprie famiglie, «*tutti costantemente impegnati in attività commerciali ed artigianali, tra cui spiccavano la tessitura e, grazie alla disponibilità monetaria ed all'evoluzione della vita economica cittadina, anche l'attività di prestito o comunque di assistenza economica.*»<sup>16</sup> Una maggior chiarezza sull'organizzazione territoriale è ritrovabile nel cosiddetto *Catalogo del 1298* di una delle case più importanti della città di Milano, quella di Brera. Il Catalogo — un codice cartaceo costituito da quattro fogli manoscritti recanti la titolo *Cronica qualiter devote principatus et augmentatus atque confirmatus fuit ordo humiliatorum* — consiste in un elenco nominativo delle case umiliate raggruppate secondo ventidue<sup>17</sup>

<sup>14</sup> a cura di M.P. ALBERZONI, A. AMBROSIONI e A. LUCIONI, *Sulle tracce degli Umiliati*, Vita e Pensiero. Pubblicazioni dell'Università Cattolica, Milano 1997, p. XI.

<sup>15</sup> *Ibidem*.

<sup>16</sup> E. SAITA, *Umiliati*, in <http://www.lombardiabeniculturali.it/archivi/profilo-istituzionali/MIDL00017D>.

<sup>17</sup> Nell'ordine: Milano, Monza, Seprio, Martesana *de Medio*, Martesana *de ripa Abduae infra*, *Insula Folcheriae ultra Abduam*, Crema, Novara, Vercelli, Alessandria, Pavia, Lodi, Cremona, Parma, Piacenza, Brescia, Mantova, Verona, Vicenza, Bergamo, Como e Toscana. «*Difficile costruire con certezza quale criterio sia stato seguito dall'estensore nell'ordinare le fagiae. Sembra da scartare quello puramente geografico, come dimostra il percorso spezzato e tortuoso, difficilmente razionalizzabile, della linea che idealmente la collegherebbe in successione: né è sostenibile il criterio dell'importanza della faglia per pura rilevanza numerica delle fondazioni: ad esempio, Monza,*



*fagiae* nelle quali era diviso il territorio dell'Italia settentrionale (non corrispondenti però alle diocesi): ognuna era costituita da *domus*, la cui denominazione «deriva spesso dal nome del fondatore o da un toponimo, ma quest'ultimo non sempre indica la località in cui la casa sorgeva; sono anzi accertati trasferimenti verso centri di maggiore importanza o dal contado verso le città.»<sup>18</sup>

Verso la fine del XIII secolo l'Ordine entrò in crisi «sia per motivi esterni — l'influenza politica esercitata dal governo signorile prima e ducale poi — sia interni, dovuti alle forti contraddizioni nate in seno all'Ordine, ed anche al peso che, a quanto sembra, ebbero alcuni maestri generali.»<sup>19</sup> Nel 1560 fu nominato protettore dell'Ordine il Cardinal Carlo Borromeo, futuro Arcivescovo di Milano, il quale tentò di ricondurre gli Umiliati (sospettati di Calvinismo) all'osservanza dei principi della Controriforma; la forte resistenza che sorse causò di fatto nel 1571 la soppressione del ramo maschile (dovuta ad un tentativo di attentato contro il Borromeo stesso da parte di un frate umiliato) sancita da papa Pio V, e il conseguente impiego delle cospicue sostanze per la fondazione di seminari e di case di nuovi ordini religiosi. Quello femminile, per lo più assoggettato alla regola benedettina, continuò ad esistere fino alle soppressioni definitive del XVIII e del XIX secolo. A partire dal XV secolo, le comunità umiliate femminili — anche in questo caso dalla storiografia incerta, data dall'uso generalizzato del termine *humiliata* come sinonimo di “monaca” — furono spesso nuclei di formazione per monasteri di clausura.

Secondo l'Arrigoni<sup>20</sup> l'Ordine ebbe a Lecco fin dal 1298 una casa — prima per frati e suore, poi per sole suore — aggregata a partire dal XV secolo ad una casa di Milano; quella lecchese era la *capofila* di una discreta serie di case nei dintorni, nel territorio dei borghi di Bulciago, Cremella, Cernusco Lombardone, Merate, Osnago, Dervio e Bellano. Di quest'ultima si hanno diverse testimonianze: alla fine del XIII secolo esisteva un *conventus fratrum e sororum* condotto da *frater Georgius*, come riportato da Roberto Perelli Cippo ne *La diocesi di Como e la decima 1295–98*; nel secolo successivo, gli Statuti bellanesi descrivono il sigillo comunale «*in domo dominarum humiliatarum monasterii de canonica de Bellano*»; nel 1419 la casa aveva *sorores septem, fraterculum unum*, e fin dal 1436 anche un prevosto; nella metà del XVI secolo infine, secondo Paride Cattaneo Della Torre ne *La descrizione della Valsassina* nella versione dell'Arrigoni, a Bellano:

---

*con un totale di 13 case, precede il Seprio con 56 [...] È da escludere che sia stata data precedenza alle diocesi più antiche, dal momento che Como, antichissima poiché risale all'età ambrosiana, si trova in ultima posizione prima della Toscana. Così pure è da escludere il raggruppamento per province ecclesiastiche, poiché Como, appartenente alla provincia ecclesiastica aquileiese ancora nel XVI secolo, è separata dagli altri centri della stessa provincia, come Verona e Vicenza. L'ipotesi più probabile, che resta da verificare, è che l'ordine di elencazione risponda ad un criterio di antichità e di prestigio interno all'Ordine per le singole fagiae.», a cura di M.P. ALBERZONI, A. AMBROSIONI e A. LUCIONI, *op. cit.*, p. 8.*

<sup>18</sup> Ivi, p. 10.

<sup>19</sup> E. SAITA, *op. cit.*

<sup>20</sup> G. ARRIGONI, *Notizie storiche della Valsassina*, p. 242.

*Hano ancora un'altra chiesa dedicata a santo Nicolao et è una prepositura di quelle che hora sono in comenda, che già sotto la regola di santo Benedetto, le quali chiese de monasteri erano dette prepositure bianche, havevano qua un bellissimo luogo per lor habitatione con orti fruttiferi, fertili giardini et vigne in gran quantità et questi ricchi et grassi frati che humiliati si chiamano ancora, hebbero origine l'anno 1189. Haveva quasi la quinta parte del territorio di Belano questa Prepositura o Monastero come volete<sup>21</sup>.*

Andrea Spiriti la definisce «avanzo di una potente domus umiliata attestata dal 1295, divenuta considerevole proprietaria terriera nei secoli successivi, trasformata in abbazia commendataria nel 1571, soppressa nel 1795 ed adattata a filanda fino all'inizio dei restauri nel 1977»<sup>22</sup>, dandocene la seguente descrizione:

*La chiesa, oltre che tracce strutturali delle origini medioevali e dell'ampliamento cinquecentesco con facciata coeva, conserva diversi frammenti di affreschi trecenteschi. Nel primo arcone traverso sono presenti il Redentore, sei Profeti e l'Annunciazione, nella nicchia della parete sinistra della seconda campata l'Agnus Dei e due Sante, nell'abside due frammenti di Santi, tutte opere accostate al Primo maestro di S. Margherita e quindi alle più antiche pitture della parrocchiale di Corenno Plinio. Al secondo quarto del Cinquecento dovrebbero appartenere le grottesche e i due Santi della prima campata; al pieno Seicento le decorazioni e i ritratti della secondo campata. Molte altre decorazioni e l'ancona citata dalle Visite pastorali sono andate perdute<sup>23</sup>.*

L'ex chiesa di San Nicolao è ubicata nel punto in cui l'antica strada per Dervio (dove sorgeva una tra le case umiliate più importanti della regione) e l'alto lago si immetteva nelle strette vie del borgo: in quel luogo, sul fianco della chiesa, c'era una delle porte principali di accesso a Bellano, mentre su quello sinistro si accedeva alla sacrestia e al piccolo convento umiliato, oggi non più esistenti. L'importanza dell'adiacenza della chiesa al cosiddetto "sentiero del Viandante" si può ritrovare nella dedica a San Nicolao (Nicola), tipica degli edifici dell'area alpina che si trovavano su percorsi o vie di transito destinati alle "stazioni" per i viandanti e i pellegrini.

L'edificio è menzionato in diversi documenti a partire dal 1295:

- ° nella raccolta per la decima papale (una "tassa" che il pontefice *urgente aliqua necessitate* poteva imporre agli ecclesiastici a causa dei redditi dei loro benefici) indetta da Bonifacio VII nel 1295, dove è riportata una «*domus de Bellano, pro qua frater Georgio prelati ipsius domus se excusavit, quia nihil percipit propter tempestates*»;
- ° in un elenco del 1298 redatto da uno degli storici più importanti della Confraternita, il Tiraboschi;
- ° nel 1370, uno dei capitoli dello statuto del borgo stabilisce che la comunità femminile umiliata custodisca il sigillo del comune;

<sup>21</sup> G. ARRIGONI, *Documenti inediti*, pp. 75–76.

<sup>22</sup> AA.VV., *op.cit.*, p. 49.

<sup>23</sup> *Ibid.*

- ° in un rogito notarile del febbraio del 1407, nel *Capitulum Sacrum* dell'Ordine tenuto a Mantova nel 1436 (al quale risulta presente «*Frate Johannes, Praepositus Domus Sancti Nicolaj de Bellano*»), e in un altro rogito dell'agosto del 1476;
- ° nel censimento del 1558 (quindi dopo la soppressione dell'Ordine) l'Abbazia di San Nicolao possedeva 928,14 pertiche milanesi (circa 61 ettari, su un totale del borgo di circa 3.000 pertiche);
- ° nella relazione della visita del Vescovo Maggiolini del 1611 è riportata la descrizione delle tracce di un vetusto cimitero abbandonato dietro gli edifici accorpati con la chiesa di San Nicolao: «*Coemeterium adest antiquum post aedes ipsius Monasterij, quo olim fuerunt sepulta plurima humana corpora, ibi nulla crux, nulli cancelli, nulla longaria, omnino patens*»;
- ° in una consulta effettuata alla soppressione dell'Ordine da parte del Senato di Milano all'imperatore Filippo II, nella quale la casa di Bellano ha un reddito di 300 lire imperiali.

Nel 1799 l'abate don Carlo Sovico investì Giuseppe Loria e i fratelli Carlo Antonio e Domenico Conca dei beni dell'abbazia di San Nicolao a fronte di un canone annuo di 1300 lire milanesi. Tra le varie clausole: «*Detti signori Loria e Conca dovranno obbligarsi solidamente alla Fabbrica di un conveniente edificio per due piante di filatojo di seta, ed alla costruzione d'esse piante; come altresì far fare un Edificio per la filanda della seta, servendosi della Casa Abbaziale posta in Bellano*»; per quanto riguarda la chiesa invece, non ancora sconsacrata, i Loria e i Conca si impegnano a far celebrare tre messe alla settimana e le due Feste di San Nicolao e di Tutti i Santi. Le messe continuarono ad essere celebrate fino alla metà del XIX secolo, quando venne sconsacrata e adibita a magazzino del setificio Gavazzi.

## 4.4 La chiesa: l'architettura e l'apparato decorativo

### 4.4.1 *Le fasi storico-costruttive*

Tramite le diverse fonti sopra citate e una prima analisi stratigrafica degli elementi architettonici *visibili* si possono ipotizzare le probabili fasi storiche che hanno interessato la costruzione dell'edificio nel tempo: non solo le fonti dirette e indirette presenti negli archivi ma anche soprattutto il rilievo di alcuni elementi architettonici *notevoli* possono essere validi strumenti per determinare della *storia costruttiva per fasi* dell'ex chiesa.

È innegabile infatti che «*tutte le azioni di costruzione e di distruzione che si sono succedute nel tempo su un edificio, in tempi più o meno ravvicinati tra loro, si sono sovrapposte le une sulle altre*»<sup>24</sup>. Riteniamo utile innanzitutto definire i due concetti di *stratificazione* e *stratigrafia*: la prima è il risultato delle azioni stesse, e può essere analizzata attraverso la seconda tramite una cosiddetta *analisi stratigrafica*, «*lo smontaggio ideale del manufatto, approfittando della grande quantità di superfici naturalmente esposte alla vista.*»<sup>25</sup>

Terzo concetto da sottolineare è quello di *unità stratigrafiche*, gli elementi-base dell'analisi: un'unità stratigrafica (u.s.) è costituita da quelle parti di edificio considerabili unitarie (ossia senza soluzioni di continuità) dal solo punto di vista stratigrafico (e non per esempio dal punto di vista della composizione dei materiali, o del ruolo strutturale). Una prima distinzione può essere compiuta a seconda della loro "esecuzione": le unità *positive* sono parti che «*non lasciano dubbi sulla loro realizzazione unitaria, in quanto sono frutto di una unica intenzionale azione costruttiva*»<sup>26</sup>; quelle *negative* sono invece quelle caratterizzate da asportazioni evidenti di materiali avvenute unitariamente per azioni umane volontarie.

L'individuazione di una unità stratigrafica è legata al tema della loro estensione *reale* o *visibile*, e quindi a quello della determinazione dei suoi *limiti* (i *confini* dell'unità, definiti anche come *interfacce* quando si valuta l'edificio o una sua parte nell'intero aspetto tridimensionale). Altro concetto fondamentale è quello di *rapporto* tra le unità stratigrafiche, tramite il quale si può stabilire la sequenza temporale con la quale l'edificio è stato (presumibilmente) realizzato: «*Il riconoscimento della sequenza temporale deve basarsi su leggi fisiche o su necessità costruttive [ad esempio, un intonaco è realizzato dopo una muratura, così come due muri ammorsati sono stati realizzati contemporaneamente, NdA], deve cioè essere "provato" ed "inequivocabile"*»<sup>27</sup>.

La presenza pressoché continua di rivestimenti recenti (realizzati negli ultimi venti anni del secolo scorso) su gran parte delle superfici interne ed esterne ha

<sup>24</sup> S. F. MUSSO, *Recupero e restauro degli edifici storici. Guida pratica al rilievo e alla diagnostica*, EPC Libri, Roma 2010, p. 318.

<sup>25</sup> Ivi, p. 319.

<sup>26</sup> Ivi, p. 321.

<sup>27</sup> Ivi, p. 325.

permesso un'analisi limitata dell'edificio, circoscritta agli elementi murari *a vista* (il prospetto rivolto a sud e a nord e le superfici interne superiori non rivestite).

Dalla ricerca storiografica riportata nei precedenti paragrafi si possono innanzitutto stabilire delle ipotetiche *fasi storiche*, periodi temporali nei quali l'edificio ha (o avrebbe potuto) subire delle trasformazioni funzionali. Dalle sole fonti d'archivio non si può stabilire con certezza se a queste fasi corrispondano modifiche e interventi di tipo architettonico, ma il rilievo visivo dell'edificio in alcune sue componenti può permettere un'analisi più approfondita. XX

Riprendendo e riassumendo le considerazioni dei precedenti paragrafi possono essere determinate, in stato preliminare, almeno quattro *fasi storiche*:

**Tabella 9.** Sequenza temporale, fonti dirette e indirette

	<b>Fonti dirette</b>	<b>Fonti indirette</b>	<b>Considerazioni</b>
<b>I fase</b> XIV secolo	- 1295: <i>Rationes decimarum</i> (Pirelli Cippo, Zastrow), nella quale è citato un convento umiliato presente a Bellano	- apparato decorativo presente unicamente nell'abside e nell' <i>arcone</i> di divisione fra l'ambiente centrale e quello più grande attribuibile al Trecento (Zastrow) - presenza di una monofora sul prospetto sud dell'ambiente centrale, elemento architettonico attribuibile, per caratteristiche costruttive, al periodo (e riconoscibile nella chiesa coeva a Bellano dedicata ai Santi Giorgio, Nazario e Celso).	Il censimento per la decima papale del 1295 in cui è riportata la presenza a Bellano di un <i>convento</i> umiliato non è sufficiente a stabilire se la chiesa fosse effettivamente sita nell'area attuale. La presenza dell'apparato decorativo e di elementi architettonici attribuibili al tardo Trecento (il primo realizzato da un artista operante alla fine del XIII secolo in Valsassina) può però essere considerato un importante elemento di datazione <i>ante quem</i> dell'edificio
<b>II fase</b> XVI secolo	- 1578: soppressione del ramo maschile degli Umiliati → il convento umiliato è <i>trasformato</i> in abbazia commendataria	- apparato decorativo, presente in tutti gli ambienti, primo ambiente e facciata principale sul lato ovest attribuibili al primo Cinquecento (Zastrow)	La datazione del primo ambiente potrebbe essere suffragata dalla presenza di decorazioni attribuibili al periodo. L'assenza nello stesso di decorazioni attribuibili a periodi precedenti non può però essere ritenuto utile per validare questa tesi (le eventuali decorazioni precedenti potrebbero essere andate

			<p>perdute).</p> <p>Lo Zastrow riconosce nelle decorazioni del primo ambiente figure di frati umiliati, argomento che validerebbe la realizzazione dell'<i>aggiunta</i> prima della soppressione dell'Ordine.</p>
<p><b>III fase</b> XVIII secolo</p>	<p>- 1750 circa: Catasto Teresiano. La pianta dell'edificio rappresentando è diversa da quella attuale, di forma quadrata. Difficile stabilire in quale misura la rappresentazione possa ritenersi <i>affidabile</i></p> <p>- 1799: i beni dell'abbazia sono affidati Giuseppe Loria e i fratelli Carlo Antonio e Domenico Conca, mantenendo la destinazione religiosa della chiesa</p>	<p>- apparato decorativo presente nell'ambiente centrale e in quello absidale attribuibili al periodo</p>	<p>L'edificio è ancora destinato alla celebrazione di funzioni religiose, anche se la vicinanza di edifici (prima di proprietà del convento) di nuova destinazione potrebbe aver determinato la realizzazione di <i>elementi</i> estranei alla funzione principale (come quelli di divisione verticale degli ambienti). Dalla cartografia risalente al periodo non è possibile determinare con certezza il <i>perimetro</i> costruito dell'edificio.</p>
<p><b>IV fase</b> metà XIX secolo</p>	<p>- 1860 ca: Catasto Lombardo-Veneto. L'edificio è rappresentato con l'impianto planimetrico attuale</p> <p>- Metà del XIX secolo: la chiesa è sconsacrata e destinata a filanda del setificio Gavazzi</p>		<p>Il cambio di destinazione dell'edificio e la sua sconsacrazione potrebbero aver determinato interventi <i>importanti</i> alle strutture, riconducibili nuovamente alla divisione verticale degli ambienti.</p> <p>Nella cartografia relativa al periodo l'edificio presenta già la conformazione planimetrica attuale.</p>

Le considerazioni riportate nella tabella possono essere però considerate *congetture* basate sugli avvenimenti accorsi sull'edificio: cambi di destinazione possono essere infatti relazionati ad elementi architettonici *estranei* alla funzione originaria (come la trave lignea in *chiave* del primo arcone affrescato, non solo forse legata alla presenza di un solaio dividente l'ambiente ma in una posizione inconsueta e strutturalmente incompatibile con lo schema statico degli elementi

su cui poggia), così come finestre di diverse dimensioni e tipologia possono far propendere per una sovrapposizione di interventi. Si tratta però come detto di ipotesi dedotte dalle fonti d'archivio.

Un'analisi più approfondita è stata invece rivolta alle strutture murarie: l'assenza di rivestimenti, se da un lato risulta dannosa ai fini della conservazione, può d'altro canto permettere di rilevare una tessitura muraria spesso nascosta. In particolar modo l'attenzione è stata concentrata sul prospetto sud (l'unico non rivestito) e su alcune murature interne per poter cercare di analizzare il rapporto stratigrafico e temporale fra l'ambiente centrale, l'abside e quello di maggiori dimensioni. L'analisi è stata condotta su quattro tipi di elementi: «I materiali e la loro lavorazione (materiali semplici e composti, lavorati e non lavorati,...); le tecniche costruttive (modalità di assemblaggio e di messa in opera dei materiali); le continuità e discontinuità; i bordi di rottura, i segni lasciati dall'asportazione volontaria di materiale, e simili»<sup>28</sup>.

La muratura perimetrale rivolta a sud — quella più adatta ad essere oggetto di una prima fase d'analisi stratigrafica — è stata rappresentata tramite la restituzione dei fotogrammi prodotti durante il rilievo fotografico. La restituzione ha riguardato le sole superfici *foto-raddrizzate* con distorcimenti limitati: la necessità di realizzare fotografie “da terra” ha infatti compromesso la chiarezza e la prospettiva dei fotogrammi relativi alle superfici superiori (l'altezza dell'edificio, unita a punti di presa ravvicinati, hanno infatti “prodotto” fotogrammi molto *distorti*, che sono stati comunque utilizzati e riportati nelle analisi successive).

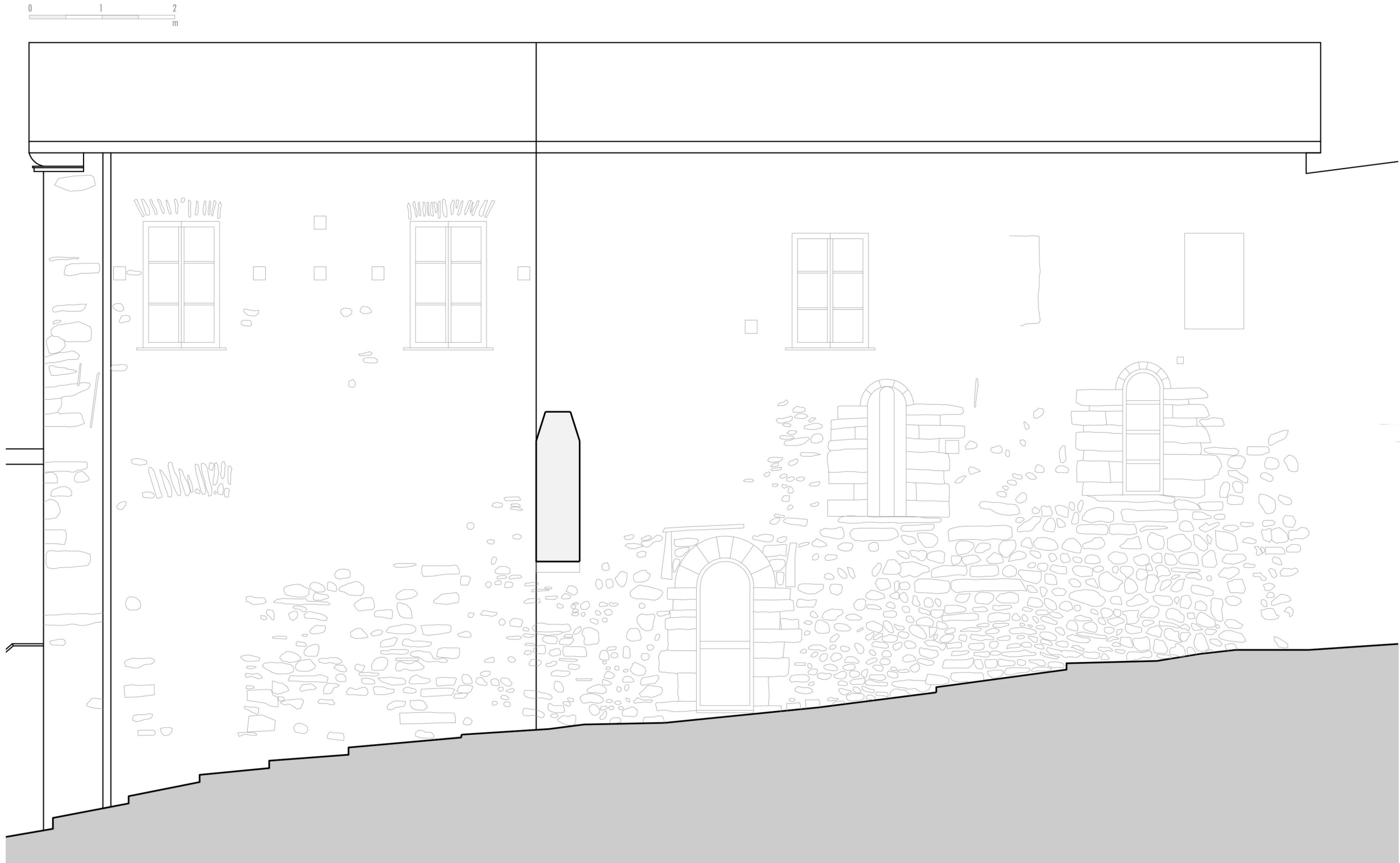
«*Il muro è un palinsesto di differenti momenti edificatori, ed è composto da sassi e ciottoli disposti a filari per buona parte ordinati*»<sup>29</sup>. Una prima analisi visiva delle superfici è stata condotta suddividendo la muratura in due parti (quella destra e quella sinistra, divise dall'*arcone* esterno), e all'interno delle quali possono essere riconosciute alcune sotto-aree che costituiscono la muratura.

Nella parte destra, l'area in basso della muratura — dove l'assenza di rivestimenti permette un'analisi visiva completa — è caratterizzata da ciottoli di diverse dimensioni non regolari; i ciottoli e i letti di malta sono ben visibili, rilevabili e riconoscibili per i differenti colori che caratterizzano gli elementi principali. Il colore della malta è pressoché continuo, tranne per le aree poste in prossimità della porta. Elementi di maggiore grandezza e di dimensione più regolare sono presenti tra le due finestre e in loro prossimità, soprattutto in corrispondenza dei davanzali. Dalle foto riportate in *Architettura gotica nella Provincia di Lecco* di Oleg Zastrow del 1992 si può notare come la tessitura muraria della muratura appaia più *evidente*, a causa del miglior stato di conservazione dei ciottoli.

---

<sup>28</sup> Ivi, p. 329.

<sup>29</sup> O. ZASTROW, *Architettura gotica nella Provincia di Lecco*, Banco Popolare di Lecco, Lecco 1992, p. 224.







**Figura 16.** Confronto dello stato di conservazione degli elementi della parete meridionale: a sx, foto da O. ZASTROW, *op. cit.*, p. 83; a dx, foto dell'Autore.

Le parti più differenti risultano proprio quelle in prossimità della porta d'ingresso (v. Fig. 16), dove il numero degli elementi rilevati è inferiore a quelli presenti nella foto precedente.

Un'altra sotto-area riconoscibile è quella tra le due finestre (v. Fig. 17), un'area di divisione fra l'area sottostante non rivestita e quella superiore. Il rilievo degli elementi e della loro dimensione è sì fortemente condizionato dalla malta e dal rivestimento ma è comunque possibile, così come evidente è la differenza fra quest'area e quella direttamente superiore.



**Figura 17.** Muratura perimetrale sud — dettaglio 1 (foto dell'Autore).

Il rilievo dell'area superiore (v. Fig. 18), quella più vicina alla copertura, è fortemente vincolato dalla distanza dell'obiettivo dalla muratura e dalla relativa distorsione dei fotogrammi. Sono rilevabili solo pochi elementi (l'eccezione è data da una porzione della muratura tra le due aperture, in corrispondenza della muratura interna ed evidente nelle due foto centrali) e la tessitura muraria appare celata, tranne nell'area a sinistra della monofora e della porta d'ingresso. Non sono evidenti piattebande o archi di scarico in corrispondenza delle aperture, mentre evidenti sono fori probabilmente relazionabili a strutture di coperture precedenti.

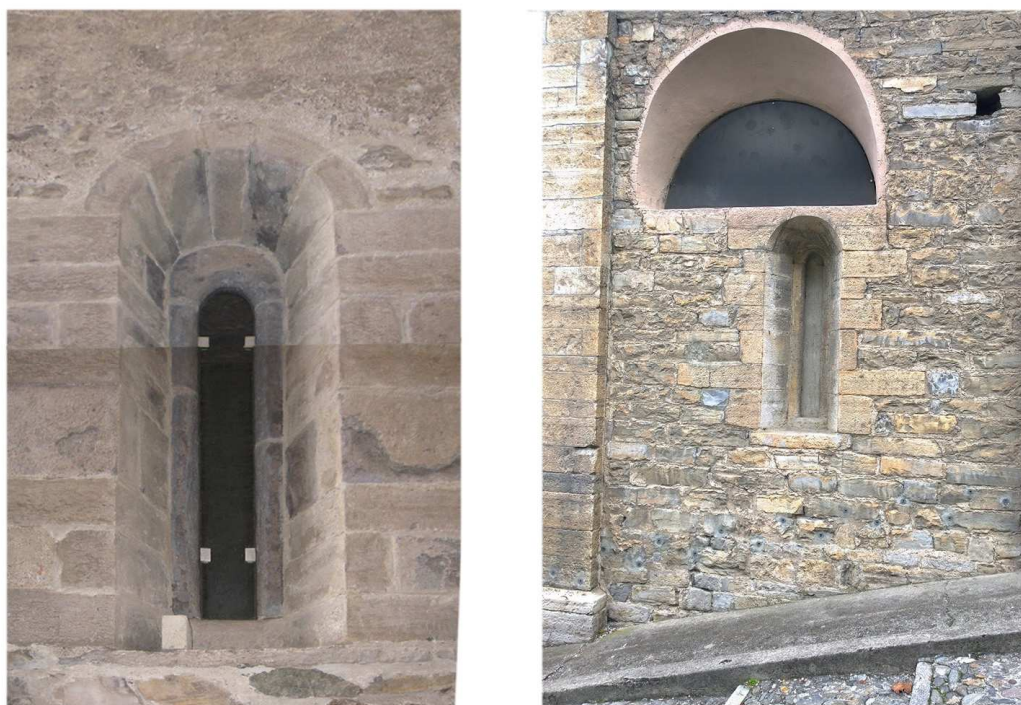


**Figura 18.** Muratura perimetrale sud — dettaglio 2 (foto dell'Autore).

Le aperture presenti nell'area inferiore (la porta d'ingresso e le due finestre) sono state definite dallo Zastrow come «*inserimenti forzati, e quindi tardivi. [...] Le formule stilistiche risultano ancora innegabilmente memori della eredità romanica, ma la tecnica costruttiva ad elementi litici accuratamente squadrate e in particolare la tipologia del profilo interno della monofora (così come l'estradosso della medesima) indicano un'epoca non sensibilmente distante dal momento tardoduecentesco segnalato dalle Rationes decimarum.*»<sup>30</sup> La datazione della monofora (e come diretta conseguenza quella *ante quem* della muratura) può essere avvalorata dal confronto stilistico e dimensionale fra la stessa e una delle aperture presenti nella chiesa dedicata ai Santi Giorgio, Nazaro e Celso a Bellano: quest'ultima è stata attribuita, sempre dallo Zastrow, «*a una fase pregotica, non coincidente con l'erezione della navata maggiore romanica*»<sup>31</sup> grazie all'analisi dei diversi moduli costruttivi fra la monofora e la muratura circostante. Analisi che può essere compiuta sull'edificio di San Nicolao in via relativa, a causa della presenza di rivestimenti murari che celano gran parte della tessitura della muratura circostante.

<sup>30</sup> *Ibid.*

<sup>31</sup> *Ivi*, p. 72.



**Figura 19.** Confronto fra la monofora di San Nicolao (a sx) e di San Giorgio, Nazaro e Celso (a dx), foto dell'Autore.

La soluzione di continuità dei rivestimenti interni e la non accessibilità all'estradosso della volta absidale non permette di stabilire eventuali segni di interruzione muraria (e quindi opere di inserimenti posteriori) in corrispondenza delle aperture superiori.

La parte sinistra presenta invece una parte inferiore nella quale la tessitura muraria è parzialmente visibile ma che presenta elementi di maggiore e più regolare dimensione rispetto a quella destra, disposti generalmente *per via* orizzontale. Gli elementi murari sono sì riconoscibili ma difficilmente rilevabili: la malta nella quale sono posti ne cela infatti i singoli limiti. È riconoscibile una sotto-area a sinistra, quasi interamente rivestita, in corrispondenza di una piattabanda in laterizio che continua fino a terra, forse legata ad un intervento conservativo compiuto sull'edificio nel 2004. La piattabanda è direttamente connessa ad un'apertura tamponata evidenziata durante i rilievi termografici: si può supporre che la tamponatura sia stata realizzata con materiale differente (laterizio) dalla muratura circostante, con elementi di dimensione regolare.



**Figura 20.** Muratura perimetrale sud — dettaglio 3 (confronto fra fotogramma esterno e termogramma interno, foto dell'Autore).

La parte superiore appare invece più omogenea, con pochi elementi rilevabili e quasi interamente rivestita. Non *appaiono* segni evidenti di divisione fra un'area inferiore e una superiore: il rivestimento superficiale è presente a partire da un'altezza paragonabile a quella nella quale *compare* nella parte destra. Sono presenti cinque forature di forma quadrata, anche questi correlabili ad una struttura di copertura lignea degli ambienti.

L'analisi della tessitura muraria può essere però condotta sulle superfici interne non rivestite (sebbene gran parte della superficie risulta rivestita). Gli elementi murari rilevabili hanno forma regolare — evidenti soprattutto nell'area in basso a sinistra; non sono rilevabili modifiche o difformità nella tessitura in prossimità delle due aperture, ma i parapetti delle finestre (*rientranti* rispetto alla superficie circostante) e le nicchie dove sono poste potrebbero far dedurre che le due aperture avessero originariamente dimensioni maggiori e che siano state successivamente e parzialmente tamponate. L'andamento delle due piattebande d'architrave è più regolare di quello rilevabile dall'esterno.



**Figura 21.** Muratura perimetrale sud — dettaglio della superficie interna (foto dell'Autore).



**Figura 22.** Muratura perimetrale sud — dettaglio 4 (foto dell'Autore).

Una maggiore attenzione è stata diretta verso alcune “aree–notevoli” della muratura, in corrispondenza delle eventuali *legature* fra le murature, in particolare dell'*arcone* esterno.

In prossimità della porta d'ingresso sono rilevabili elementi di diversa dimensione e regolarità, più grandi e regolari nella parte sinistra; la parte destra è invece caratterizzata, oltre che da elementi più piccoli e irregolari, da una malta di colore più chiaro. È già stato evidenziato come la porta possa essere un elemento aggiuntivo alla muratura, tesi forse suffragabile dalla densità degli elementi visibile (maggiore nella parte sinistra e in corrispondenza dello spigolo della muratu-

ra). Nell'area superiore il rivestimento superficiale cela pressoché senza soluzione di continuità l'intera superficie.

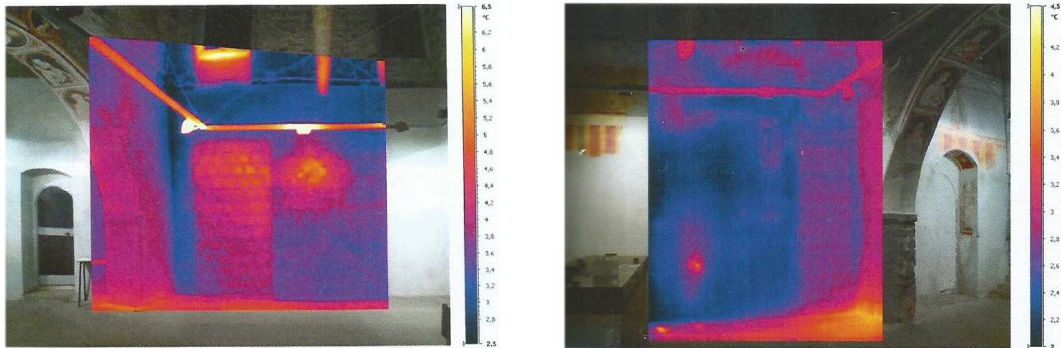
Le ultime considerazioni possono essere compiute sulle altre superfici interne "a vista". Le tessiture murarie rilevabili nelle aree superiori delle murature rivolte ad ovest e a nord e nella parete divisoria fra il primo ambiente e quello centrale sono caratterizzate da elementi di varia dimensione, regolari nelle parti inferiori e più irregolari all'aumentare dell'altezza da terra. L'allineamento degli elementi appare comunque *strutturato* nell'intera superficie con filari orizzontali regolari e riconoscibili.

Nella muratura rivolta a nord è presente una finestra contenuta in una nicchia incassata nella struttura muraria: come ipotizzato per la muratura sud è presumibile che l'apertura potesse essere più grande, successivamente tamponata e *munita* di una finestra. Nella muratura rivolta a nord sono invece visibili, fra l'area intonacata inferiore e quella superiore, i presumibili "resti" della struttura lignea orizzontale pre-esistente.



**Figura 23.** Muratura rivolta a nord (alto sx), muratura interna di divisione (alto dx) e muratura rivolta a ovest (basso), foto dell'Autore.

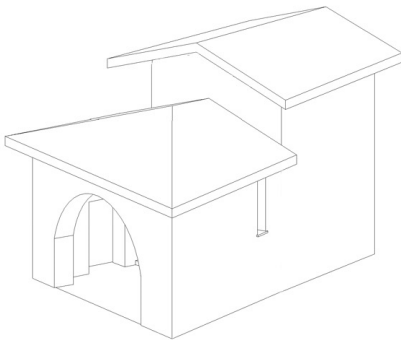
Dai rilievi termografici condotti nel dicembre 2011 sono state infine rilevate due aperture tamponate, entrambe nell'ambiente più grande, la prima nella muratura rivolta ad ovest e una in quella rivolta a est (non visibile dall'esterno).



**Figura 24.** Termogrammi delle murature ovest ed est, da C. RASICA, *op. cit.*, pp. 119–121.

Dalle considerazioni sopra riportate è stato possibile redigere una possibile *sequenza temporale* tramite la rappresentazione 3D dell'edificio. Come già specificato si tratta di un'analisi preliminare basata sulle fonti dirette e indirette e sulle conclusioni dedotte dall'analisi delle strutture murarie "a vista": le ulteriori ricerche in campo storiografico condotto negli archivi e soprattutto l'analisi più dettagliata e *ravvicinata* delle murature (condotto anche tramite il prelievo e l'analisi di campioni delle stesse) potranno essere strumenti utili per definire maggiormente la sequenza proposta.

### I fase

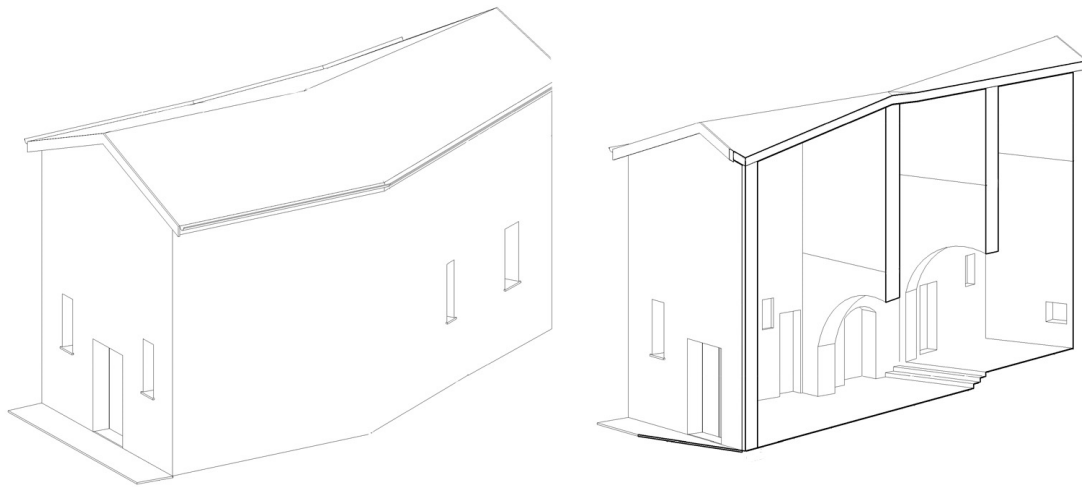


Alla fase I potrebbero appartenere il locale centrale e quello absidale. La copertura, oggi scomparsa, è stata ipotizzata a falde in base alla tipologia costruttiva più diffusa nella zona. Le altezze dei due locali sono state ipotizzate riferendosi ai diversi trattamenti superficiali rilevabili attualmente.

Si può pensare che la piccola chiesa (o cappella) fosse dedicata esclusivamente alle celebrazioni religiose del convento umiliato, e che pertanto l'ingresso avvenisse dal portalino presente nella muratura settentrionale, mentre l'arcone

ancora oggi affrescato potesse costituire il perimetro dell'edificio.

## II fase



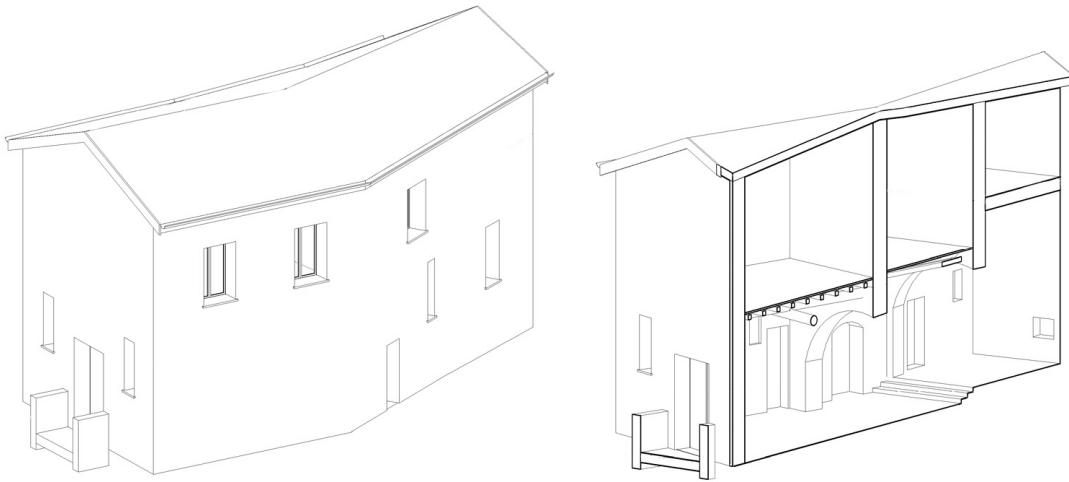
Alla fase II potrebbe appartenere la sopraelevazione dell'intero edificio e la realizzazione del terzo ambiente, *non allineato* rispetto ai primi due forse a causa della presenza di una strada. Si può pensare che il volume interno fosse unico, senza divisioni orizzontali.

L'accesso poteva avvenire o dal portalino sul lato nord già esistente o da un nuovo ingresso di maggiori dimensioni su quello ovest. Si è ipotizzato che la scala d'accesso esterna su questo lato sia stata realizzata in fasi successive (ossia quando la chiesa iniziò a svolgere una funzione *pubblica* nella comunità di Bellano, non solo *esclusiva* del convento umiliato o della successiva abbazia commendataria); in quest'ipotesi si può supporre che la scala d'accesso possa essere sostituita da un ballatoio o da un ingresso ad una quota maggiore rispetto a quella d'ambito.

Elementi sui quali sarà da porre attenzione nelle prossime campagne di ricerca sono le aperture sul lato meridionale: si è ipotizzato che le finestre superiori possano essere state aggiunte con la successiva realizzazione delle partizioni orizzontali interne.



### III fase

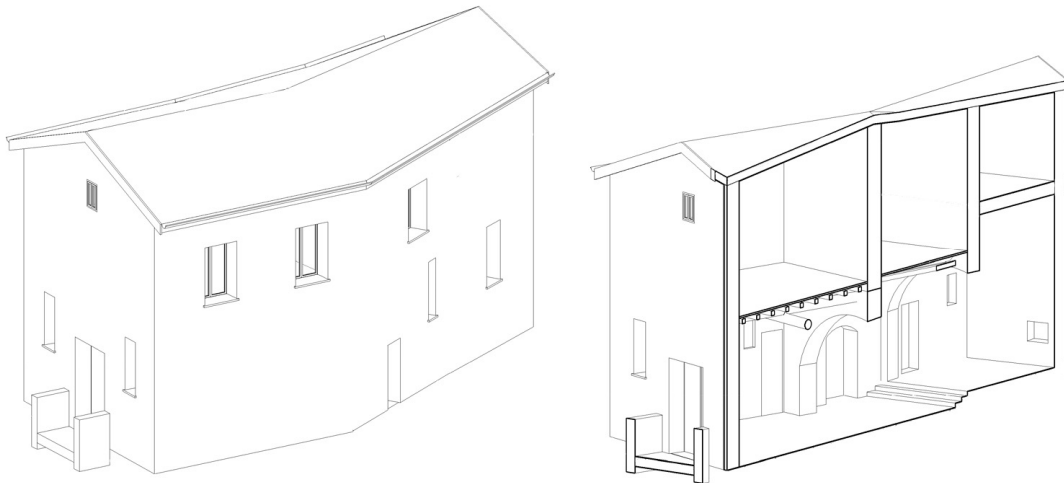


Alla fase III potrebbero appartenere la realizzazione delle aperture superiori e la divisione dei volumi interni in due parti, una inferiore ancora destinata alle funzioni religiose (condizione prevista nell'affidamento della chiesa ai nuovi "affidatari") e una superiore destinata invece a deposito, magazzino o stoccaggio dei materiali legati al nuovo vicino filatoio di seta. I rivestimenti murari presenti infatti sulle superfici più alte fanno pensare a finiture "al rustico" con intonaci dalla pezzatura medio-grande (forse paragonabili a quelli utilizzati diffusamente nel contesto per gli esterni); le aperture (dotate o meno di serramenti di chiusura) potrebbero essere quindi relazionabili a questa nuova funzione. L'accesso alle nuove strutture poteva avvenire da una scala (date le diverse funzioni superiore ed inferiore, presumibilmente esterna) e da aperture perimetrali oggi tamponate sul lato nord: si ipotizza che fosse questo il lato con accesso diretto dal filatoio.

La presenza di strutture orizzontali è ravvisabile non solo nella trave presente in chiave all'arcone affrescato, ma anche in corrispondenza della divisione fra l'area intonacata e quella superiore nella muratura nord dell'ambiente più grande, e soprattutto nelle quattro pareti dell'ambiente centrale.

Si può pensare che il nuovo ruolo *pubblico* della chiesa accorso con l'affidamento da parte dell'abbazia possa aver determinato la realizzazione di una scala *monumentale* d'accesso all'edificio dalla via pubblica e un nuovo ingresso sul lato sud.

#### **IV fase**

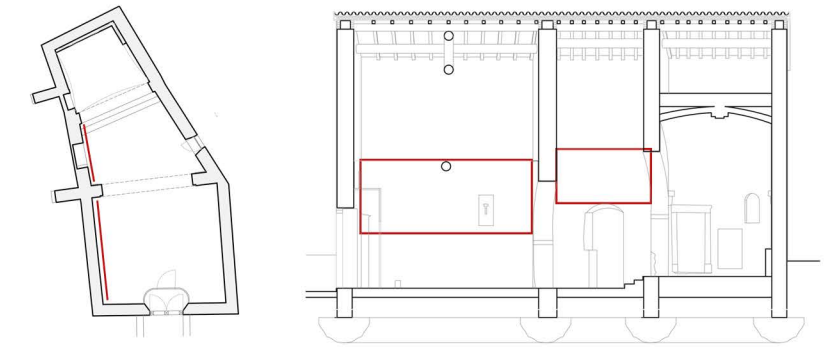


All'ultima fase potrebbero appartenere gli interventi di “ri-funzionalizzazione” legati alla sconsacrazione della chiesa, come la chiusura di nicchie, la realizzazione di scale interne per l'accesso ai solai, la loro parziale demolizione per la realizzazione di ambienti “a doppia altezza” o la realizzazione di nuove aperture per i locali superiori. L'eventuale dotazione delle aperture di serramenti o la loro parziale tamponatura può essere relazionabile alle condizioni climatiche da assicurare per l'immagazzinamento dei materiali all'interno dell'edificio.

4.4.2 La chiesa: l'architettura e l'apparato decorativo

La rappresentazione dello stato di fatto della chiesa è riportata nelle tavole 1, 2 e 3 allegate alla presente ricerca.

L'apparato decorativo è invece riportato, con una breve descrizione, più dettagliatamente nelle seguenti tavole.



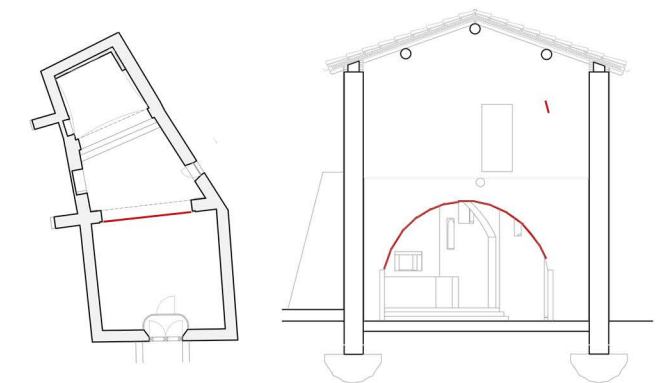
Grottesche con motivi floreali e figure di due Santi - 1530 ca

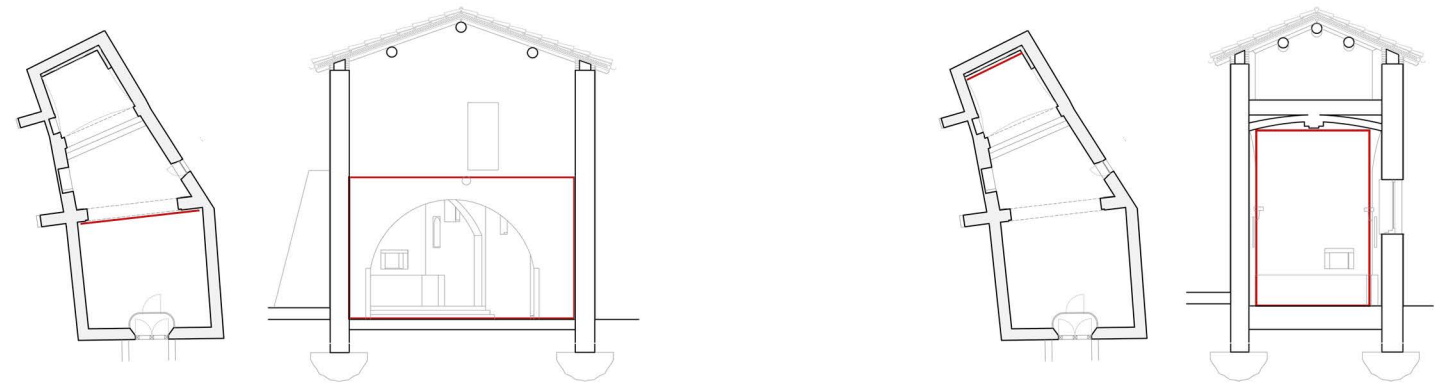


Santa Cecilia - metà XVI sec.



Arcone con Redentore e Profeti - XIV sec.





Arcone con Annunciazione e Dio Benedicente - XIV sec.

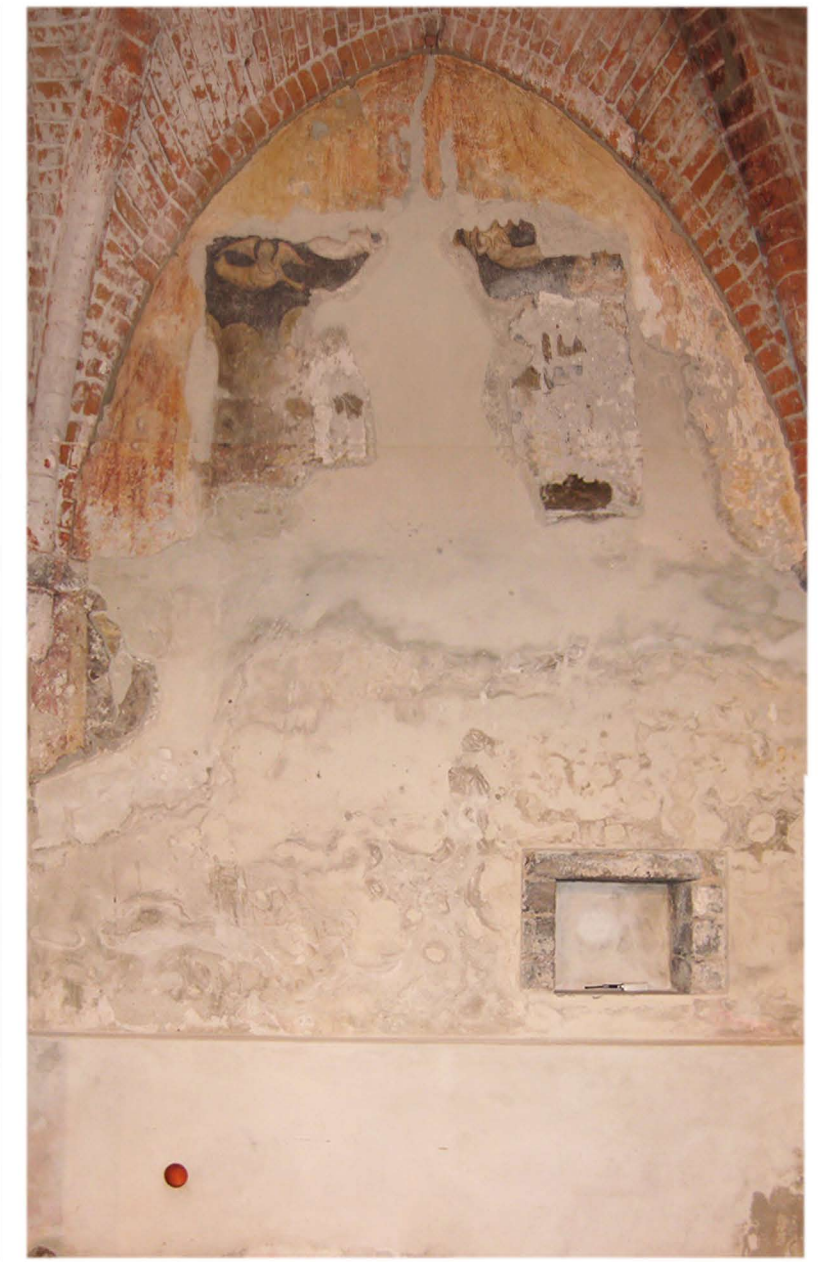
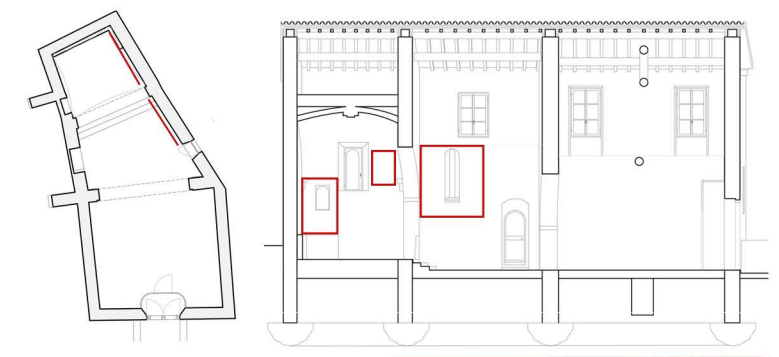
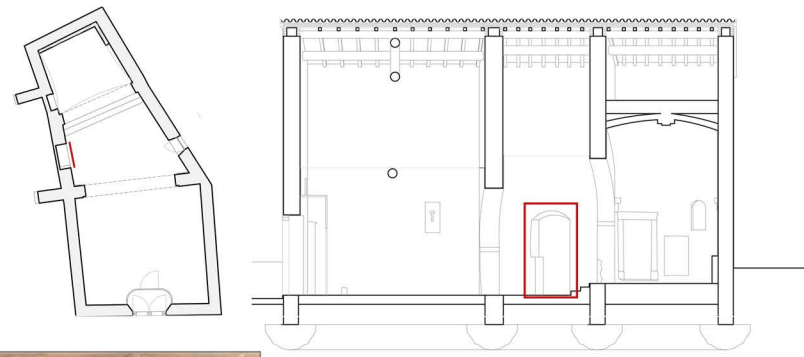


Figure di Angeli e teoria di Santi - XIV sec.



Portalino con Agnus Dei e due Sante - XIV sec.

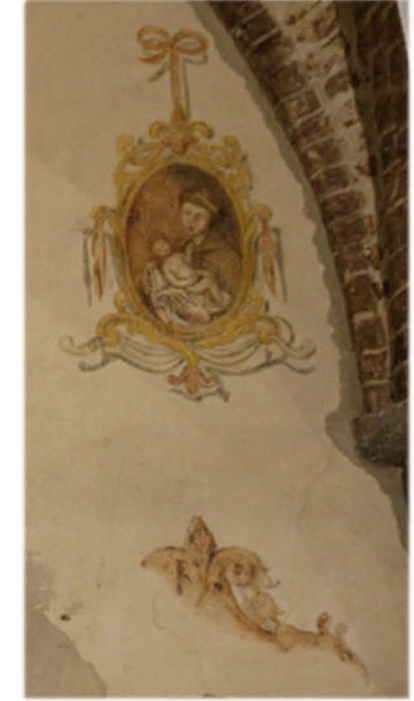


Figure di Santi - XIV sec. Santo con bambino - XVI sec.



Decorazioni - XVI sec.

Il ciclo di affreschi più antico è stato attribuito da diversi studiosi alla fine del Trecento e ad un autore operante in questo periodo conosciuto come il “Maestro di Bellano”.

Di questo artista, operoso tra la fine del XIV secolo e l'inizio del XV, proprio il ciclo dell'ex chiesa di San Nicolao è la sua opera maggiore; «*La sua personalità sensibile e raffinata, già permeata dal gusto tardogotico*»<sup>32</sup>, si può ritrovare secondo alcuni nell'Ultima Cena della chiesa di San Barnaba a Villa di Chiavenna, sul confine italo–svizzero.

*Il Rovetta, analizzando nel 1988 i dipinti, propone di considerarli “un'avanzata derivazione” dal Primo Maestro di Santa Margherita non molto distante dai Santi Apollonia e Gottardo di Corenno Plinio, pur suggerendo nel contempo un “confronto tipologico” con l'Annunciazione di San Nicolò a Lecco. [...] Per il Rossi invece le premesse del Primo Maestro di Santa Margherita vengono trasformate da un gusto linearistico e calligrafico desunto dalla cultura pittorica nata nell'ambito della corte viscontea. [...] Le vesti della Sant'Agata e dell'Angelo annunziante e le barbe appuntite e a forfecchino di Cristo e dei Profeti non lasciano dubbi sul fatto d'essere di fronte a un'opera di fine Trecento, permeata di una sensibilità in buona parte già “tardogotica”, che ambienta la scena dell'Annunciazione in un fiorito praticello e mette grande cura nel morbido, sinuoso ricadere dei panneggi.*<sup>33</sup>

Come visto, la datazione più probabile degli affreschi compiuta da diversi autori nel corso degli anni è stata compiuta ricercando delle caratteristiche comuni tra gli affreschi dell'ex chiesa umiliata e il vario e multiforme patrimonio pittorico risalente allo stesso periodo ravvisabile in molti edifici religiosi del lecchese e della Valtellina. Si può quindi supporre, con le dovute precauzioni, che lo stile personale proprio del Maestro di Bellano fosse sì riconoscibile in altre opere oggi conservate (come detto sono state attribuite opere di questo artista nell'alta Valchiavenna) ma che fosse il simbolo e il sintomo di uno stile diffuso in quel periodo nella regione, e si può forse supporre che lo stesso fosse riconosciuto valido da altri artisti/allievi e quindi riproposto in chiave personalizzata da ciascuno di essi.

Sempre Travi attribuisce alle opere del Maestro «*un frescante che adotta come mezzo privilegiato d'espressione una linea fine e incisiva, mentre i volti esangui dei suoi personaggi sono indagati talora con puntiglioso verismo ottenendo risultati anche di grande effetto, come nel sottile profilo di Giuda nell'Ultima Cena.*»<sup>34</sup>

---

<sup>32</sup> C. TRAVI, *Maestro di Bellano*, in M. GREGORI, a cura di, *Pittura in Alto Lario e in Valtellina dall'Alto Medioevo al Settecento*, Cariplo, Milano 1995, p. 221.

<sup>33</sup> Ivi, p. 222.

<sup>34</sup> Ivi, p. 12.

Gli affreschi presenti nella chiesa possono essere descritti e analizzati tramite tre loro diverse componenti (*struttura, colore e soggetti raffigurati*). Per ciascuna di esse possono essere ricercate delle analogie nelle opere coeve appartenenti al vasto patrimonio del lecchese (analogie che, come visto, sono alla base della datazione presumibile in mancanza di fonti dirette) ma non solo: secondo Travi infatti l'opera del Maestro di Bellano può essere ricondotta e riconoscibile nelle opere del Maestro di Ada Negri (attivo tra Lodi e Piacenza) e a quelle della pittura coeva bergamasca.

Le tre componenti non sono da considerare come elementi scissi l'uno dall'altro, ma molte analogie possono essere riconosciute *trasversalmente*, soprattutto per quanto riguarda l'uso dei colori.

Si riportano alcune delle opere nelle quali sono evidenziabili diverse caratteristiche comuni all'apparato decorativo oggetto di indagine. Se non diversamente indicato, tutte le foto sono tratte da M. GREGORI, a cura di, *Pittura in Alto Lario e in Valtellina dall'Alto Medioevo al Settecento*.



Maestro di Bellano, Ultima Cena, San Barnaba, Villa di Chiavenna



Maestro di S. Margherita (attivo nella metà del XIV sec.), San Gottardo, San Tommaso di Canterbury, Corenno Plinio

## STRUTTURA

La struttura compositiva degli affreschi appare differente a seconda dell'epoca di attribuzione.

Nell'affresco meglio mantenuto del ciclo trecentesco, l'Annunciazione, è evidenziabile un utilizzo di contorni e bordi di diverso colore di pregevole fattura. La struttura dell'arcone può essere visto come diviso in tre parti: una fascia basamentale corrispondente alle imposte dell'arco, una fascia di bordo e un campo con i soggetti raffigurati.

Nelle pareti con gli affreschi cinquecenteschi è ravvisabile la stessa divisione, con fasce di divisione più dettagliate e l'utilizzo di una fascia superiore di "chiusura" a motivi floreali e grotteschi.



Maestro Pietro Paolo, Giudizio Universale, Santa Maria del Tiglio, Gravedona



Chiesa di SS. Giorgio, Nazaro e Celso, Bellano (foto dell'Autore)



Vincenzo de Barberis, profilo femminile e grotteschi, Palazzo Besta, Teglio

## COLORI

Negli affreschi trecenteschi e cinquecenteschi è evidente l'utilizzo di quattro colori "base": il rosso, l'oro, il blu e l'azzurro.

L'utilizzo dei colori è variabile: nel caso dell'Annunciazione il *campo* è di colore blu con un contorno verde, mentre negli tondi cinquecenteschi il rosso e l'oro sono utilizzati più diffusamente sia nella struttura geometrica di base sia per le fasce di suddivisione fra i *campi*.



Pittore di inizio XIII sec., Apostoli Pietro, Andrea e Giovanni, San Nicolao, Piona

Pittore appartenente alla famiglia Zavattari (?), Madonna in trono, S. Antonio, Vendrognio



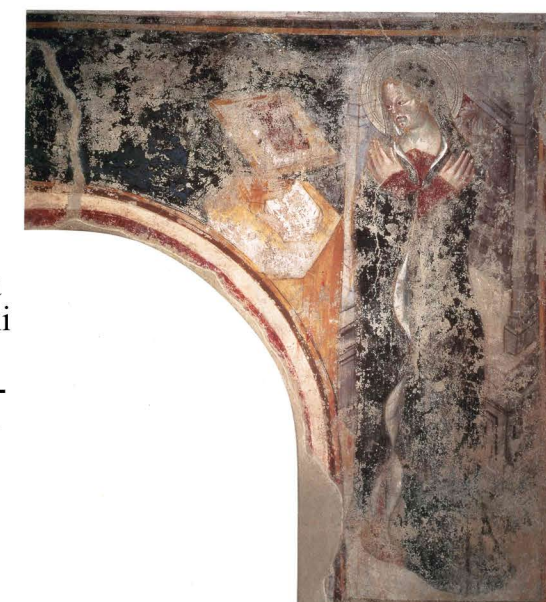
Pittore della metà del Quattrocento, Madonna in trono con Santi, Madonna della Campagna, Ponte in Valtellina

## SOGGETTI

I soggetti raffigurati in San Nicolao richiamano quelli di opere riconoscibili in altri edifici.

L'Annunciazione, i Profeti dell'intradosso del primo arcone, le due Sante e l'Agnello del portalino e i Santi raffigurati nei tondi cinquecenteschi sono soggetti comuni non solo ovviamente alla regione lecchese ma diffuse in larga misura nel patrimonio religioso di ogni epoca.

I Santi raffigurati nei tondi cinquecenteschi sono invece apparentemente legati alla confraternita degli Umiliati o alla successiva abbazia commendataria.



Pittore attivo nel primo decennio del XIV sec., Vergine Annunziata, Palazzo Besta, Teglio



Pittore di fine Quattrocento, Sposalizio mistico di S. Caterina con S. Apollonia, S. Agata e confratelli, S. Caterina di Corlazzo, Traona





## 5. IL MONITORAGGIO MICROCLIMATICO E LA MISURA DEL CONTENUTO UMIDO NELLE MURATURE

### 5.1 Obiettivi

*Conservare* un edificio storico significa creare le condizioni ambientali idonee per il mantenimento delle strutture architettoniche, degli apparati decorativi e degli oggetti in esso contenuti. È innegabile che il microclima di un edificio sia di fondamentale importanza per l'attivazione, la velocità e lo sviluppo dei processi fisici, chimici e biologici di degrado che possono colpirlo.

Tra le diverse indagini preliminari utili per descrivere lo “stato di conservazione” di un edificio (come rilievi geometrici, analisi storiche, rilievi materici e delle strutture, studio dello stato di degrado), un metodo per analizzare e studiarne la *fisica* è quello che consiste appunto nel monitoraggio del microclima interno, nell'analisi delle variazioni delle sue componenti principali (temperatura, umidità relativa, umidità specifica) e nella misura e nel monitoraggio del contenuto umido delle murature, strumenti utili per definire non solo la tipologia di degrado in atto ma anche il suo grado di *criticità*.

La campagna di monitoraggio nella chiesa di San Nicolao è stata condotta su due fronti: nella prima parte di questo capitolo è descritto il monitoraggio in continuo del microclima, nella seconda la misura del contenuto umido delle murature realizzata in un punto specifico dell'edificio. La durata prevista della campagna, iniziata nel giugno 2015, è di tre anni: nel capitolo sono riportate le modalità e le strumentazioni utilizzate nel periodo compreso fra giugno 2015 e aprile 2016.

Prima di descrivere gli strumenti e le metodologie utilizzate, riteniamo utile analizzare il significato di *contenuto umido* delle murature e le sue possibili definizioni.

### 5.2 I metodi di misurazione del *moisture content*

Nel campo della conservazione degli edifici storici, fondamentale importanza assume l'analisi del rapporto fra l'umidità relativa dell'aria *UR* e il *moisture content MC* — ossia il contenuto umido dei materiali da costruzione, definito dalla loro igrofilicità e variabile con la loro temperatura e con l'UR ambiente.

Alcuni materiali interagiscono naturalmente con l'ambiente in misura maggiore o minore in base alle proprie caratteristiche fisiche: ad esempio, in presenza di alti livelli di UR, materiali come il legno o la carta *assorbono* acqua dall'ambiente aumentando di volume, mentre si *restringono* cedendo molecole d'acqua nel caso contrario. «Un equilibrio dinamico si stabilisce tra il livello di

*umidità relativa nell'aria (il fattore forzante) e il MC dei materiali (l'effetto)»<sup>1</sup>. Questo rapporto è però spesso condizionato da altri specifici fenomeni, e in alcuni casi il MC è correlato a condizioni diverse — come ad esempio la condensazione superficiale del vapore acqueo dell'aria, la presenza di sali igroscopici e il loro assorbimento di acqua, l'inerzia dovuta al riscaldamento e il coefficiente di diffusione del MC all'interno del materiale al cambiamento dell'UR ambientale o di temperatura del materiale, la presenza di risalita capillare. In tutti questi casi la misura del MC, non più direttamente (ed esclusivamente) correlabile all'UR ambientale, risulta necessaria.*

La normativa europea stabilisce tramite diverse norme<sup>2</sup> non solo il rapporto tra UR e MC, ma anche i metodi di misura di temperatura e umidità. A questo si aggiunga che non tutti i metodi di misura del MC oggetto della manualistica per gli edifici di nuova costruzione (con destinazione anche non residenziale), pur essendo non distruttivi o invasivi, sono utilizzabili nel campo dell'edilizia storica a causa dell'ottenimento di risultati strumentali in *unità arbitrarie* (UA), per i quali cioè sono necessarie adeguate *interpretazioni* e *calibrazioni* per poter essere riferite al MC.

### 5.2.1 *Per una definizione di MC*

Primo punto da investigare è la definizione il più possibile precisa di MC, aspetto assente nelle diverse norme di standardizzazione.

Dal punto di vista fisico il MC può essere definito come «*la quantità d'acqua rilevata, in un dato momento e in un dato materiale, come risultato degli scambi tra il materiale e l'ambiente*», ma l'utilizzo del termine *scambi* preclude questa definizione a taluni materiali. Una seconda definizione può essere la seguente: il MC «*è pari alla quantità d'acqua di origine esterna contenuta in un materiale non solubile, aggiuntiva rispetto a quella presente chimicamente nella sua composizione*», ma è applicabile ai soli materiali non solubili.

Analizzare il rapporto fra l'acqua contenuta in un materiale e i legami che la trattengono alla sua struttura appare di notevole importanza: i diversi materiali possono possedere acqua al loro interno in almeno tre modi (l'acqua è definibile, in ordine di “forza di legame”, come *libera*, *legata* e *strutturale* o *cristallina*). Oggetto di scambio tra materiale e ambiente non è però solo quella *libera*: nel legno ad esempio l'acqua scambiata a seguito della modifica dell'UR è quella *legata*, mentre alcuni minerali (come il gesso o la magnesite) sono *de-* e *re-*idratati

<sup>1</sup> D. CAMUFFO e C. BERTOLIN, *Towards standardisation of moisture content measurement in cultural heritage materials*, p. 23. Testo originale: «A dynamic equilibrium is established between the RH level in the air (the “forcing factor”) and the MC in materials (the effect)», traduzione dell'Autore.

<sup>2</sup> Ad esempio: EN 15757: 2010 (*Conservation of cultural property — Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials*); EN 15758: 2010 (*Conservation of cultural property — Procedures and instruments for measuring temperatures of the air and the surfaces of objects*); EN 16242: 2012 (*Conservation of cultural property — Procedures and instruments for measuring humidity in the air and moisture exchanges between air and cultural property*), a cura dell'European Committee for Standardisation, Technical Committee for Cultural Heritage (CEN TC346).

della loro acqua *strutturale*. In definitiva, tutti e tre i *tipi* d'acqua possono essere giudicati “scambiabili” con l'ambiente per il raggiungimento di un equilibrio.

Altre due diverse definizioni si basano sulla quantità d'acqua totale  $m_w$  assorbita da un materiale di volume  $V$  e massa secca  $m_d$ .

Il rapporto *gravimetrico* è quello della quantità d'acqua riferita all'unità di massa, ed è indipendente dalla sua distribuzione all'interno del materiale; è un metodo che consiste nella pesatura di un campione prima e dopo la sua completa essiccazione (la quantità d'acqua è pari alla differenza delle due misure di peso), e si basa sul rapporto fra la massa d'acqua contenuta e quella del materiale contenente. Il rapporto *volumetrico* è invece relativo alla quantità riferita all'unità di volume, e dipende dalla distribuzione dell'acqua all'interno del materiale; le relative misure coinvolgono l'interazione di un fascio di particelle o di radiazioni (ad esempio, campi elettromagnetici, ultrasuoni, ecc.) con le molecole d'acqua

Per materiali completamente omogenei, con determinate proprietà e per specifici scopi (ad esempio commerciali o industriali), la scelta tra i due metodi è arbitraria. In campo storico invece il metodo *gravimetrico* è generalmente preferibile a causa della sua indipendenza dal volume dell'elemento (utile per i manufatti, ad esempio lignei, con volumi apparenti diversi da quelli reali). La normativa europea attraverso numerose norme<sup>3</sup> stabilisce diversi metodi di misura del MC, sintetizzabili nelle tre categorie della pesatura, della conduttività elettrica e della capacità elettrica; la normativa però non stabilisce quale delle tre è la preferibile, e nel campo dell'edilizia storica ognuna di esse presenta pregi e difetti. Oltretutto, la prima genera risultati assoluti, le seconde dati relativi.

Alcune norme dell'organismo statunitense ASTM (*American Society for Testing and Materials*) sono invece maggiormente chiare sotto questo punto di vista. La norma D4442-07 *Standards test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-based materials* stabilisce che:

*Il metodo della gravimetria oven-dry, al quale è riconosciuto il più alto grado di accuratezza, è definito come metodo primario ed è raccomandato come “termine di paragone” per la calibrazione di altri metodi. Altri procedimenti, ad esempio quello della resistenza capacitiva, o la distillazione, sono considerati secondari e il loro utilizzo è ammesso nel caso in cui i risultati siano calibrati per comparazione con la gravimetria con misurazioni dirette, così come indicato nelle norme. Il metodo oven-dry è da intendersi come l'unico metodo primario. I metodi secondari sono utili per obiettivi particolari, o nelle circostanze in cui l'utilizzo di quello primario non sia giustificato<sup>4</sup>.*

---

<sup>3</sup> Ad esempio: EN 322: 1993 (*Wood-based panels — Determination of moisture content*); EN 13183-1: 2002 (*Moisture content of a piece of sawn timber — Determination by oven dry method*); EN 13183-2: 2002 (*Moisture content of a piece of sawn timber — Estimation by electrical resistance method*); EN 13183-3: 2002 (*Moisture content of a piece of sawn timber — Estimation by capacitance method*).

<sup>4</sup> D. CAMUFFO e C. BERTOLIN, *op. cit.*, p. 25. Testo originale: «Oven-dry gravimetry is recognised to provide the highest accuracy and is defined as the “primary” method, recommended as a reference for calibration of other methodologies. Other methods, e.g. capacitive resistive, distillation, are considered “secondary” and are allowed in the case that the meters are calibrated by comparison with gravimetry with direct measurement as indicated in the standard. The oven-dry method is intended as the

### 5.2.2 Il metodo gravimetrico (oven-dry method) e i metodi secondari

Sulla base di alcune norme europee e statunitensi sopra citate (ad esempio, la EN 322: 1993, la EN 13183-1: 2002, l'ASTM D4442-07 e l'ASTM D2216-10), la percentuale di MC può essere calcolata tramite la formula:

$$M_C [\%] = \left[ \frac{(m_H - m_0)}{m_0} \right] \times 100$$

dove  $m_H$  è la massa iniziale del campione e  $m_0$  è quella del campione essiccato ad una temperatura di  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  fino al raggiungimento di una massa costante<sup>5</sup>. La temperatura può essere inferiore nel caso in cui, alla temperatura massima prevista, materiali instabili possano *de-idratarsi* lentamente o materiali organici possano decomporsi, e possono pertanto essere utilizzati essiccatori a temperatura ambiente.

Il risultato ottenuto, espresso in percentuale, è una lettura assoluta: riguarda pertanto le molecole d'acqua *libera*, indipendentemente dalla densità del materiale e da come le molecole siano distribuite nel volume del materiale. Si tratta però di un metodo invasivo e distruttivo, ed è pertanto da escludere nel caso di edifici storici: «*D'altro canto però può essere considerato come uno strumento da utilizzare una tantum, per il quale è necessario un numero limitato di campioni il cui sacrificio è giustificato dal vantaggio di ricavare una curva di calibrazione valida per sempre. Questo assunto è supportato dall'analogia con la medicina, dove un'analisi invasiva può risultare necessaria per salvare una vita*»<sup>6</sup>.

Un secondo metodo è quello del *carburo di calcio* (conosciuto anche come *CM test*), nel quale si misura la pressione dell'acetilene creato dalla reazione tra l'umidità presente nei campioni (di muratura, pietra o terra) con il carburo di calcio. Anche in questo caso le letture sono assolute — confrontabili, seppur tramite una metodologia poco precisa, con le percentuali del metodo gravimetrico — e il metodo è distruttivo.

Di seguito si vogliono invece descrivere sommariamente alcune metodologie di misura di tipo *volumetrico*, le quali benché non invasive o non distruttive producono risultati relativi.

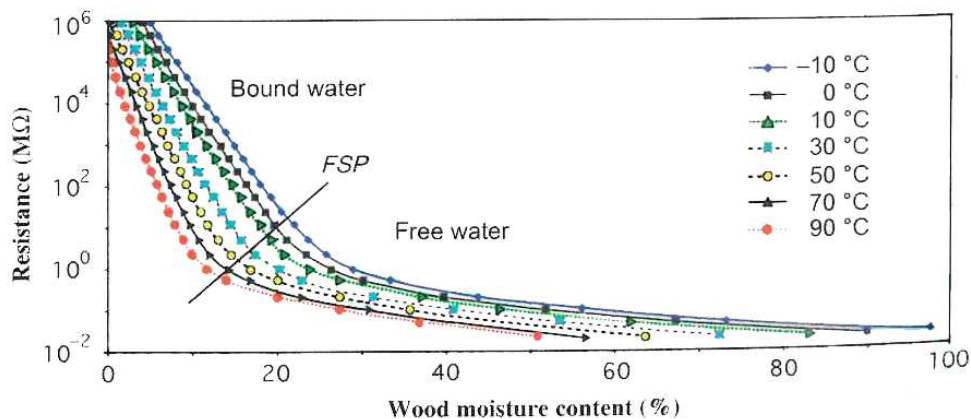
---

*sole primary method. The secondary methods are intended for special purposes or in circumstances where the primary procedure is not desired or justified*», traduzione dell'Autore.

<sup>5</sup> La definizione di "massa costante" riguarda l'acqua «*estraibile fino al raggiungimento dell'equilibrio*», ossia finché il materiale abbia perso tutta l'acqua (o siano necessarie maggiore energia o maggiori temperature per il rilascio di altre molecole d'acqua in caso i legami siano più forti).

<sup>6</sup> D. CAMUFFO e C. BERTOLIN, *op. cit.*, p. 30. Testo originale: «*However, one could consider that instrument calibration is needed only once, and needs only a limited number of specimens and the sacrifice of a few samples is justified by the advantage of having a calibration curve that is valid forever. This thought is supported by analogy with medicine, where an invasive analysis may be necessary to save a life*», traduzione dell'Autore.

° Conduttività elettrica: gli strumenti *conduttivi* o *resistivi* misurano la corrente elettrica generata da due elettrodi a contatto o da due sensori sub-superficiali (generalmente ad una profondità compresa tra 1 mm e 10 cm). Nei materiali *regolari*<sup>7</sup> la misura varia al variare del MC e del gradiente d'acqua superficiale, e l'accuratezza della lettura è inversamente proporzionale al MC. Nel caso di letture nello strato sub-superficiale possono sorgere problemi in presenza di gradienti d'acqua: se lo strato sub-superficiale è più secco dello strato sottostante, la lettura è più influenzata dal primo, mentre se il contenuto umido è distribuito in modo omogeneo in profondità, il risultato potrebbe essere leggermente incrementato all'aumentare della profondità. Se infine l'interno è più umido della superficie, la lettura sarà incrementata tanto quanto i sensori raggiungono gli strati interni più umidi. Le misurazioni sono altresì influenzate sia dalla presenza di sali solubili sia soprattutto dalla presenza di efflorescenze e subflorescenze (a seconda del tipo di sali, i picchi di lettura sono maggiori o minori). Nel legno (v. Fig. 16) ad esempio le misure dipendono dalla direzione delle fibre, dalla presenza di rotture o di insetti (che appaiono meno umide), o da trattamenti con cere od oli.



**Figura 25.** Rapporto tra resistenza elettrica nel legno e MC. I valori variano regolarmente, e diminuiscono in presenza di acqua di legame. Dopo il punto di saturazione delle fibre (FSP), il meccanismo subisce una variazione repentina a causa della presenza crescente di acqua *libera*, da D. CAMUFFO, *op. cit.*, p. 456.

° Capacità (o capacitanza) elettrica: gli strumenti *capacitivi* o *dieletrici* misurano la variazione di capacità generata dalla presenza di acqua rilevata (a distanza ravvicinata) dagli elettrodi, posti anche in questo caso a contatto o negli strati sub-superficiali: maggiore è l'uniformità del MC, maggiore è l'affidabilità delle misure. Anche in questo caso l'accuratezza diminuisce con alti valori di MC, ed è influenzata dal tipo di materiale: nelle murature ad esempio, la capacità è tendenzialmente indipendente dal contenuto di sali, eccetto quelli deliquescenti,

<sup>7</sup> Un materiale *regolare* è quello con le stesse proprietà fisiche (ad esempio, conduttività termica ed elettrica, densità, calore specifico, spessore), del quale cioè la composizione chimica e la struttura molecolare sono note e omogenee.

e la presenza di efflorescenze influenza debolmente le letture. Il metodo è influenzato dalla presenza di cavità, discontinuità interne o di elementi metallici, o di sottili pellicole d'acqua formate da condensazione che possono operare come *schermi* del campo elettromagnetico. Nel legno gli elettrodi possono essere posizionati a contatto con qualsiasi direzione rispetto a quella delle fibre, e le letture dipendono dalla densità e dalla presenza di vuoti; i nodi sono letti come picchi di valore del MC (cambio di densità), mentre le cavità come decrementi.

° **Microonde:** quando un fascio di microonde attraversa un materiale ed incontra molecole d'acqua, l'interazione genera alle prime una perdita di energia. L'attraversamento delle onde dipende dallo strumento, dall'elemento *medium* (l'oggetto o l'elemento *sotto* analisi) e dal MC, e per l'utilizzo di questo metodo sono necessari due accorgimenti: 1) l'antenna emittente/ricevente deve essere abbastanza vicina all'elemento *medium* per poter evitare l'attenuazione delle onde dovuta alla dispersione e all'interferenza dal fascio in arrivo con quello riflesso dalla superficie dell'oggetto; 2) l'oggetto *medium* deve essere profondo tanto quanto la *profondità di estinzione* del raggio, perché le onde devono essere completamente assorbite dal materiale.

Le microonde sono esponenzialmente attenuate durante il loro attraversamento del *medium*: il coefficiente di estinzione aumenta con il MC e varia al variare della frequenza delle onde e da materiale a materiale, mentre anche nello stesso materiale il coefficiente dipende dal MC e dalla *texture* interna. Lo strato superficiale e sub-superficiale influenzano le onde maggiormente rispetto agli strati più interni, e le letture possono essere difficoltose in caso di gradienti umidi. Anche in questo caso i vuoti e le cavità possono presentare molti problemi.

° **Risonanza magnetica nucleare (NMR):** quando un campo magnetico alla frequenza delle radioonde colpisce molecole d'acqua contenute in un materiale, gli atomi di idrogeno, *eccitati e rilassati*, emettono un segnale caratteristico. La misura di questo segnale permette sia la stima del numero di atomi di idrogeno presenti sia una misura assoluta del MC (la mobilità dell'acqua *libera* è alta quanto quella dell'acqua di legame): il metodo è accurato e può essere confrontato alla gravimetria per calibratura.

In conclusione i metodi secondari hanno il pregio di non essere invasivi o distruttivi ma le letture e i dati risultanti espressi in unità assolute sono difficilmente comparabili con quelli ottenuti tramite il metodo gravimetrico, e nel caso gli strumenti siano *calibrati* per comparazione con quest'ultimo, sorgono comunque dei problemi. Ad esempio, la calibratura non può essere utilizzata simulando le condizioni storiche tramite materiali disponibili in commercio "invecchiati", ai quali sono stati impressi *invecchiamenti*, alterazioni, deterioramenti, trasformazioni interne ed esterne o perdite di densità (tramite formazione di cavità, corrosioni, ossidazioni, ecc.). Questi materiali — risultato di procedimenti industriali di selezione e standardizzazione — sono infatti utilizzati e realizzati principalmente per scopi industriali e hanno proprietà fisico-chimiche ben precise, spesso regolate dalla standardizzazione.

### 5.2.3 L'equilibrio dell'UR: il metodo proxy

Altro metodo utilizzabile ma comunque invasivo è il *metodo proxy* che sfrutta “l'equilibrio dell'UR” e riguarda la variabilità della pressione del vapore acqueo raggiunta, ad una data temperatura, prima della saturazione. All'interno di mura-  
ture o in pietre porose infatti

*il contenuto umido esistente esercita una pressione di vapore parziale corrispondente ad una particolare frazione del massimo livello determinato, a qualsiasi temperatura, dalla pressione di saturazione dell'acqua pura. Questa pressione è comunemente espressa in termini di “acqua libera” o “attività d'acqua” dopo esser stata normalizzata in termini di pressione di saturazione dell'acqua pura ed espressa in percentuale. [...] Questa variabile rappresenta la quantità d'acqua scambiabile con l'ambiente circostante fino al raggiungimento dell'equilibrio*<sup>8</sup>.

I sensori proxy «misurano in maniera indiretta una quantità non osservabile direttamente. Sebbene un proxy sia inadatto a fornire una misura diretta della quantità data, è comunque fortemente correlata a quest'ultima e potrebbe rappresentare, o sostituire, la variabile desiderata»<sup>9</sup>, un principio valido anche nel caso della sostituzione di campioni. Nel caso di una cavità ricavata in una muratura, o in una piccola camera esterna sigillata fissata sulla superficie del materiale, l'UR dell'aria della piccola cavità può essere correlata al MC del materiale, e i suoi cambiamenti registrati da un sensore inserito all'interno della cavità o della camera.

È un metodo valido e utile per registrare il MC nel tempo. Il range misurato con questo metodo è però solo una minima parte di quello misurato con il metodo gravimetrico: «La saturazione del vapore acqueo (con UR pari al 100%) è raggiunta quando all'interno dei pori si forma una pellicola d'acqua allo stato liquido, rimanendo vuoti. Non è però possibile fornire ulteriori informazioni quando invece i pori si riempiono progressivamente d'acqua allo stato liquido e il materiale diviene sempre più pesante, contenente cioè sempre più acqua»<sup>10</sup>.

---

<sup>8</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for Cultural Heritage. Conservation, Restoration and Maintenance of Indoor and Outdoor Monuments*, Elsevier, Amsterdam 2014, p. 463. Testo originale: «The existing moisture exerts a partial vapour pressure that is a particular fraction of the maximum level determined, for each temperature, by the saturation pressure of pure water. This pressure is commonly expressed in terms of “free water” or “water activity” after it has been normalized in terms of pure water saturation pressure and is expressed in percentage. [...] This variable is representative of the water content exchangeable with the surrounding environment until the equilibrium will be reached», traduzione dell'Autore.

<sup>9</sup> Ivi, p. 462. Testo originale: «A “proxy sensor” is one that is used to indirectly measure a directly unobservable quantity of interest. Although a proxy is unable to provide a direct measure of the desired quantity, it is strongly related to it and may represent, or even substitute the desired variable», traduzione dell'Autore.

<sup>10</sup> D. CAMUFFO e C. BERTOLIN, *op. cit.*, p. 30. Testo originale: «Water vapour reaches saturation (i.e. RH=100%) when a film of liquid water forms inside pores, the pores still being empty. It is not possible to provide any information about when the pores are progressively filled with liquid water and the material becomes heavier and heavier, being increasingly soaked with water», traduzione dell'Autore.

### 5.3 Il metodo gravimetrico: la strumentazione e la sua taratura

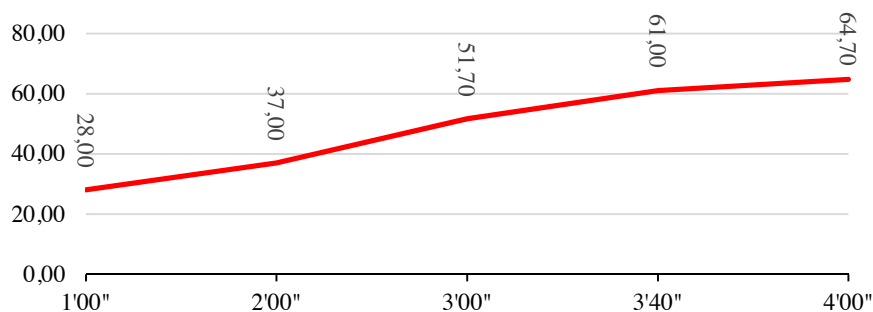
Prima di trattare dei sistemi di misura del contenuto umido delle murature è necessario riportare le considerazioni effettuate prima dell'utilizzo "in campo" degli strumenti utilizzati per il metodo ponderale.

Essendo questo metodo basato sulla pesatura di campioni prima e dopo la loro essiccazione è innegabile l'importanza della perfetta taratura della strumentazione utilizzata. Prima della realizzazione delle misurazioni è stata pertanto compiuta una verifica della *precisione* della termobilancia portatile in dotazione al Laboratorio (bilancia A) tramite delle misurazioni comparate con una seconda termobilancia (bilancia B) in uso presso il Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano. Le pesate comparate sono state condotte in laboratorio su campioni di laterizio (non prelevati dall'edificio monitorato) debitamente inumiditi, asciugati manualmente con carta e ridotti in polvere e frammenti.

Sono state condotte nove indagini:

1. prova di taratura della bilancia A, tramite la pesatura di singoli pesi *campione* di valore noto (1 grammo, 2 grammi, 5 grammi, 10 grammi) e la verifica delle letture. La bilancia ha dato letture esatte.
2. Misura tramite termocoppia della temperatura "d'esercizio" della bilancia A in funzione per l'essiccazione di un campione di laterizio, impostando la temperatura della bilancia a 100°C e interruzione automatica dell'essiccazione. L'indagine ha dato le seguenti letture:

Tempo $t$ (min.)	Temperatura $T$ (°C)
0'00"	28,00
1'00"	37,00
2'00"	51,70
3'00"	61,00
4'00"	<b>64,70</b>
Interruzione automatica	

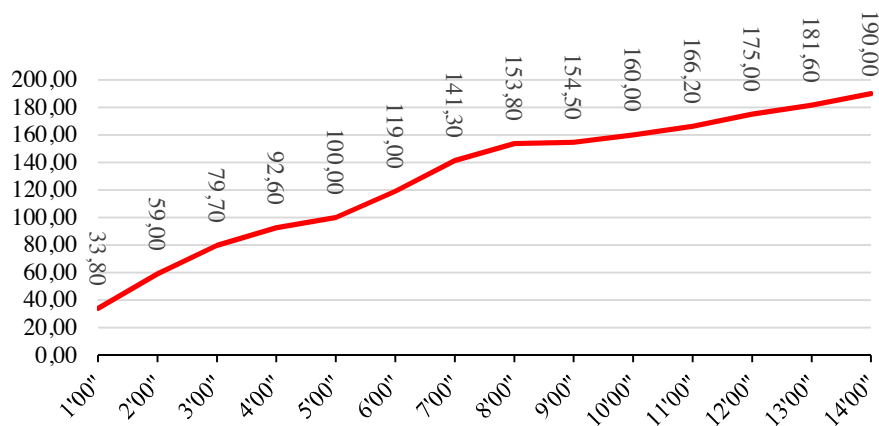


Come si può notare la termobilancia ha interrotto l'essiccazione del campione ad una temperatura molto inferiore dei 100°C impostati in avvio.



3. Misura tramite termocoppia della temperatura “d’esercizio” della bilancia A durante l’essiccazione di un campione di laterizio, impostando la temperatura d’esercizio a 100°C e durata dell’essiccazione di 15 minuti. L’indagine ha dato le seguenti letture:

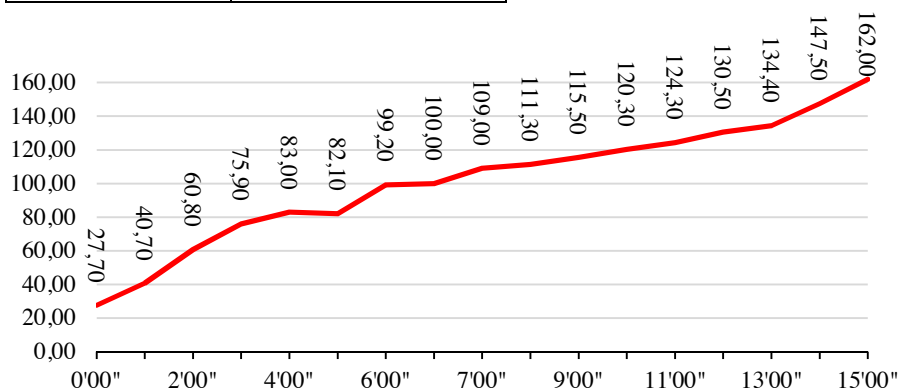
Tempo $t$ (min.)	Temperatura $T$ (°C)
1'00"	33,80
2'00"	59,00
3'00"	79,70
4'00"	92,60
5'00"	100,00
6'00"	119,00
7'00"	141,30
8'00"	153,80
9'00"	154,50
10'00"	160,00
11'00"	166,20
12'00"	175,00
13'00"	181,60
14'00"	<b>190,00</b>
Interruzione	



Come si può notare, l’essiccazione è durata 15 minuti (durata prestabilita) ma la temperatura di esercizio ha superato in maniera sensibile i 100°C impostati.

4. Misura tramite termocoppia della temperatura "d'esercizio" della bilancia A senza campioni, impostando la temperatura della bilancia a 100°C e durata dell'essiccazione di 15 minuti. L'indagine ha dato le seguenti letture:

Tempo $t$ (min.)	Temperatura $T$ (°C)
0'00"	27,70
1'00"	40,70
2'00"	60,80
3'00"	75,90
4'00"	83,00
5'00"	82,10
6'00"	99,20
6'12"	100,00
7'00"	109,00
8'00"	111,30
9'00"	115,50
10'00"	120,30
11'00"	124,30
12'00"	130,50
13'00"	134,40
14'00"	147,50
15'00"	<b>162,00</b>
Interruzione	

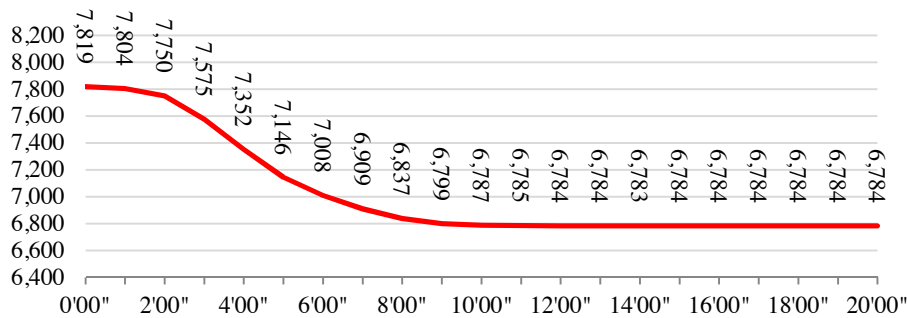


Si può notare come anche in questo caso la temperatura raggiunta durante il periodo impostato di funzionamento superi i 100°C (temperatura raggiunta già al settimo minuto).

5. Pesata comparata n. 1: la bilancia A è stata impostata sulla temperatura di esercizio di 100°C, durata dell'essiccazione di 90 minuti e unità di misura delle letture in grammi-peso. La bilancia A ha dato le seguenti letture:

Tempo <i>t</i> (min.)	Peso (g)
0'00"	7,819
1'00"	7,804
2'00"	7,750
3'00"	7,575
4'00"	7,352
5'00"	7,146
6'00"	7,008
7'00"	6,909
8'00"	6,837
9'00"	6,799
10'00"	6,787
10'00"	6,787

Tempo <i>t</i> (min.)	Peso (g)
11'00"	6,785
12'00"	6,784
13'00"	6,784
14'00"	6,783
15'00"	6,784
16'00"	6,784
17'00"	6,784
18'00"	6,784
19'00"	6,784
20'00"	<b>6,784</b>



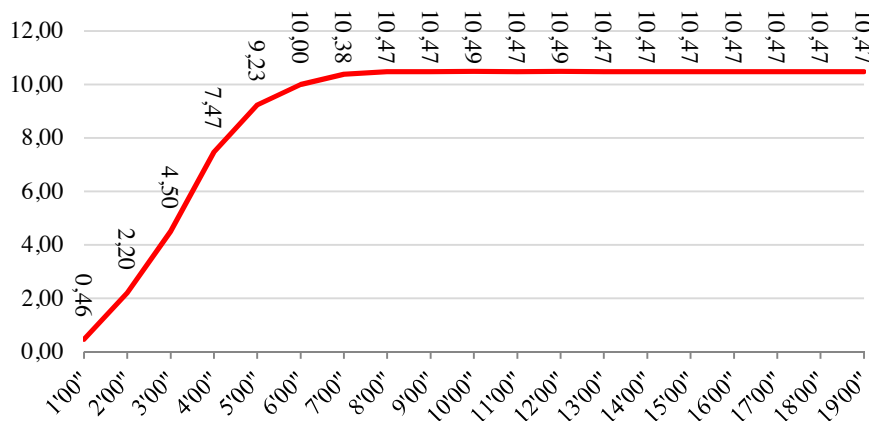
Al minuto 20' gli operatori hanno interrotto l'essiccazione dei campioni, ricavando tramite la formula  $\frac{(P_i - P_f)}{P_i}$  (dove  $P_i$  è il peso iniziale e  $P_f$  quello finale) il contenuto umido % del campione pari al 13,24%.

Il contenuto umido misurato parallelamente con la termobilancia B è pari al 22%, (differenza pari a -8,76%).

6. Pesata comparata n. 2. La bilancia A è stata impostata sulla temperatura di esercizio di 100°C, durata dell'essiccazione di 90 minuti e unità di misura delle letture in %. La bilancia A ha dato le seguenti letture:

Tempo $t$ (min.)	%
1'00"	0,46
2'00"	2,20
3'00"	4,50
4'00"	7,47
5'00"	9,23
6'00"	10,00
7'00"	10,38
8'00"	10,47
9'00"	10,47
10'00"	10,49

Tempo $t$ (min.)	%
11'00"	10,47
12'00"	10,49
13'00"	10,47
14'00"	10,47
15'00"	10,47
16'00"	10,47
17'00"	10,47
18'00"	10,47
19'00"	<b>10,47</b>

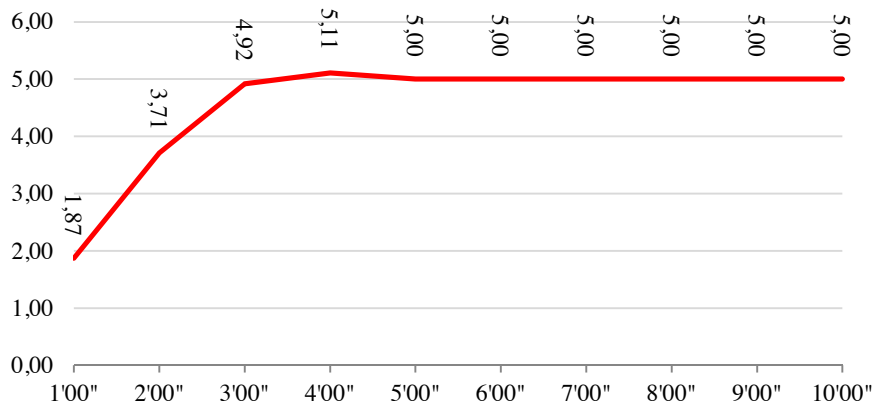


Al minuto 19' gli operatori hanno interrotto l'essiccazione dei campioni (rilevando al minuto 20', tramite termocoppia, una temperatura di esercizio pari a 140°C).

Il contenuto umido misurato parallelamente con la termobilancia B è pari al 21,40% (differenza pari a -10,93%).

7. Pesata comparata n. 3. La bilancia A è stata impostata sulla temperatura di esercizio di 100°C, durata dell'essiccazione di 90 minuti e letture impostate in %. La bilancia A ha dato le seguenti letture:

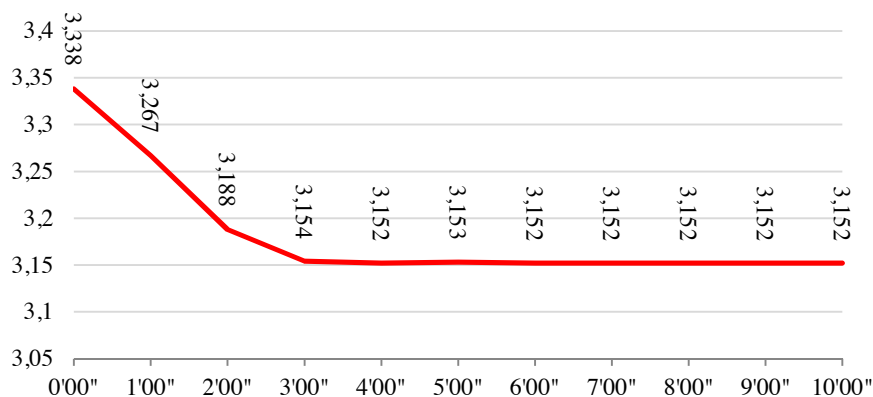
Tempo $t$ (min.)	%
1'00"	1,87
2'00"	3,71
3'00"	4,92
4'00"	5,11
5'00"	5,00
6'00"	5,00
7'00"	5,00
8'00"	5,00
9'00"	5,00
10'00"	<b>5,00</b>



Al minuto 10' gli operatori hanno interrotto l'essiccazione dei campioni. Il contenuto umido misurato parallelamente con la termobilancia B è pari al 2,40% (differenza pari a +2,60%).

8. Pesata comparata n. 4. La bilancia A è stata impostata sulla temperatura di esercizio di 100°C, durata dell'essiccazione di 90 minuti e letture impostate in grammi. La bilancia A ha dato le seguenti letture:

Tempo $t$ (min.)	Peso (g)
1'00"	3,338
2'00"	3,267
3'00"	3,188
4'00"	3,154
5'00"	3,152
6'00"	3,153
7'00"	3,152
8'00"	3,152
9'00"	3,152
10'00"	<b>3,152</b>



Al minuto 10' gli operatori hanno interrotto l'essiccazione dei campioni ricavando tramite la formula  $\frac{(P_i - P_f)}{P_i}$  il contenuto umido % del campione pari al 5,57%.

Il contenuto umido misurato parallelamente con la termobilancia B è pari al 3,70% (differenza pari a +1,87%).

9. Prova di taratura della bilancia A tramite la misura di singoli pesi *campione* di valore noto (1 grammo, 2 grammi, 5 grammi, 10 grammi) e la verifica delle letture. La bilancia ha dato le seguenti letture:

Peso campioni (g)	Peso lettura (g)
10,000	9,998
9,000	8,999
8,000	7,999
7,000	6,999
5,000	4,999

Dai risultati delle indagini condotte appare chiaro come i risultati ottenuti con la termobilancia portatile A non siano paragonabili con quelli ottenuti con la bilancia B: non è stato pertanto possibile utilizzare la prima termobilancia per la misura *in situ* del contenuto umido delle murature dell'ex chiesa di San Nicolao, affidando la misura in laboratorio alla termobilancia B.

## 5.4 Il sistema di monitoraggio continuo nell'ex chiesa di San Nicolao

Data la limitata dimensione della chiesa il monitoraggio ha potuto interessare l'edificio nella sua totalità con un numero piuttosto contenuto di strumenti.

Il monitoraggio dei parametri ambientali interni (temperatura e umidità) è stato condotto in continuo tramite quattro *data logger* interni, mentre quelli esterni tramite un *data logger*. Il contenuto umido di una porzione di muratura è stato invece misurato e monitorato tramite quattro diversi sistemi (v. § 5.4.3).

Per approfondire l'analisi, nelle giornate del 17 giugno 2015, del 2 ottobre 2015 e del 13 gennaio 2016 sono state effettuate delle analisi termografiche di alcuni punti specifici delle murature per individuare eventuali anomalie termiche, mentre nelle giornate del 2 ottobre 2015 e del 13 gennaio 2016 sono state effettuate dei rilievi psicometrici per analizzare la distribuzione planimetrica di temperatura e umidità in relazione alle condizioni climatiche esterne.

### 5.4.1 *Il monitoraggio micro-climatico ambientale*

#### 5.4.1.1 I principali parametri termo-igrometrici

Oltre alla temperatura, grandezza fisica con la quale ognuno ha dimestichezza quotidiana, sono diversi i parametri termo-igrometrici che rientrano nelle diverse fasi del monitoraggio micro-climatico:

° L'umidità assoluta (UA): o *densità del vapore acqueo* è il rapporto tra la quantità di vapore acqueo dell'ambiente espressa in grammi e il volume della massa d'aria (variabile a seconda di sue compressioni o espansioni) espresso in metri cubi. Dipende dalla massa del vapore, dal volume della massa d'aria contenente, dalla sua temperatura e dalla sua pressione: per l'equazione di stato dei gas perfetti<sup>11</sup> infatti, la temperatura è direttamente proporzionale al prodotto pressione-volume.

° L'umidità specifica (US): in una massa d'aria, è il rapporto tra la massa di vapore acqueo  $m_v$  espressa in grammi, e la massa d'aria totale nelle sue componenti secca e umida  $m_a+m_v$  espressa in chilogrammi. Indipendente sia dalla temperatura sia dal volume, rimane invariata in qualsiasi processo termodinamico «*purché in tale processo non vi siano fenomeni di variazione di contenuto di vapore, come ad esempio evaporazione, condensazione. In pratica, in una certa massa d'aria composta di aria secca e vapore, l'US rappresenta la quantità di vapore presente in essa espressa in grammi.*»<sup>12</sup> L'umidità specifica a saturazione

<sup>11</sup> L'equazione di stato dei gas perfetti, o *legge dei gas perfetti*, venne formulata da Emile Clapeyron e descrive le condizioni fisiche di un gas ideale o perfetto. È generalmente espressa tramite la formula  $pV = nRT$ , dove  $p$  è la pressione del gas,  $V$  è il volume del gas,  $n$  la quantità molare del gas,  $R$  la costante di Boltzmann e  $T$  è la temperatura assoluta espressa in gradi Kelvin.

<sup>12</sup> A. BERNARDI, *Conservare opere d'arte. Il microclima negli ambienti museali*, Il Prato, Padova 2004, p. 107.



$US_{sat}$  rappresenta invece la quantità massima di vapore contenibile da una certa massa d'aria ad una data temperatura: le molecole di vapore aggiunte alla massa condenseranno.

«Se una massa d'aria viene riscaldata (ad esempio per l'accensione di un sistema di riscaldamento), essa tende a dilatarsi, variando il suo volume, quindi l'UA, ma non varia la massa di vapore in essa contenuta. Quindi, mentre in questo contesto l'UA varia, non varia l'US che permette invece di identificare la massa d'aria essendo il contenuto di vapore una sua caratteristica.»<sup>13</sup> In conclusione, l'US identifica in maniera costante la massa d'aria anche in caso di variazioni degli altri parametri avvenute nei suoi spostamenti. L'US è considerato un *tracciante* delle masse d'aria in quanto permette di identificarle lungo le loro traiettorie.

° L'umidità relativa (UR): esprime il grado di saturazione del vapore nell'aria (ossia quanto lontana è l'aria dalla sua saturazione e dalla condensazione dal vapore contenuto), e dipende dalla temperatura e dalla quantità di vapore presente nell'ambiente. «Poiché la saturazione dipende dalla temperatura dell'aria, l'UR indica quanto vapore è contenuto nella massa d'aria, rispetto a quanto quella stessa massa d'aria a quella temperatura ne potrebbe contenere se resa satura.»<sup>14</sup> A temperatura costante, l'aumento del contenuto di vapore acqueo nell'aria genera un aumento dell'UR, mentre con un contenuto costante di vapore, all'aumentare della temperatura si ha una diminuzione dell'UR. Se l'obiettivo è quindi quello di mantenere costante questo parametro, le variazioni di temperatura e contenuto umido dovrebbero compensarsi l'un l'altra.

° Temperatura di rugiada (TR), o *dew point* ( $D_p$ ): è la temperatura alla quale la massa d'aria a pressione costante dev'essere portata affinché si saturi, ovvero che su una superficie piana si generi condensazione. A questa temperatura l'acqua contiene il valore massimo di vapore acqueo che può *trattenere*: se una superficie ha una temperatura minore (ad esempio superfici murarie, elementi in pietra, pavimenti) l'acqua condenserà. È ricavabile dalla formula:

$$D_p = \frac{[-430,22 + (237,7 \times \ln e)]}{(-\ln e + 19,08)}$$

dove  $e = \frac{R_H \times e_{sat}}{100}$  (pressione di vapore effettiva dell'aria)

$e_{sat} = 6,11 \times 10^{\left[\frac{7,5 \times T_c}{237,70 + T_c}\right]}$  (pressione di vapore di saturazione)

$T_c$  = Temperatura [°C]

$R_H$  = Umidità Relativa

Altro importante parametro legato alla Temperatura di rugiada è la distanza della temperatura dell'aria dal punto di rugiada (DPR), un indicatore di rischio della condensazione: definita la TR, la DPR indica di quanti gradi la temperatura

<sup>13</sup> Ivi, p. 108.

<sup>14</sup> *Ibid.*

dell'aria ambiente deve essere diminuita perché si raggiunga condensazione in aria libera. Valore convenzionale sotto il quale è più probabile la condensazione superficiale è pari a 5°C.

° Temperatura di bulbo bagnato ( $T_b$ ) o isobarica: è uno dei due parametri, insieme alla temperatura di bulbo asciutto, alla base della strumentazione psicrometrica, e dipende dal grado di saturazione dell'aria e del suo contenuto igrometrico. Conoscere la TR e la  $T_b$  è fondamentale per lo studio della condensazione su una superficie: se infatti come visto una superficie deve raffreddarsi sino a raggiungere la TR dell'aria affinché cominci il fenomeno della condensazione su essa,

*la  $T_b$  è invece la temperatura più bassa che può raggiungere una superficie d'acqua evaporante, per cui una superficie bagnata per poter evaporare deve aver raggiunto la  $T_b$  dell'aria ambiente.*

*Vale sempre la relazione  $TR \leq T_b \leq T$ , e solo per  $UR=100\%$ ,  $TR=T_b=T$ .*

*Per evaporazione non si potrà mai raggiungere la temperatura di condensazione. Infatti i valori di TR e  $T_b$  vengono raggiunti entrambi tramite raffreddamenti isobarici (a pressione costante) fino ad arrivare a saturazione, ma TR è raggiunta senza variare il contenuto di vapore o l'US, mentre  $T_b$  è raggiunta fornendo acqua quindi aumentando l'US e anticipando quindi la saturazione nell'aria<sup>15</sup>.*

° Pressione parziale del vapore acqueo ( $e$ ): la pressione parziale esercitata dalle molecole d'acqua contenute nell'aria può incrementarsi fino al raggiungimento di un certo limite; a questa soglia, si raggiunge l'equilibrio (saturazione) tra il numero delle molecole d'acqua che evaporano dal liquido e quelle assorbiti dall'atmosfera. La soglia di saturazione è determinata dalla temperatura ma è indipendente dalla pressione dell'aria.

La pressione di saturazione  $e_{sat}$  (o tensione di vapore saturo), quella esercitata dalle molecole di vapore alla loro massima concentrazione ammessa dalla temperatura dell'aria, è ricavabile invece dalla formula:

$$e_{sat} = e_{sat}(0) \times 10^{at/(b+t)},$$

dove  $e_{sat}(0) = 6,11$  hPa (1 hPa = 1 mbar),  $a = 7,5$  e  $b = 237,30^\circ\text{C}$ .

Prima di descrivere i diversi sistemi di monitoraggio, si riportano brevemente le caratteristiche della strumentazione utilizzabile per misurazioni in campo stabilite dalla Norma UNI 10829:1999:

° temperatura dell'aria: campo di misurazione compreso fra i  $-20^\circ\text{C}$  e i  $60^\circ\text{C}$  e accuratezza di misura pari a  $0,50^\circ\text{C}$ ;

° temperatura superficiale: campo di misurazione compreso fra i  $-20^\circ\text{C}$  e i  $60^\circ\text{C}$  e accuratezza di misura pari a  $0,50^\circ\text{C}$ ;

° umidità relativa dell'aria: campo di misurazione a  $25^\circ\text{C}$  compreso fra il 10% e il 90% e accuratezza di misura pari a 2,50%.

<sup>15</sup> Ivi, p. 110.

#### 5.4.1.2 I rilievi termografici

La termografia è uno strumento di indagine non invasiva e non distruttiva basato sull'analisi di termogrammi (o immagini termiche) *catturati* tramite una camera sensibile alla radiazione infrarossa (IR) emessa da un oggetto o un corpo nella banda dello spettro elettromagnetico (avente una lunghezza d'onda troppo grande per poter essere individuata dall'occhio umano). Questo metodo è utilizzato — in maniera attiva, ossia previo il riscaldamento delle superfici sfruttando il conseguente regime *transitorio termico*, o passiva — principalmente per diversi scopi: «*Per localizzare aree umide raffreddate dall'evaporazione, e in alcuni casi per valutare i flussi di evaporazione; difficilmente per valutare il MC*»<sup>16</sup>; per valutare gli effetti degli impianti installati in un ambiente sugli elementi e sugli oggetti conservati; per individuare discontinuità, parti più sottili o tamponature nelle murature sfruttando le differenze di temperature rilevabili. Le immagini termiche descrivono qualitativamente, tramite mappe cromatiche, le differenze termiche superficiali di una muratura (o se in regime transitorio, la presenza di processi di riscaldamento o raffreddamento nella stessa): queste immagini sono ottenute tramite la conversione dell'energia termica infrarossa in segnali elettrici che restituiscono immagini in scale di *falsi colori* (ogni colore corrisponde ad un livello termico rilevato).

Parametro fondamentale per queste misure è l'emissività  $\varepsilon$  di un materiale, la frazione di energia irraggiata rispetto a quella emessa da un corpo nero alla stessa temperatura. È una misura della capacità di un materiale di irraggiare energia, e dipende, oltre che dalla temperatura, dall'angolo di emissione, dalla lunghezza d'onda e persino dalla finitura superficiale (rugosità, presenza di inclusioni estranee, zone chimicamente o fisicamente alterate): il corpo nero di riferimento teorico ha emissività pari a 1, qualsiasi oggetto nella realtà ha un'emissività compresa fra 0 e l'emissività al corpo nero. Per le indagini realizzate nell'edificio monitorato è stato assunto un valore di emissività pari a 0,94.

I rilievi termografici, eseguiti nelle giornate del 17 giugno 2015, del 2 ottobre 2015 e del 13 gennaio 2016, sono stati realizzati per verificare (nella prima giornata) la probabile estensione del fronte di risalita in prossimità della muratura sulla quale installare il sistema di monitoraggio, e a livello globale nelle successive giornate la presenza di fenomeni di degrado e/o la presenza di infiltrazioni d'acqua ancora attive.

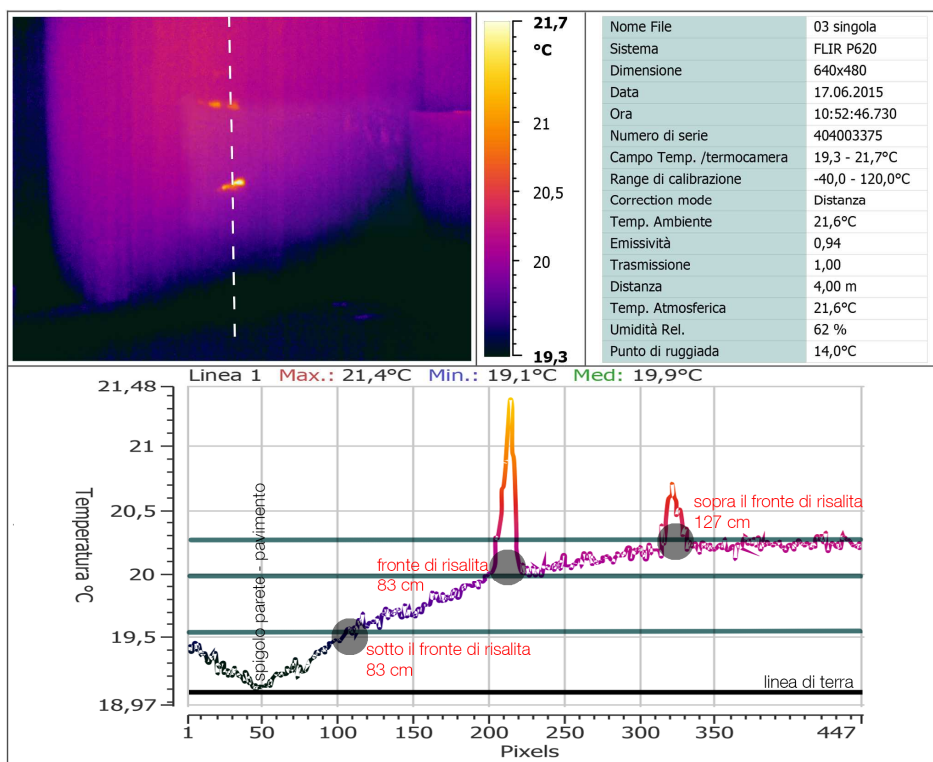
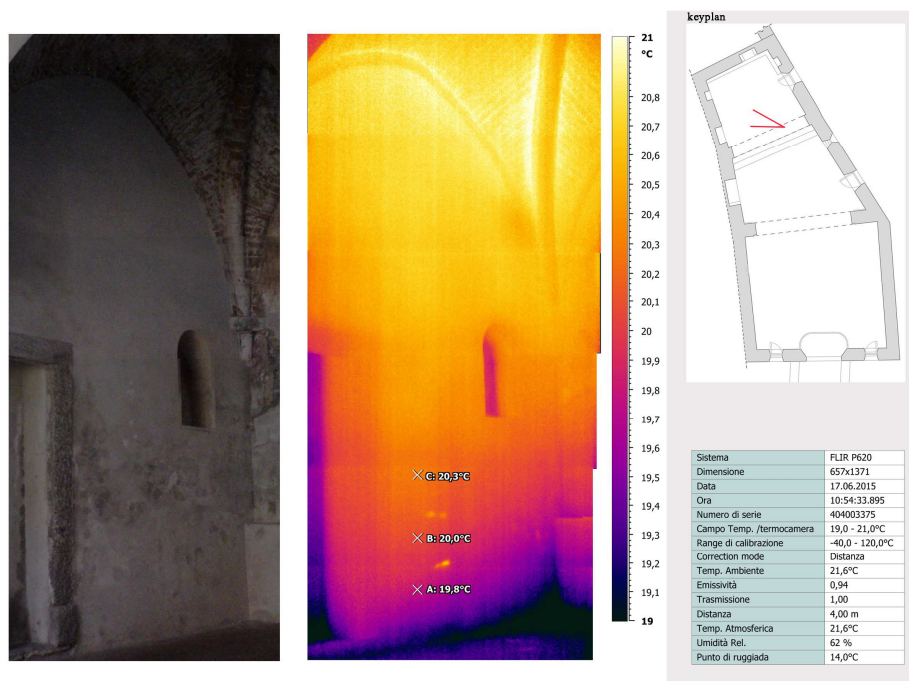
È stata impiegata una termocamera Flir P620.

---

<sup>16</sup> D. CAMUFFO e C. BERTOLIN, *op. cit.*, p. 33. Testo originale: «*The methodology is useful to localise damp areas cooled for evaporation and in some cases to evaluate evaporation flows; hardly to measure MC*», traduzione dell'Autore.

### TERMOGRAMMA 1

17 giugno 2015: parametri ambientali esterni 19,9°C — UR 62,9%  
 Rilievi effettuati alle ore 11:00.



Come già specificato il termogramma 1 è stato realizzato per individuare la fascia della muratura soggetta a fronte di risalita capillare per la successiva installazione del sistema di monitoraggio descritto nei successivi paragrafi.

Nel primo termogramma e nel sottostante dettaglio sono evidenti due brevi linee orizzontali più calde della superficie muraria (corrispondenti ai segni ottenuti dagli operatori appoggiando semplicemente una mano sulla muratura, e compiuti per *regolare* il valore di emissività di riferimento della termocamera); nel grafico è invece riportata la distribuzione verticale della temperatura (indicata nel termogramma con una linea tratteggiata) e le tre linee corrispondenti ai livelli scelti per il monitoraggio in continuo del MC all'interno della muratura (ad un'altezza da terra rispettivamente di 43 cm, 83 cm e 127 cm dalla quota di pavimento). Si può notare come i tre punti prescelti, corrispondenti a sezioni murarie soggette o no al fronte di risalita, abbiano una temperatura superficiale compresa fra i 19,5°C della parte più bassa e i 20,3°C della parte più alta.

## TERMOGRAMMA 2

02 ottobre 2015: parametri ambientali esterni 15,4°C — UR 69,0%

Rilievi effettuati alle ore 10:30.

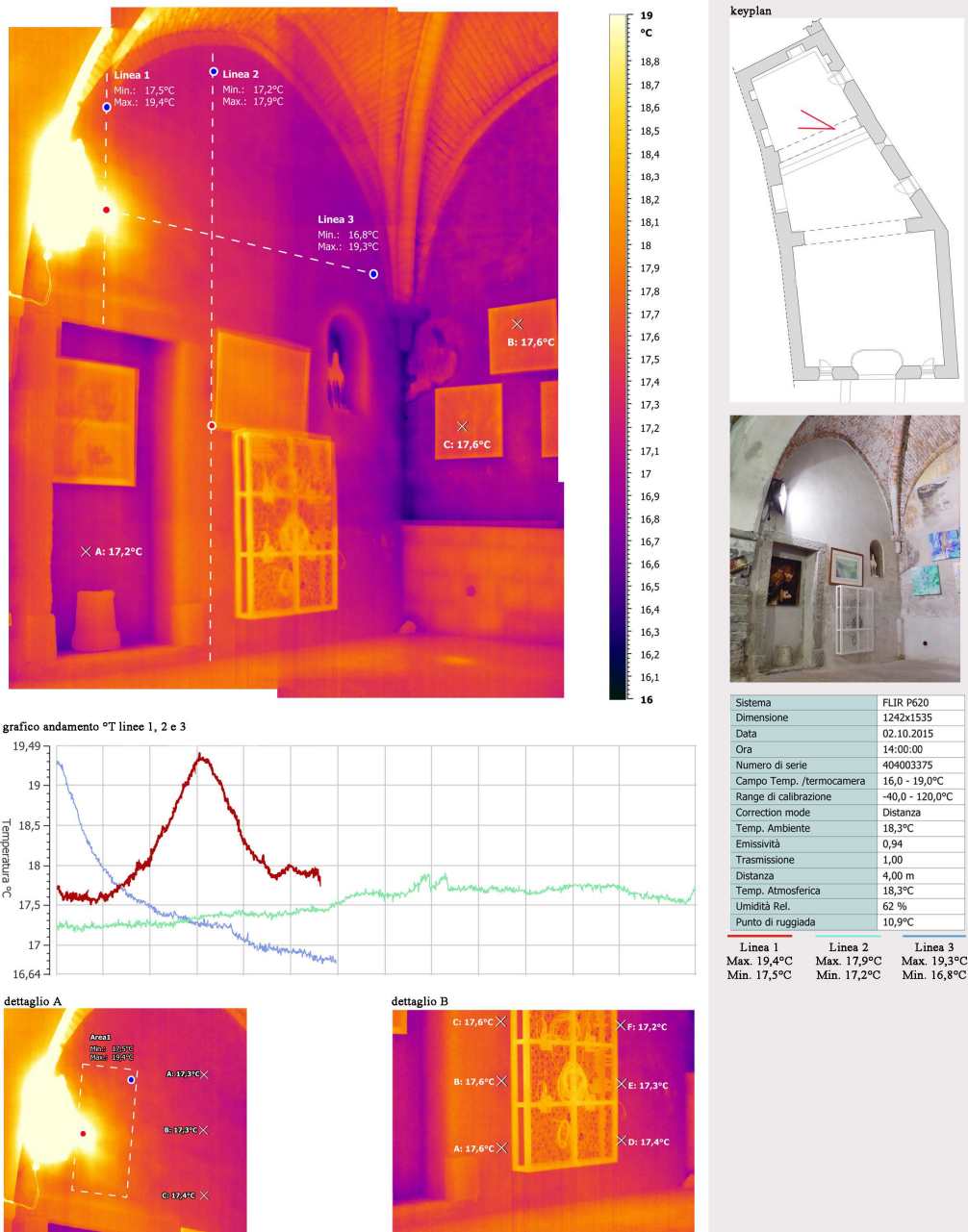


Durante la giornata di sopralluogo era in corso una mostra d'arte contemporanea *visibile* nei quadri presenti sulla muratura.

Evidente è la forte differenza di temperatura fra il pavimento, il contro-tavolato di aerazione e la crociera absidale (più caldi) e le pareti (più fredde), in particolar modo nello spigolo fra le due murature e nella nicchia. Ben visibili sono gli effetti dell'impianto di illuminazione sulla superficie muraria (con un cambio repentino) e diverse patologie di degrado sulla parete di fondo (distacchi, sollevamenti, ecc.) ravvisabili nelle temperature delle aree più danneggiate.

### TERMOGRAMMA 3

02 ottobre 2015: parametri ambientali esterni 16,6°C — UR 64,3%  
Rilievi effettuati alle ore 13:00.

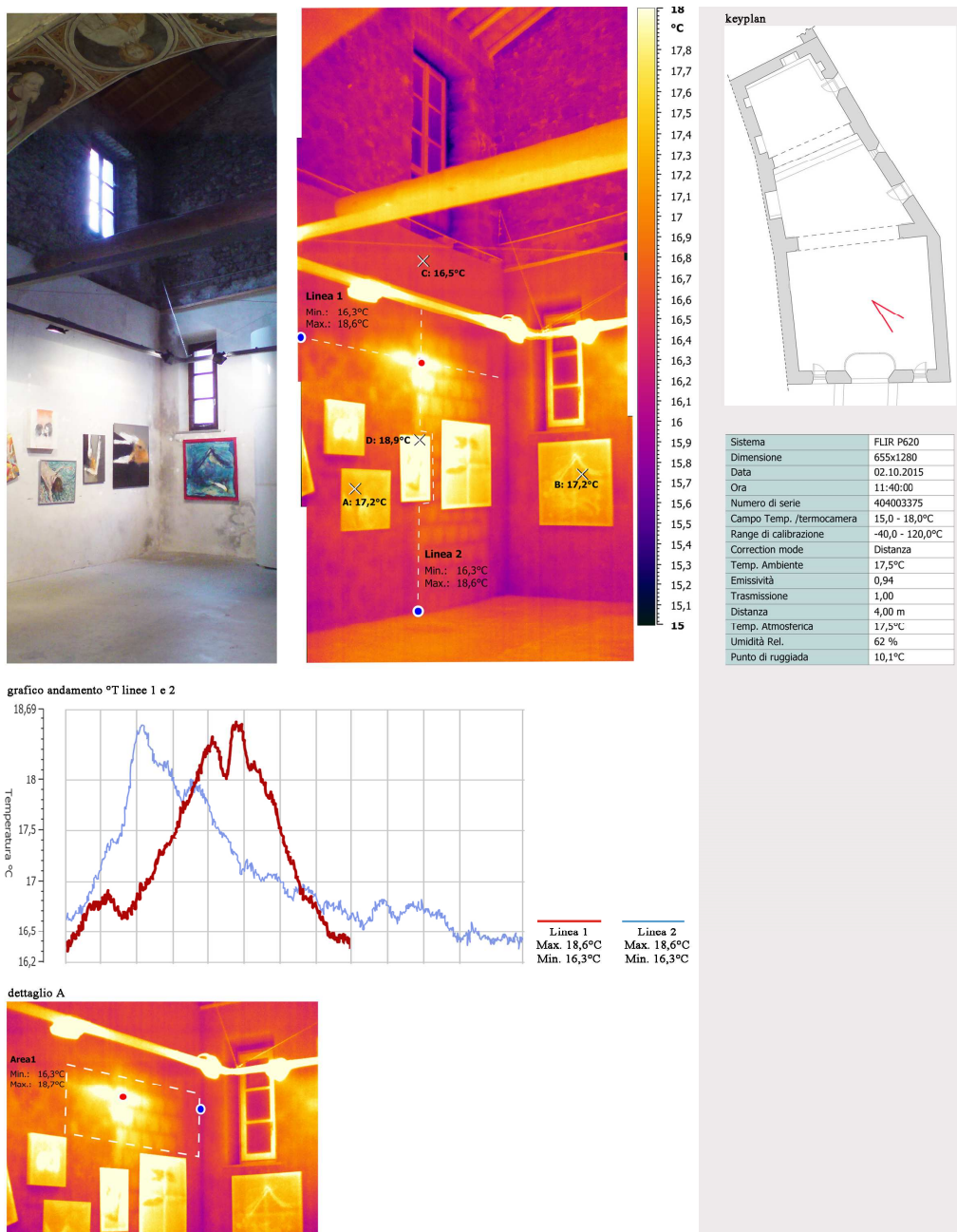


Dopo circa tre ore di funzionamento dell'impianto, ancora evidente (seppur più contenuta) è la differenza fra pavimento e pareti, mentre l'area soggetta al riscaldamento del faretto di illuminazione ha subito un aumento termico in un'area di pochi centimetri di circa 2°C. Più visibili sono l'area fredda corrispondente allo spigolo tra le due murature e il riscaldamento del pavimento dovuto all'impianto di illuminazione.

## TERMOGRAMMA 4

02 ottobre 2015: parametri ambientali esterni 15,4°C — UR 69,0%

Rilievi effettuati alle ore 10:40.

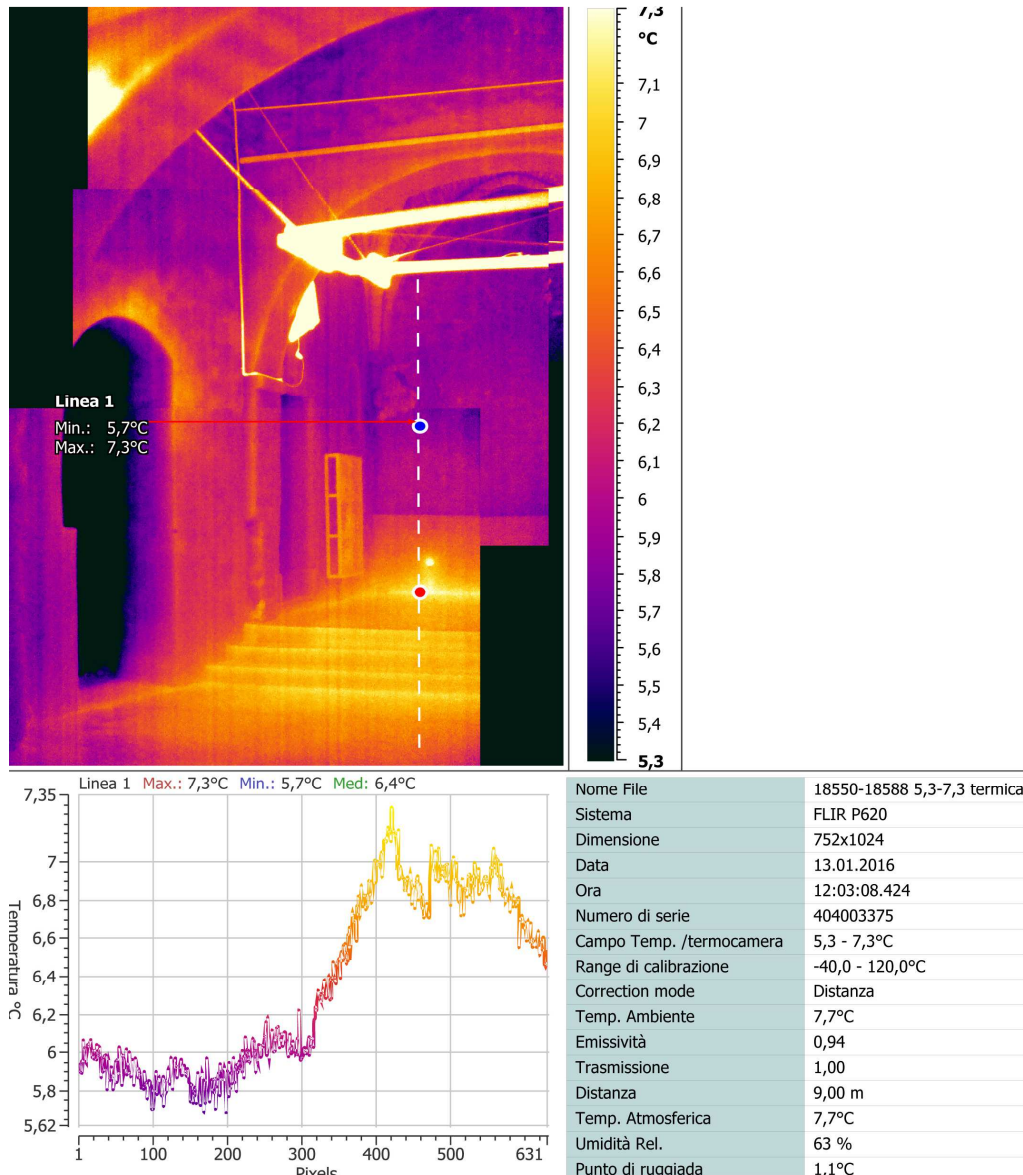


È possibile notare come anche in questo caso lo spigolo tra le due pareti si presenti freddo, così come la fascia delle due pareti più vicina al pavimento. L'impianto di illuminazione, oltre agli effetti già evidenziati, permette di leggere in maniera migliore la tessitura muraria di una tamponatura della muratura (più calda delle superfici circostanti). La fascia superiore non intonacata presenta temperature comparabili con quelle della muratura sottostante non illuminata.



TERMOGRAMMA 5

13 gennaio 2016: parametri ambientali esterni 5,6°C — UR 65,4%  
Rilievi effettuati alle ore 11:00.

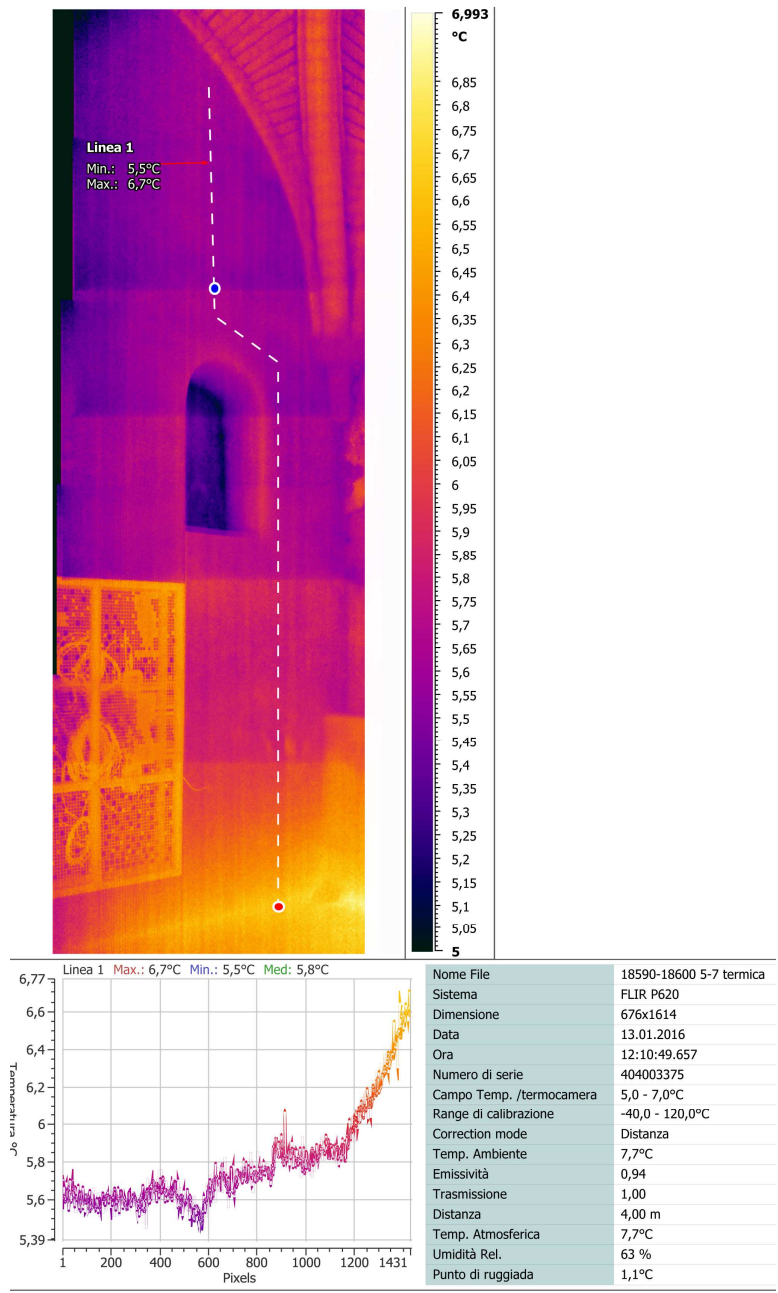


Nel termogramma è sottolineato, tramite una linea verticale tratteggiata e il grafico sottostante, il gradiente termico fra la crociera absidale e il pavimento generato dopo circa un'ora di funzionamento dell'illuminazione. Si può notare il “cambio” di temperatura in corrispondenza della controparete, con un valore minimo di 5,7°C e un valore massimo di 7,3°C (probabilmente dovuto all'illuminazione in funzione).

### TERMOGRAMMA 6

13 dicembre 2016: parametri ambientali esterni 5,6°C — UR 65,4%

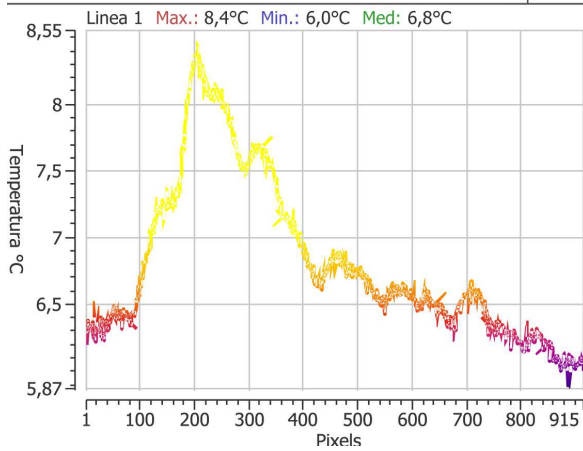
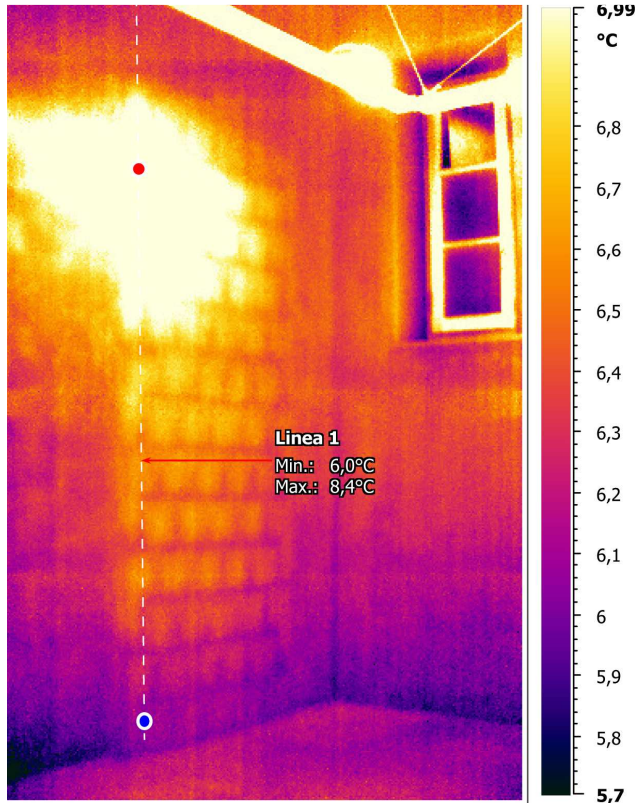
Rilievi effettuati alle ore 11:10.



TERMOGRAMMA 7

13 gennaio 2016: parametri ambientali esterni 5,6°C — UR 65,4%

Rilievi effettuati alle ore 11:20.



Nome File	18602-18612 5,7-7
Sistema	FLIR P620
Dimensione	641x989
Data	13.01.2016
Ora	12:20:37.733
Numero di serie	404003375
Campo Temp. /termocamera	5,7 - 7,0°C
Range di calibrazione	-40,0 - 120,0°C
Correction mode	Distanza
Temp. Ambiente	7,7°C
Emissività	0,94
Trasmissione	1,00
Distanza	6,00 m
Temp. Atmosferica	7,7°C
Umidità Rel.	63 %
Punto di rugiada	1,1°C

### 5.4.1.3 I rilievi tramite psicometro

Sviluppato da Adolf Assmann negli anni tra il 1888 e il 1892 e prodotto successivamente dalla fabbrica tedesca di Rudolf Fuess, lo psicometro è lo strumento per la misurazione di temperatura e umidità atmosferiche. Lo strumento originario era composto da due termometri a mercurio identici e ventilati tramite una ventola, schermati dalla radiazione solare, uno dei quali aventi il bulbo umidificato: i risultati della misurazione erano ricavati dalle due letture tramite tabelle e diagrammi, un procedimento che ne ha limitato l'utilizzo alle attività di laboratorio. Attualmente, lo psicometro di Assmann è sostituito nel campo del monitoraggio da psicometri elettrici a sensori sofisticati, raccomandati dalle norme EN per il controllo periodico delle condizioni ambientali. I principi di funzionamento sono gli stessi del *prototipo* tedesco, basati sulle letture di due termometri — uno “normale” definito *a bulbo secco*, il secondo *umido* e ricoperto da una garza inumidita.

«*Misurazioni accurate prese con uno psicometro possono considerarsi come “home standard”, come un riferimento utile a comparare e verificare la calibratura di altri strumenti. In particolare, quando l'UR è molto alta o è vicina alla saturazione, lo psicometro è superiore a tutti gli altri tipi di sensore*»<sup>17</sup>. Esistono comunque due importanti limiti al suo utilizzo: il primo consiste nella necessità di utilizzare lo strumento ad una temperatura dell'aria superiore ai 10°C (ossia la scarsa convenienza d'uso quando il bulbo umido è vicino o sotto il punto di fusione), mentre il secondo ad un valore di UR superiore al 20%. Altri *errori* di utilizzo possono risultare da:

- ° respirare in prossimità al sensore o tenere lo strumento vicino al corpo può causare una sovrastima dell'umidità rilevata: posizione corretta consiste nel maneggiare lo strumento a braccio abbassato o sospenderlo su un'asta;
- ° leggere i termometri prima del raggiungimento dell'equilibrio;
- ° ventilazione insufficiente del bulbo umido (errore frequente con una ventilazione inferiore ai  $2 \frac{m}{s}$ , insufficiente umidità della garza sul bulbo, o utilizzo di acqua non distillata).

I rilievi sono altresì stati utili per sviluppare un procedimento ideato dal Laboratorio di Analisi e Diagnostica del Politecnico di Milano: il metodo consiste nell'utilizzo di uno psicometro collegato in modalità *wireless* ad un *tablet* sul quale l'operatore ha potuto caricare una planimetria dell'edificio in formato .jpeg, impostare la *griglia* sulla quale impostare il rilievo e “salvare”, tramite un apposito software, i relativi valori acquisiti dallo strumento in tempo reale. Le misurazioni, acquisite manualmente da un secondo operatore, sono state effettuate posizionando lo strumento in punti specifici corrispondenti ai nodi di una gri-

---

<sup>17</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for Cultural Heritage*, p. 438. Testo originale: «*Accurate measurements taken with a psychrometer can be considered as a home standard, i.e. as a useful reference to compare and check calibration of other instruments. In particular, when RH is very high or approaches saturation, the psychrometer is superior to all other sensor types*», traduzione dell'Autore.

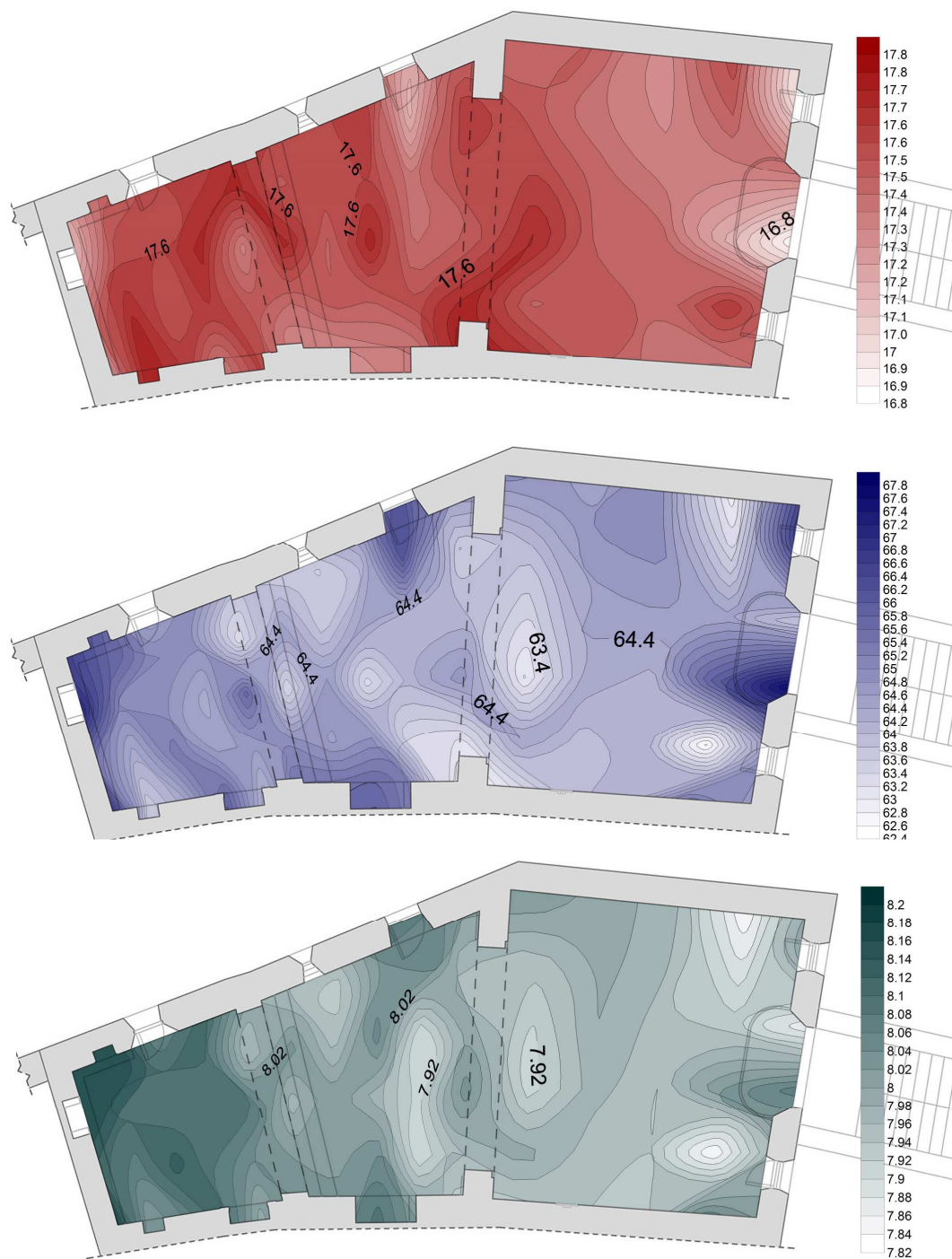
glia disegnata su un piano orizzontale; la griglia si estende fino alle pareti, in modo da rilevare anche i valori in prossimità di tutte le superfici murarie.

L'analisi dei tre parametri di Temperatura  $T$ , Umidità Relativa  $UR$  e Umidità Specifica  $US$  è utile per lo studio delle condizioni dell'edificio durante il suo normale utilizzo. Se i primi due parametri sono direttamente connessi, l'analisi dell' $US$  (come detto dipendente dal contenuto di umidità nell'aria) è utile soprattutto per evidenziare gli eventuali *traccianti*, ossia correnti d'aria generate dai serramenti, o per contribuire a specificare maggiormente il tipo di fenomeno in corso sulle murature, ossia se le stesse siano *evaporanti* (e quindi soggette a risalita capillare) o *condensanti*.

Come già specificato nel capitolo 1, per qualsiasi contenuto umido delle murature è lo strato d'aria a contatto con esse di spessore compreso fra i 6–8 cm a risentire degli effetti più rilevanti durante la loro evaporazione. A seconda del comportamento dell' $US$  in prossimità delle superfici murarie si può ipotizzare il più probabile fenomeno: se in prossimità della muratura il valore di  $US$  aumenta la muratura è *evaporante*, se diminuisce è invece *condensante*.

**02 ottobre 2015 — ore 10:00.**

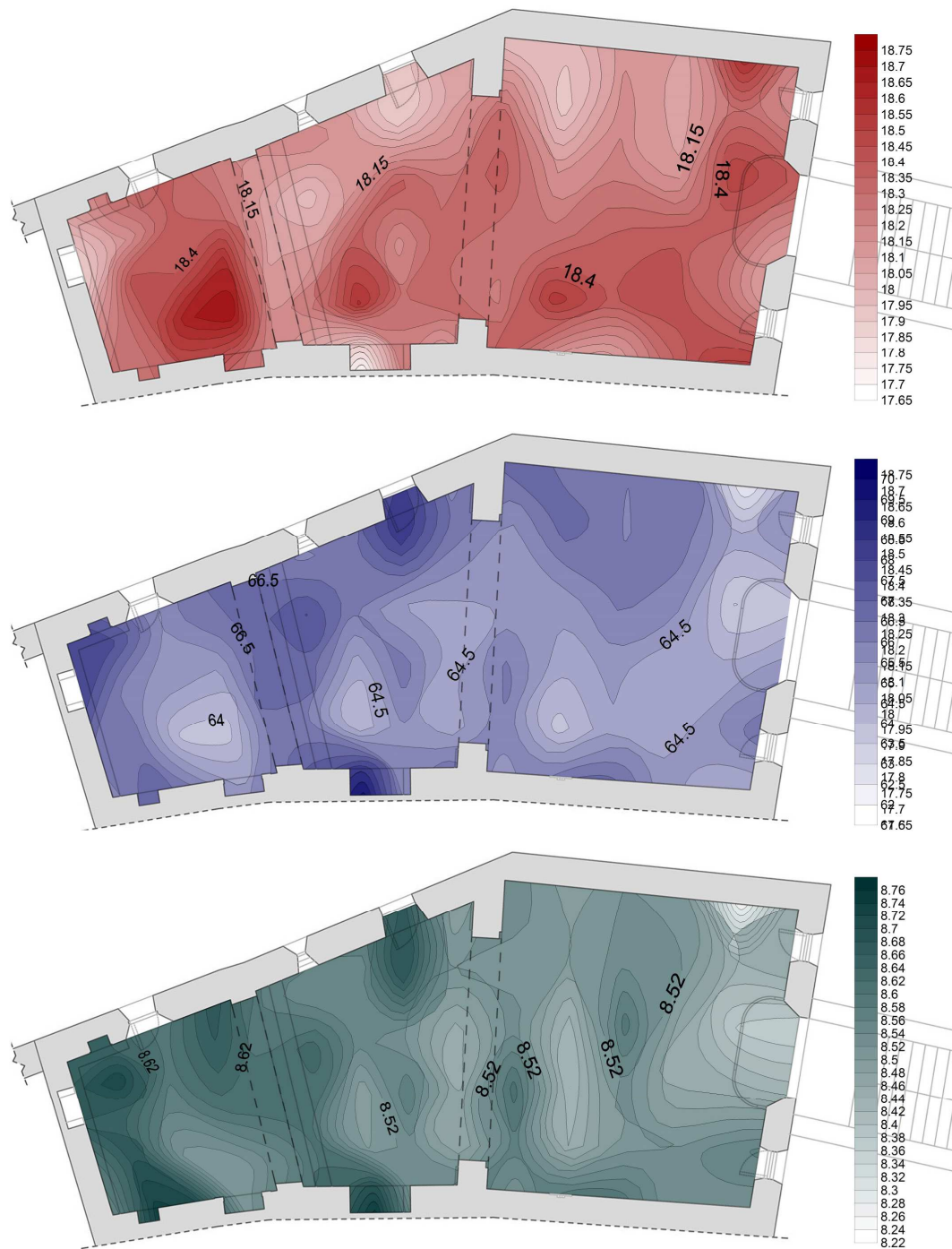
Parametri ambientali esterni 5,6°C — UR 65,4%



**Figura 26.** Sezioni orizzontali con la rappresentazione delle isolinee relative alla temperatura, all'umidità relativa e all'umidità specifica. 02 ottobre 2015, ore 10.

02 ottobre 2015 — ore 14:00.

Parametri ambientali esterni 5,6°C — UR 65,4%



**Figura 27.** Sezioni orizzontali con la rappresentazione delle isolinee relative alla temperatura, all'umidità relativa e all'umidità specifica. 02 ottobre 2015, ore 14.

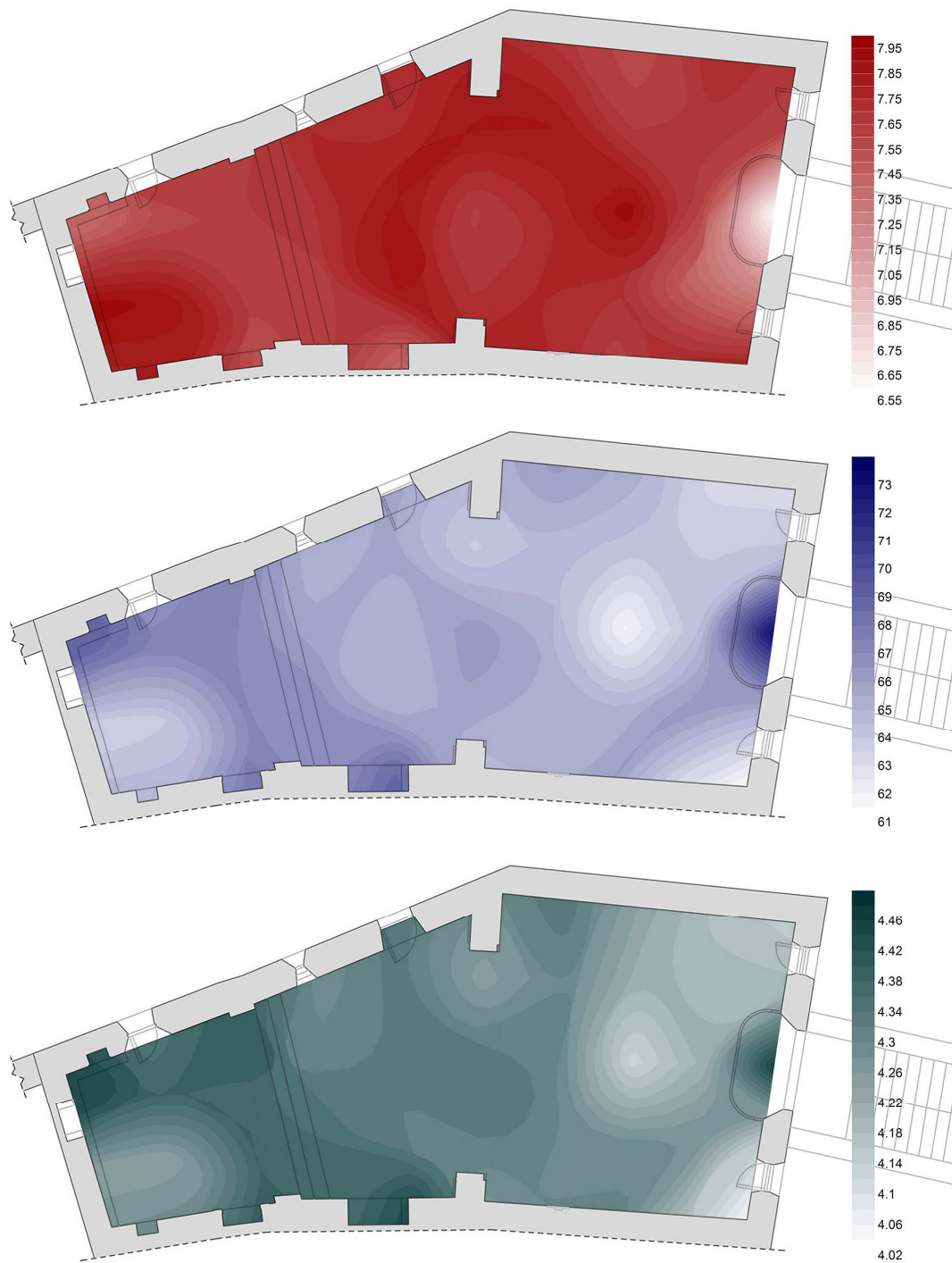
La prima *battuta*, realizzata alle ore 10, ha lo scopo di “fotografare” la condizione “a freddo”, ossia in ambienti non ancora perturbati da forzanti esterne (il rilievo è stato infatti realizzato dopo pochi minuti dalla messa in funzione dell’impianto di illuminazione). Dalla distribuzione della temperatura, con un’escursione termica di 1°C, si possono evidenziare dei minimi in corrispondenza dei serramenti perimetrali (soprattutto in prossimità della bussola di ingresso sulla parete ovest), con conseguenti picchi di umidità relativa derivanti dall’ingresso dell’aria esterna umida. Nella seconda e nella terza mappa si possono notare i repentini cambiamenti di umidità relativa e specifica in corrispondenza della parete occidentale e del primo arcone, mentre altre “discontinuità” sono evidenti nella parete settentrionale (dove pareti più sottili causano basse temperature e maggiori valori di umidità) e in quella orientale, dove la presenza di un’intercapedine di aerazione non sembra avere gli stessi effetti rilevati in una precedente campagna realizzata nel 2011 durante la stagione invernale. Nel primo ambiente la presenza di vespaio areato e di locali sottostanti destinati a servizi igienici sembra permettere una minor concentrazione di vapore nell’aria. In definitiva i tre grafici rappresentano le condizioni “tipiche” di un edificio con un’elevata inerzia termica non riscaldato, con gradienti *contenuti* (1°C, 5,1% e 0,4 g/kg).

La seconda *battuta*, realizzata alle ore 14, ha invece lo scopo di analizzare la situazione di normale utilizzo. Si può notare un moderato cambiamento della distribuzione della temperatura (e conseguentemente dell’UR) nell’ambiente absidale, con picchi localizzati di circa 0,5°C. Nella seconda mappa sono evidenti i valori massimi nella stessa zona e soprattutto della porta perimetrale meridionale e nel portalino centrale esposto a nord (mentre i massimi in prossimità della bussola evidenziati nella precedente *battuta* hanno una minore incidenza). Da valutare è l’effetto dell’impianto di illuminazione sull’ambiente absidale, nel quale alla persistenza dei valori di UR in corrispondenza del contro-tavolato si contrappongono dei minimi al centro dell’ambiente (forse dovuti appunto agli elementi di illuminazione causanti l’evaporazione *forzata* delle superfici murarie, fatto evidenziato dall’aumento di US in prossimità delle pareti, tipico di pareti condensanti). I gradienti sono di 1,1°C (+1°C del valore massimo rilevato nella precedente *battuta*), 8,5% (+2,2%) e 0,5 g/kg (+0,5 g/kg).



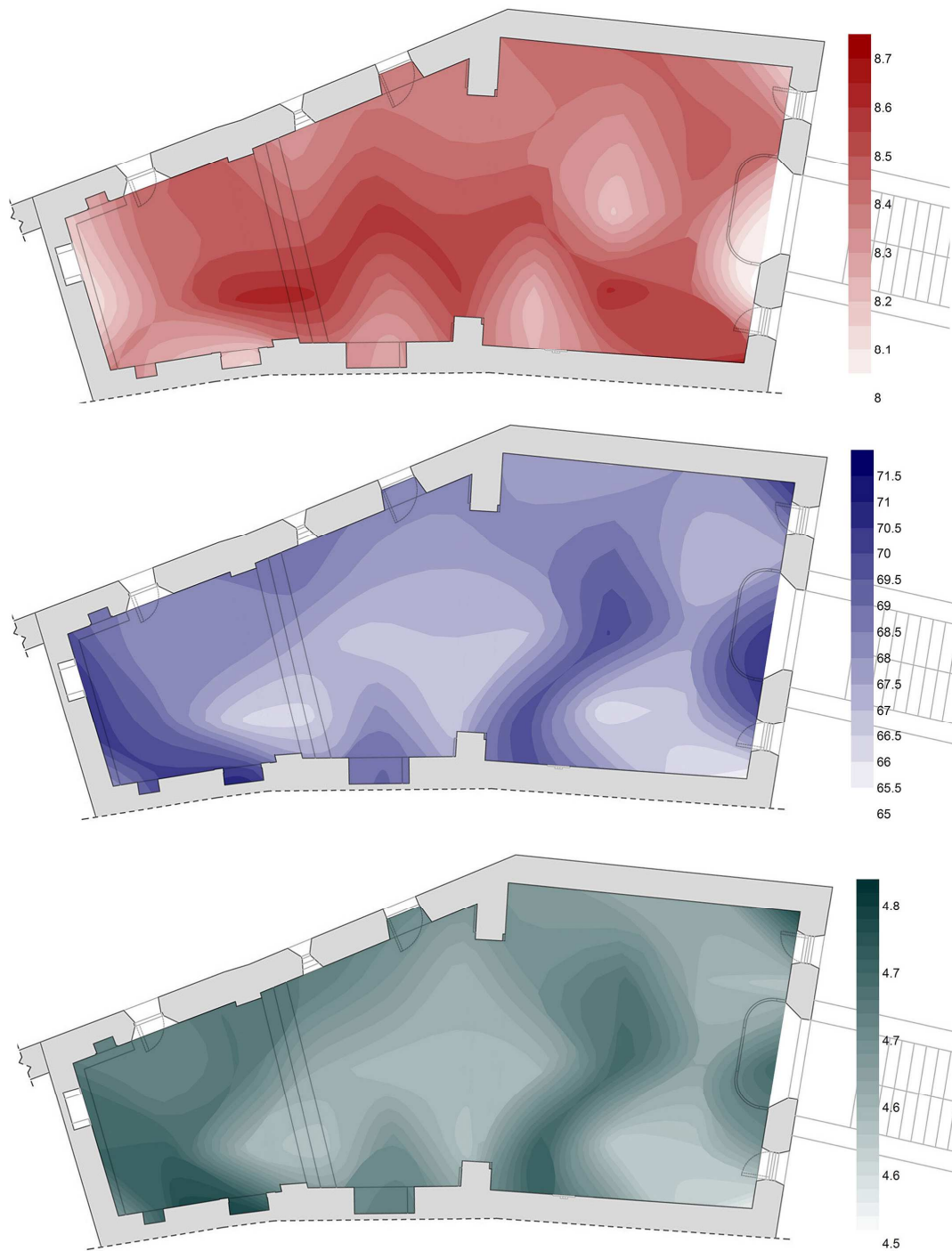
**13 gennaio 2016 — ore 10:00**

Parametri ambientali esterni 5,6°C — 65,4%



**Figura 28.** Sezioni orizzontali con la rappresentazione delle isolinee relative alla temperatura, all'umidità relativa e all'umidità specifica. 13 gennaio 2016, ore 10.

**13 gennaio 2016 — ore 13:00**  
Parametri ambientali esterni 8,4°C — 53,5°C



**Figura 29.** Sezioni orizzontali con la rappresentazione delle isolinee relative alla temperatura, all'umidità relativa e all'umidità specifica. 13 gennaio 2016, ore 13.

Nella prima battuta, realizzata alle ore 10, si possono sostanzialmente confermare alcune considerazioni già effettuate per i primi rilievi realizzati.

Si può ad esempio notare un aumento del gradiente termico ( $1,50^{\circ}\text{C}$ ) e di umidità (14% circa), così come l'entrata di aria fredda e umida dalla bussola d'ingresso e dalle finestre sul lato ovest (in prossimità della quale il cambio di temperatura fra superficie muraria e centro dell'ambiente, pari a circa 2,5 metri, è repentino). È ancora evidente la zona fredda più umida in corrispondenza dello spigolo sud-est, mentre meno visibile (forse per l'aria esterna più secca) è quella in ingresso dalla porta meridionale.

Nella seconda battuta, benché i gradienti di temperatura e umidità si siano attenuati (l'UR mantiene pressoché pari valori-limite rilevati nella prima battuta), si può evidenziare un maggior disequilibrio della distribuzione dei tre parametri, in particolar modo della temperatura (dove il riscaldamento dell'aria ha influenzato in maniera minore l'ambiente absidale, con uno scarto inferiore ai  $0,5^{\circ}\text{C}$ ). Da notare come il gradiente dell'US aumenti di circa  $0,4\text{ g/kg}$ .

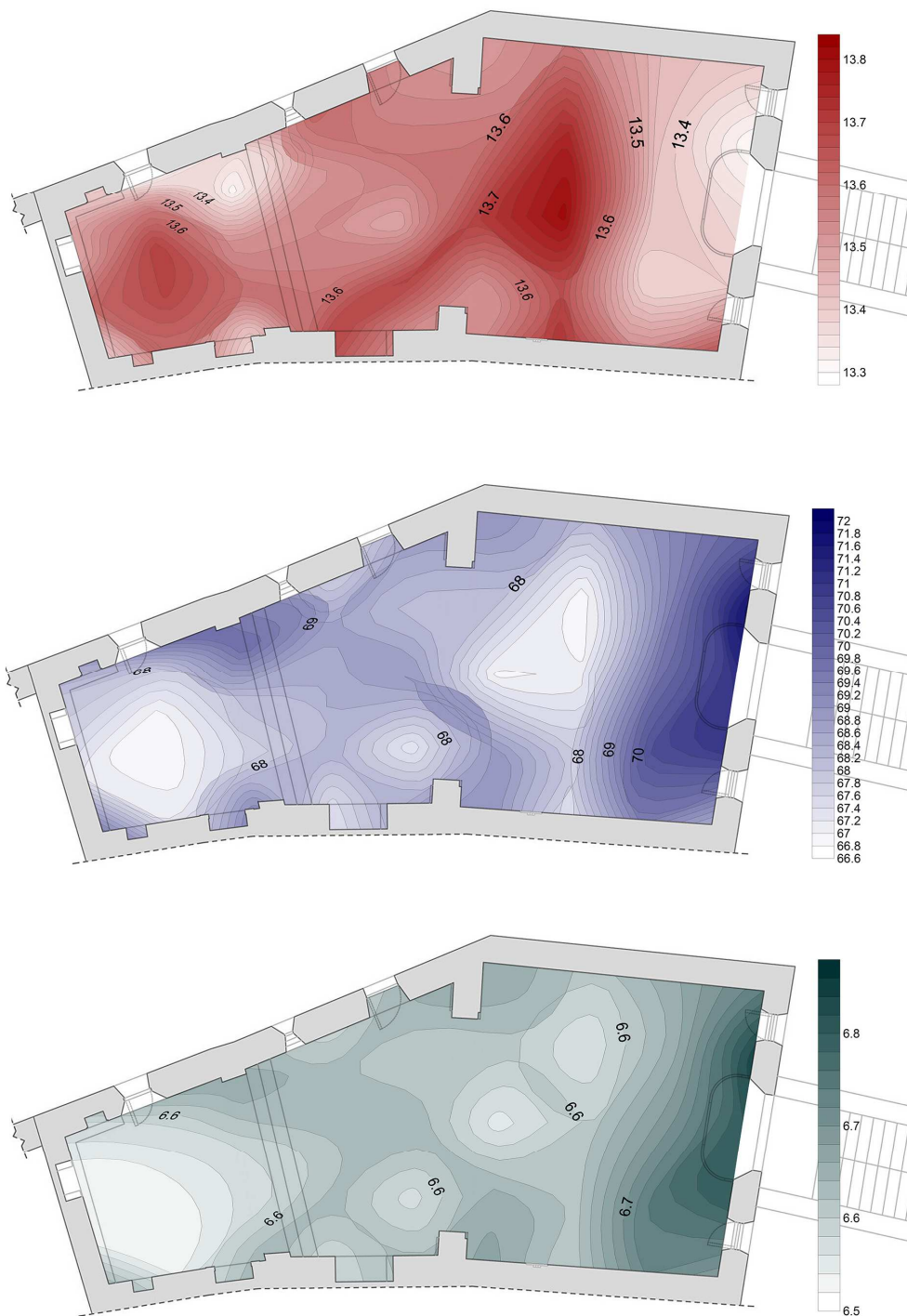
Dalle analisi (da integrare con ulteriori rilievi) si possono ricavare alcune considerazioni preliminari:

° l'apporto di aria esterna — con caratteristiche termo-igrometriche diverse da quella interna — dalle porte di ingresso (soprattutto da quella posta sulla parete rivolta ad ovest) e dai serramenti posti sulla stessa parete, causa forti e repentini gradienti nelle zone immediatamente adiacenti. È ipotizzabile che la porta di ingresso rivolta a sud possa risentire, in alcuni casi, di diversi moti circolatori esterni (capaci di influenzare le caratteristiche dell'aria in entrata). L'orientamento verso sud è condizionato dalla presenza, a breve distanza, di edifici con altezze uguali o superiori alla chiesa, che di fatto annullano, per molti periodi dell'anno, l'irraggiamento e il soleggiamento diretto delle pareti (e indirettamente il ricircolo dell'aria in prossimità delle pareti);

° nello spigolo rivolto a sud-est dell'ambiente absidale (quello più colpito dagli effetti dell'umidità) sono evidenti, durante le ore mattutine, maggiori contenuti umidi (e minori temperature) rispetto agli altri ambienti dell'edificio. Si sono ipotizzate tre cause principali: la parete rivolta a est è a diretto contatto con il terreno; la presenza non isolata di una muratura esterna; gli effetti del dilavamento della pioggia sulla stessa;

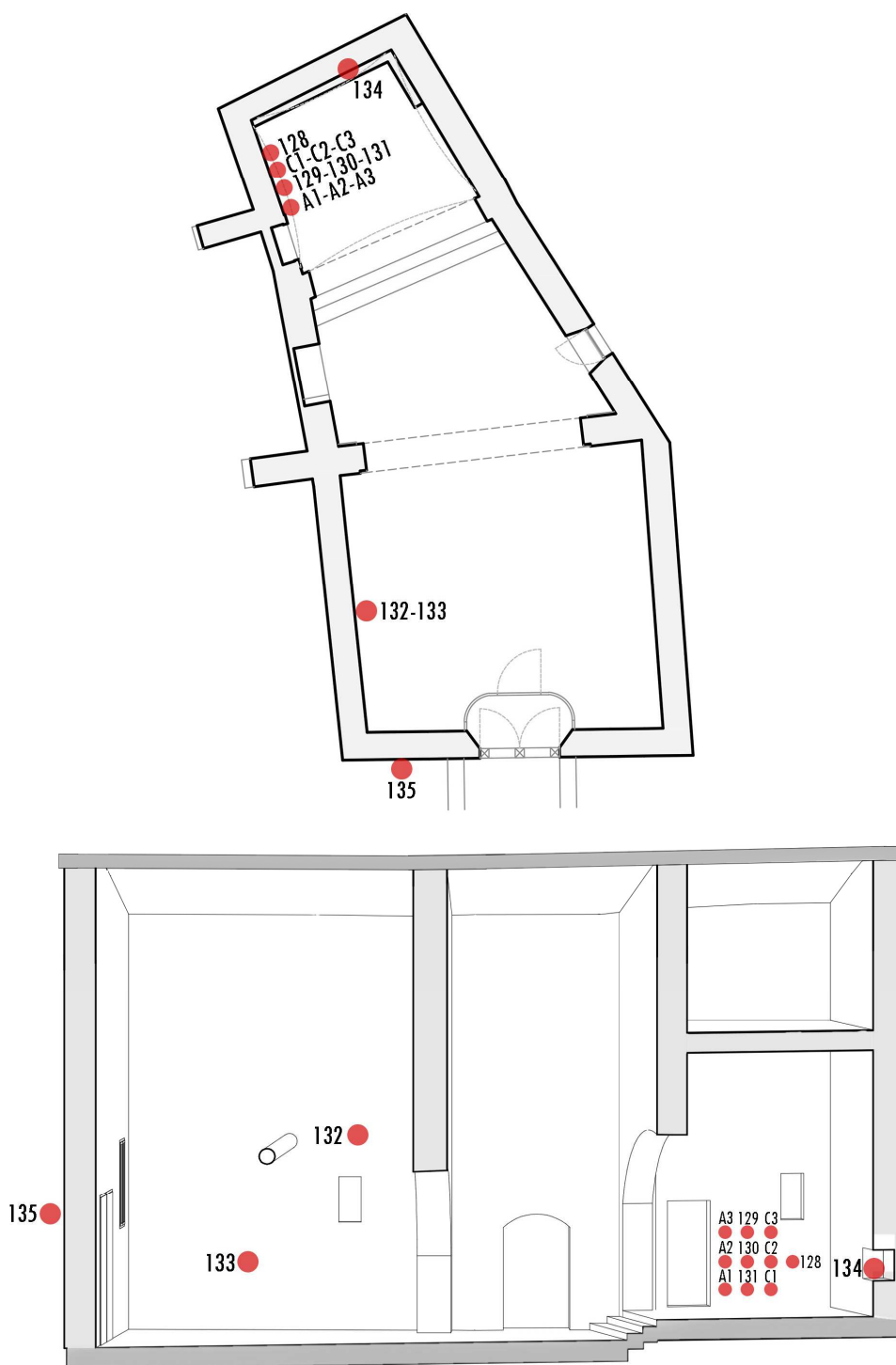
° l'impianto di illuminazione a faretti nell'ambiente absidale genera evidenti effetti di evaporazione dalla parete umida oggetto di monitoraggio, e più in generale dall'ambiente stesso modificandone la temperatura interna. Più in generale, nei prossimi rilievi dovranno essere indagati maggiormente il grado degli effetti che l'impianto di illuminazione genera nelle zone centrali degli ambienti.

**31 marzo 2016 — ore 11:00**



**Figura 30.** Sezioni orizzontali con la rappresentazione delle isolinee relative alla temperatura, all'umidità relativa e all'umidità specifica. 31 marzo 2016, ore 11.

5.4.2 Il monitoraggio in continuo



### Sonde ambientali interne ed esterne

I quattro dispositivi ambientali (tre interni e uno esterno) — indicati nello schema con i numeri 132, 133, 134 e 135 — sono *data logger*, ossia registrano dati attraverso un sensore interno, alimentati da una batteria ed equipaggiati ciascuno con un microprocessore ed una memoria per l'acquisizione dei dati. Tutti i dispositivi installati appartengono ad una *rete* accessibile tramite una centralina (posta all'interno dell'edificio, in prossimità della sonda 133) e un personal computer collegato.

I due parametri che ciascun dispositivo registra in continuo (con un intervallo tra due dati consecutivi fissato dagli operatori pari a 5 minuti) sono la temperatura ambiente (in °C) e l'umidità relativa UR (in %). Tramite un apposito *software* installato sul personal computer (e associato alla centralina), nelle giornate di “sopralluogo” si sono trasferiti i dati registrati dai dispositivi (in formato .csv) al pc. Ogni dispositivo è infine dotato, nel caso il trasferimento “radio” non fosse possibile, di un accesso *usb* per il trasferimento “forzoso” dei dati (in questo caso tutti i dispositivi devono essere collegati fisicamente e singolarmente al pc).

Dalla scheda tecnica fornita dalla ditta produttrice si riportano i dati tecnici dei dispositivi:

- dimensioni: 110 x 80 x 35 mm
- capacità della memoria: 100.000 dati
- *range* °T: interno  $-20^{\circ}\text{C} \div +60^{\circ}\text{C}$ ; esterno:  $-40^{\circ}\text{C} \div +60^{\circ}\text{C}$
- precisione °T:  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  ( $-10^{\circ}\text{C} \div +40^{\circ}\text{C}$ );  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  (fuori da questi valori)
- *range* UR:  $0 \div 100\%$
- precisione UR:  $\pm 2\%$  ( $0 \div 90\%$ );  $\pm 3\%$  ( $90 \div 100\%$ )
- sensibilità del display:  $0,1^{\circ}\text{C}/\%$

Le sonde sono state poste sulla parete nord e sulla parete est, il più possibile lontano da fonti di illuminazione e di calore e dalle correnti d'aria originate da porte e finestre perimetrali.

132



133

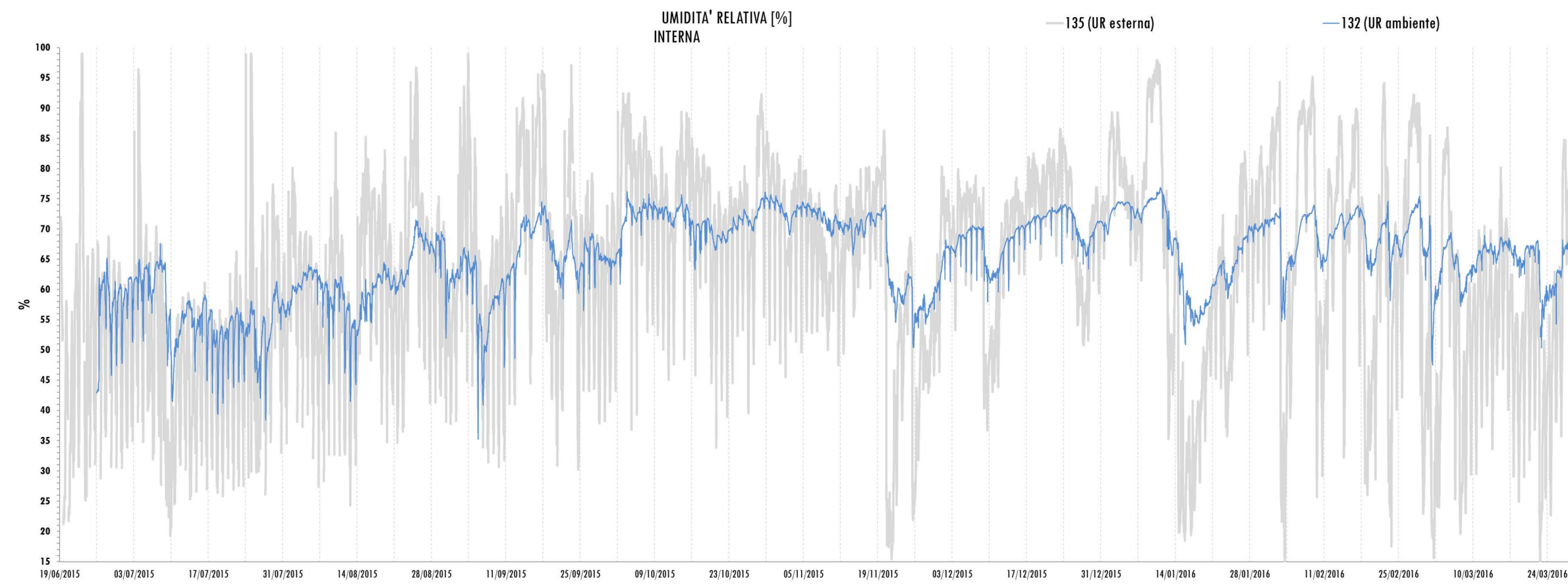
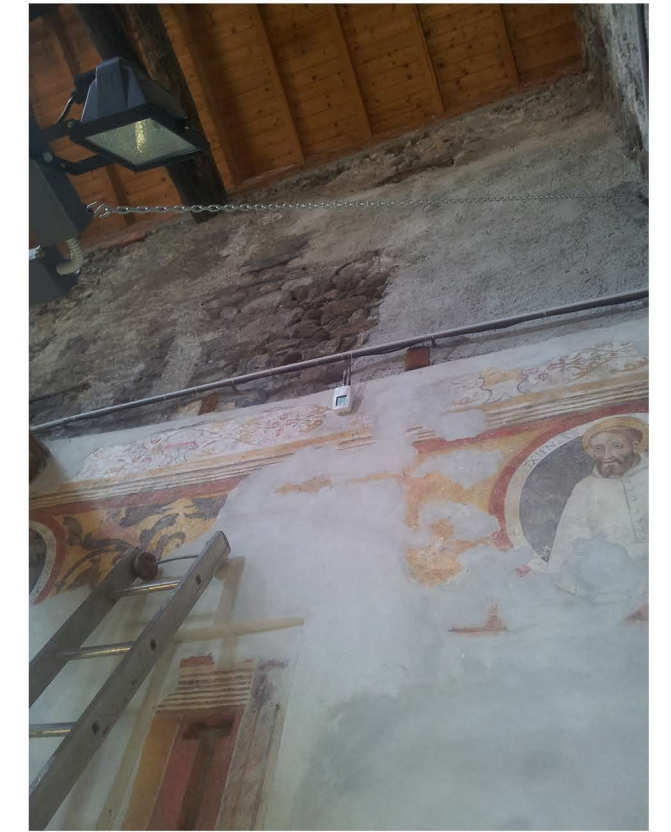
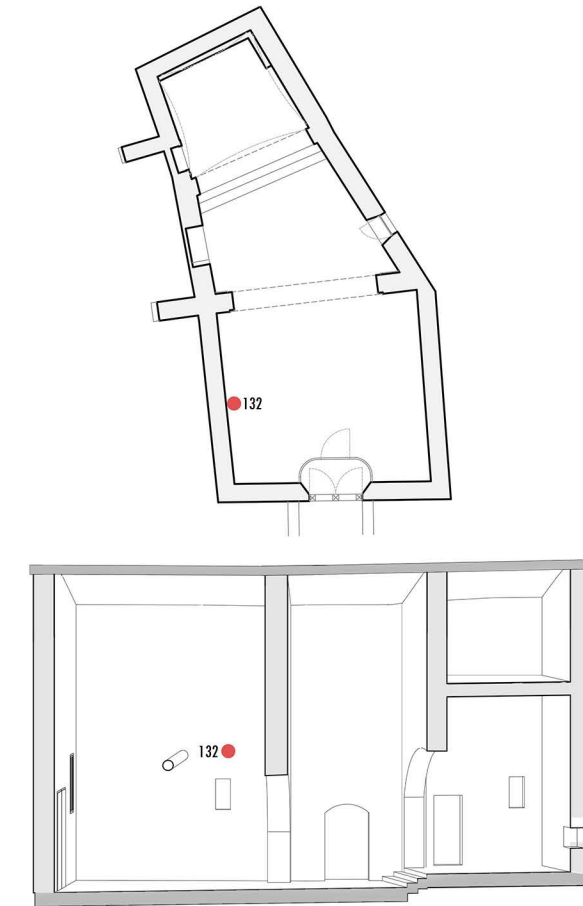
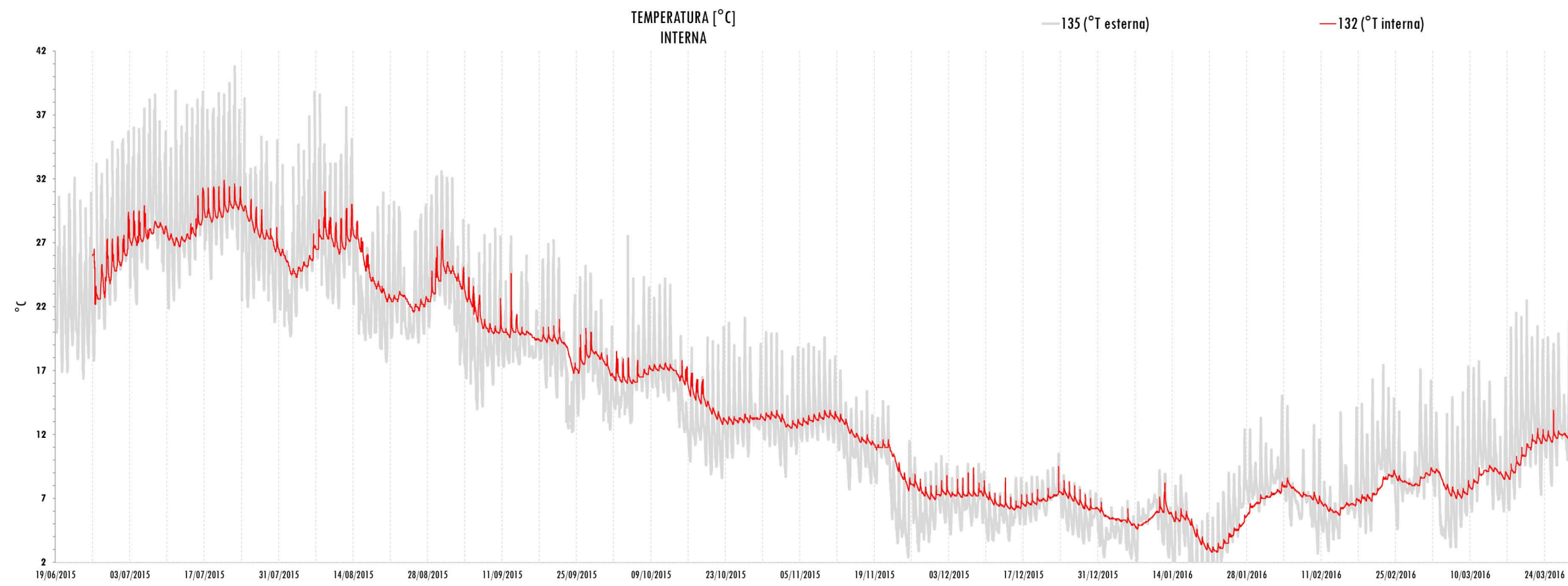


134



135

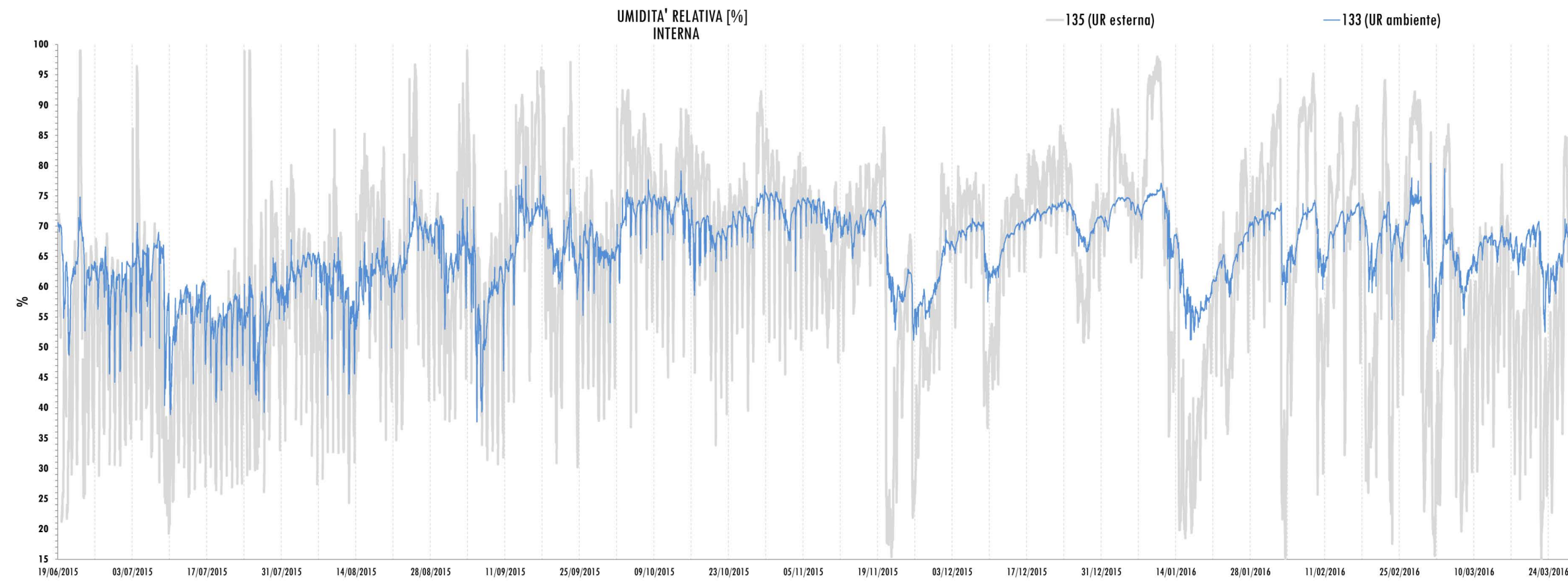
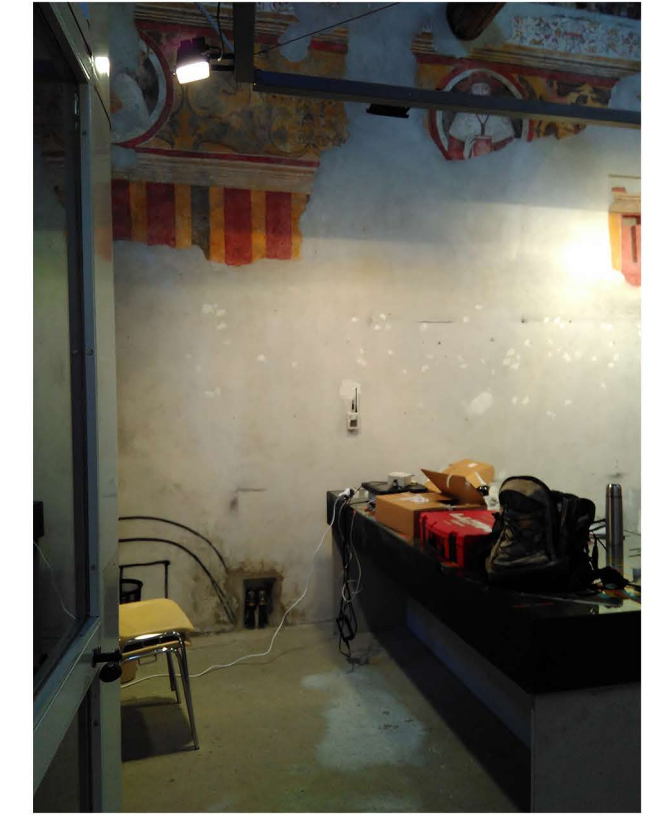
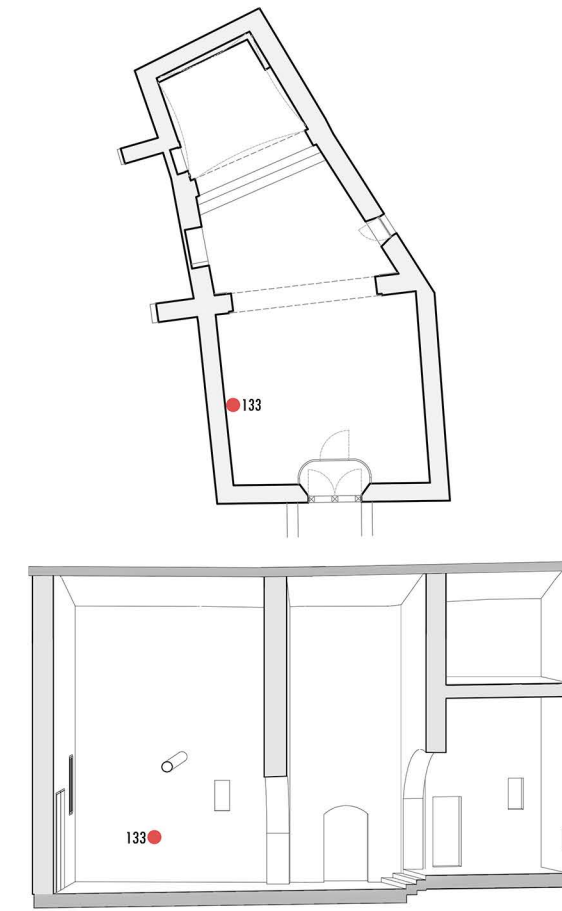
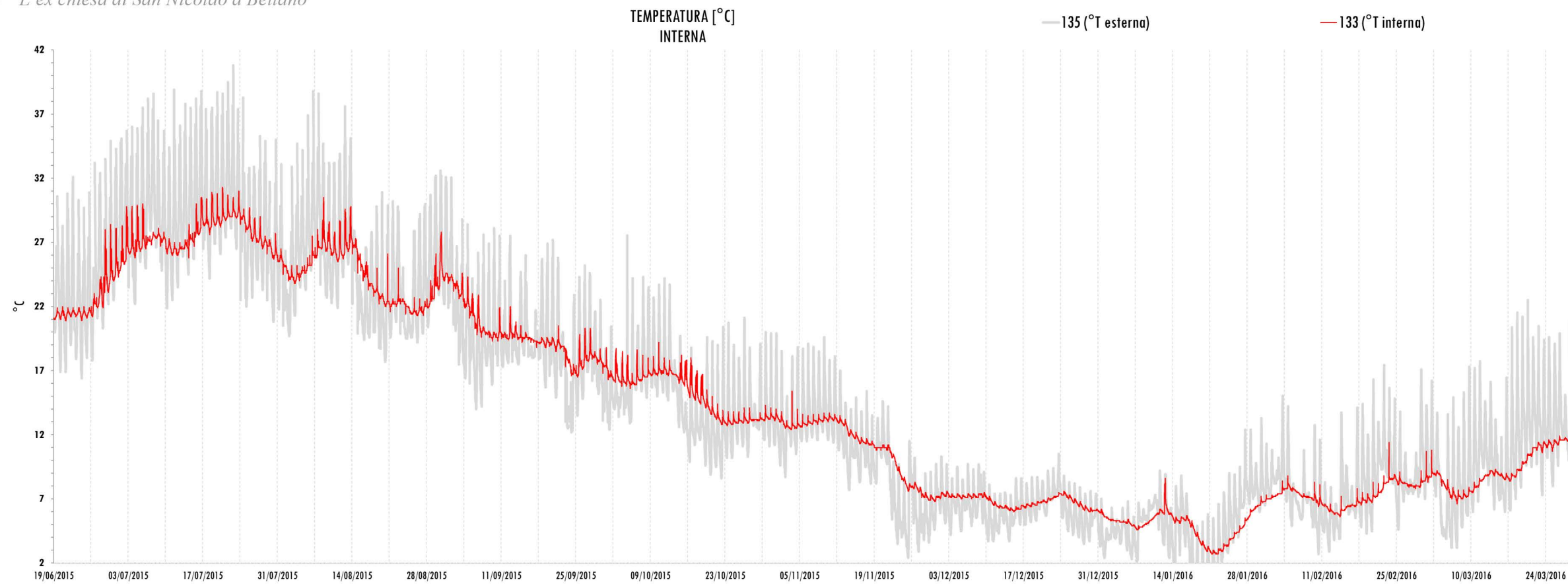




sonda 132 [ambiente]					
periodo	grandezza	simbolo	unità di misura	valore	data
06/26/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria max	$\theta$ max	°C	31,90	20/07/2015
06/26/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria min	$\theta$ min	°C	2,80	23/01/2016
06/26/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria media	$\theta$ medio	°C	14,56	
06/26/2015 - 03/30/2016	max escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 max	°C	12,40	20/03/2016
06/26/2015 - 03/30/2016	min escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 min	°C	0,10	30/03/2016
06/26/2015 - 03/30/2016	media escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 medio	°C	2,05	
06/26/2015 - 03/30/2016	umidità relativa max	u max	UR%	76,90	12/01/2016
06/26/2015 - 03/30/2016	umidità relativa min	u min	UR%	32,90	19/03/2016
06/26/2015 - 03/30/2016	umidità relativa media	u medio	UR%	65,27	
06/26/2015 - 03/30/2016	max escursione di umidità relativa su 24 h	$\Delta u$ 24 max	UR%	35,20	26/12/2015
06/26/2015 - 03/30/2016	min escursione di umidità relativa su 24 h	$\Delta u$ 24 min	UR%	0,50	05/01/2016
06/26/2015 - 03/30/2016	media escursione di umidità relativa su 24 h	$\Delta u$ 24 medio	UR%	8,49	
06/26/2015 - 03/30/2016	escursione di temperatura sul periodo	$\Delta\theta$ ann	°C	29,10	
06/26/2015 - 03/30/2016	escursione di temperatura sul periodo	$\Delta u$ ann	UR%	44,00	

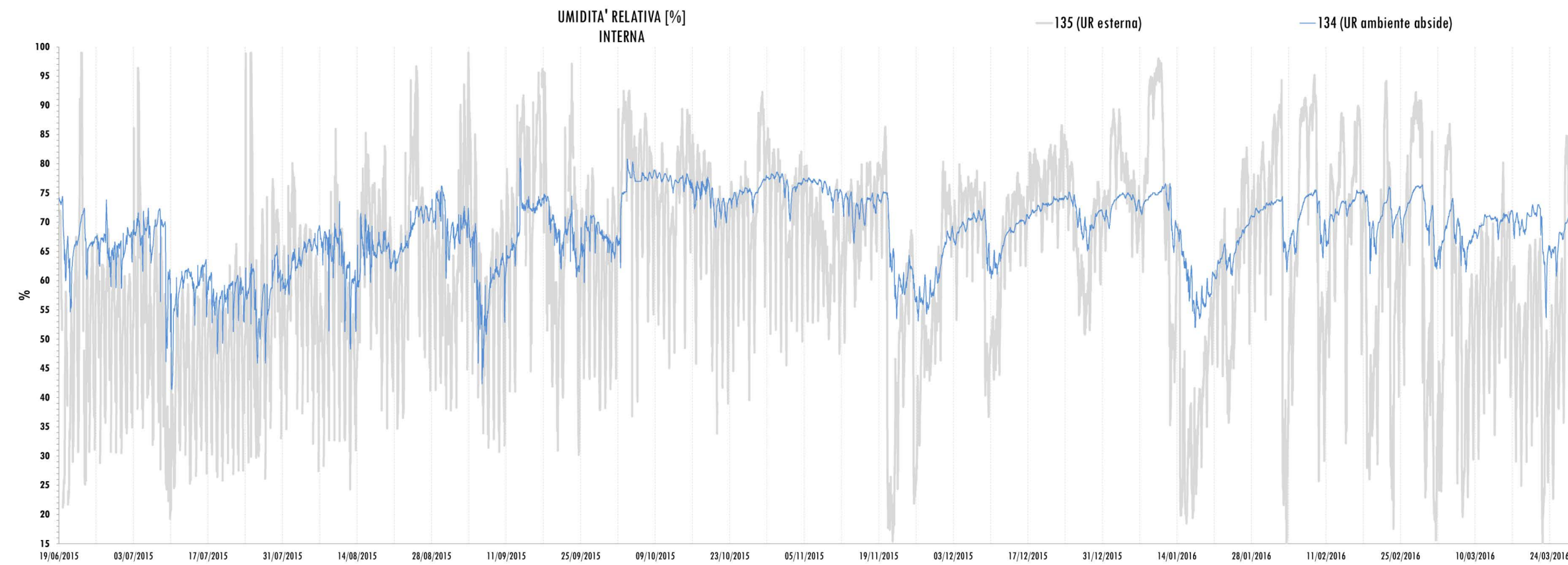
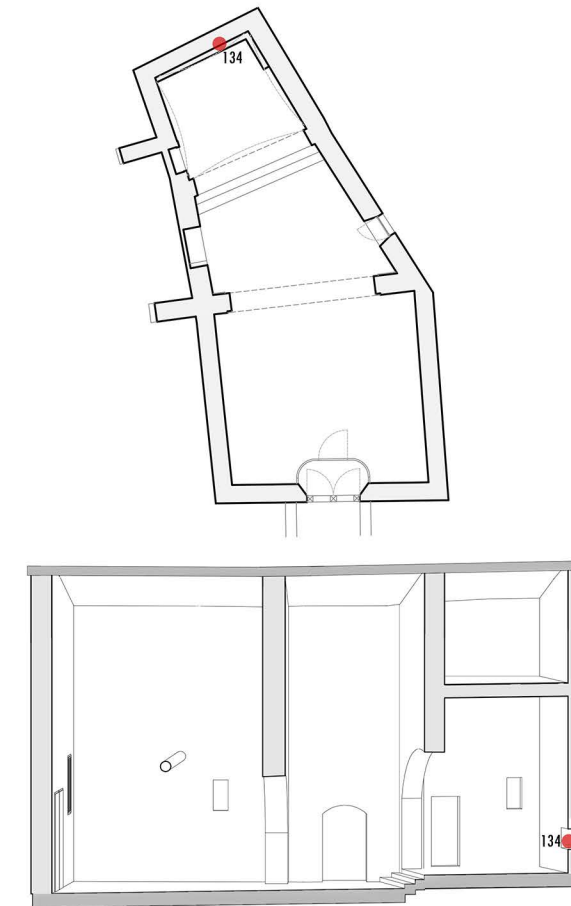
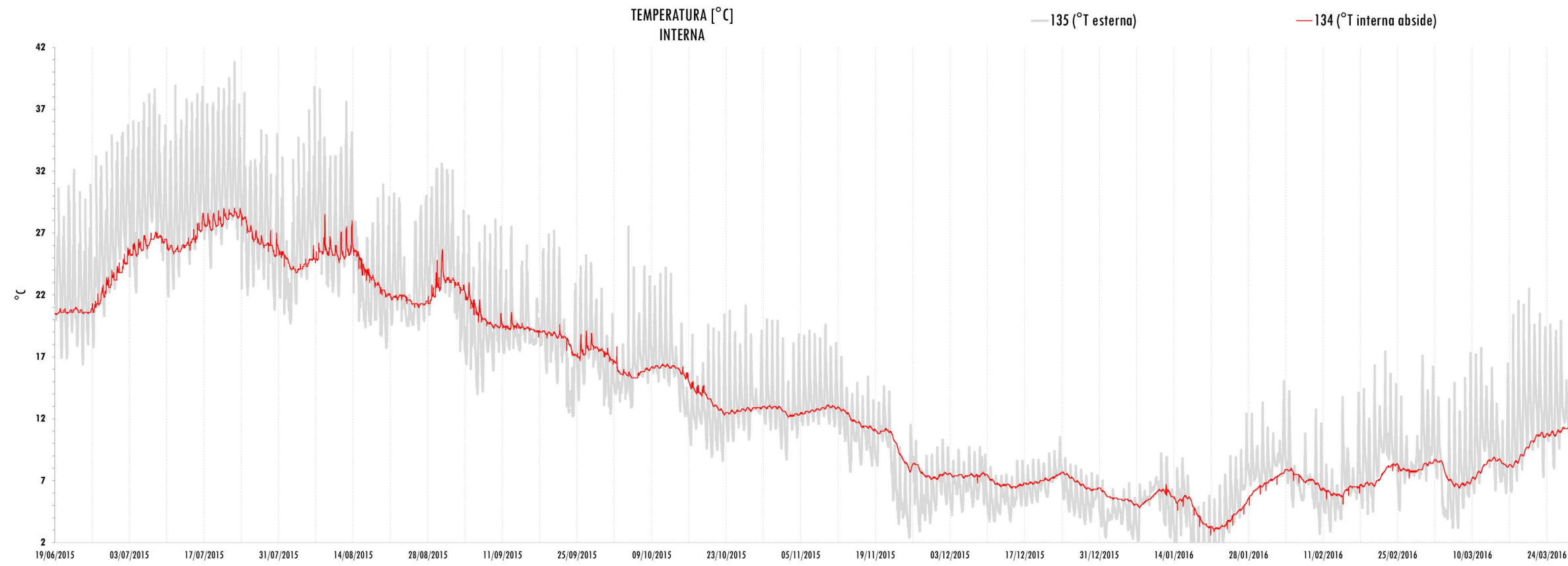
Note

Durante il sopralluogo del 31 marzo 2016 la sonda non è più attiva (il sensore è stato rimosso per sostituire il sensore danneggiato della sonda 131). La sonda sarà ripristinata o sostituita dopo la sua *riparazione*.

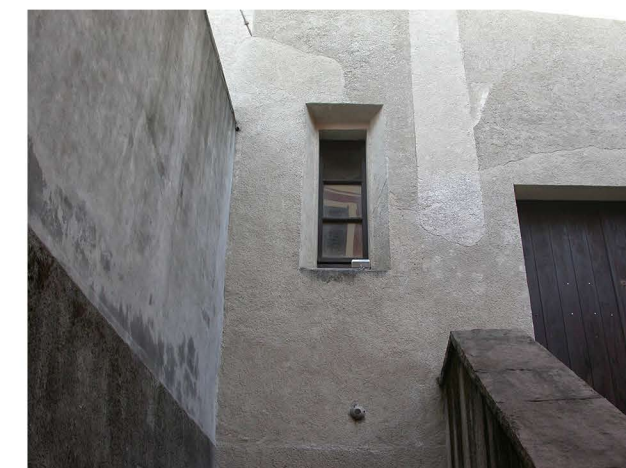
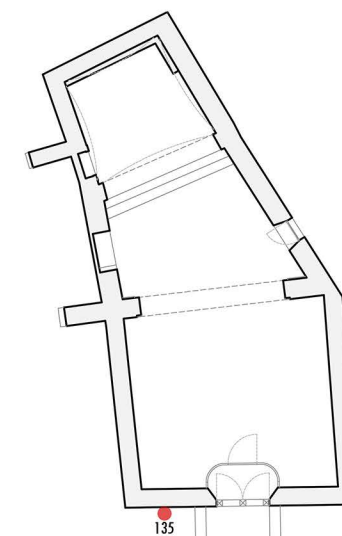
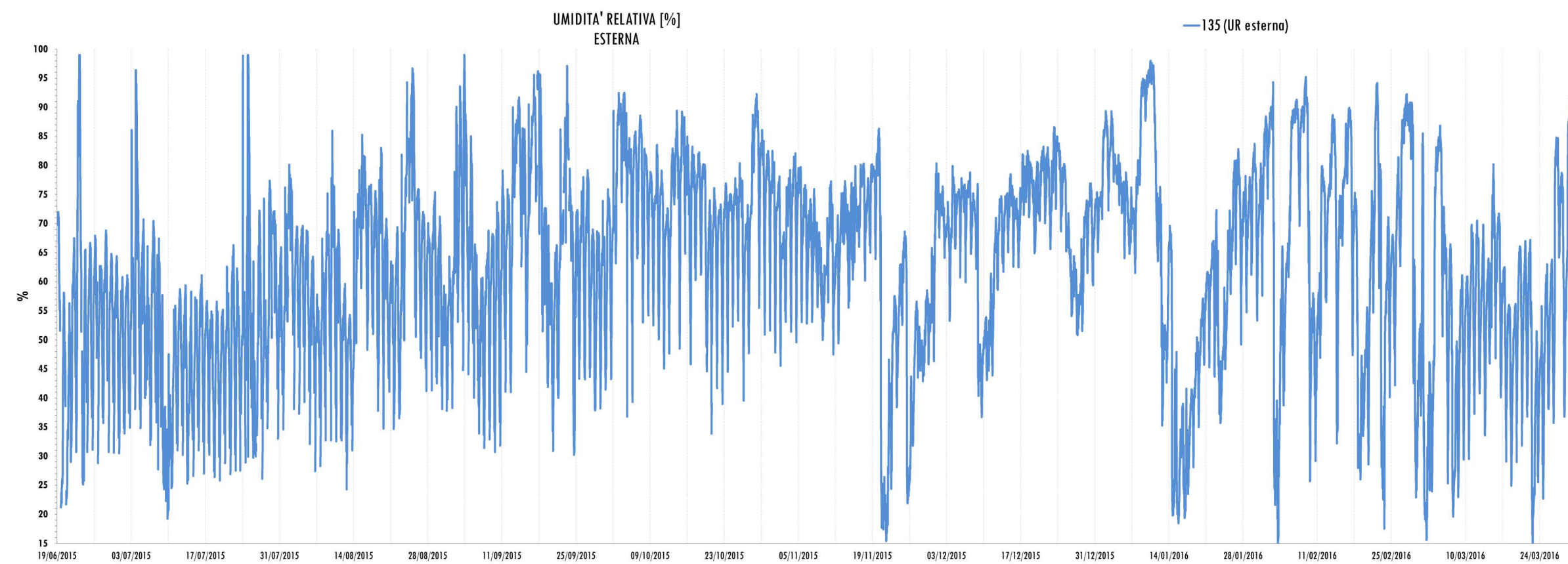
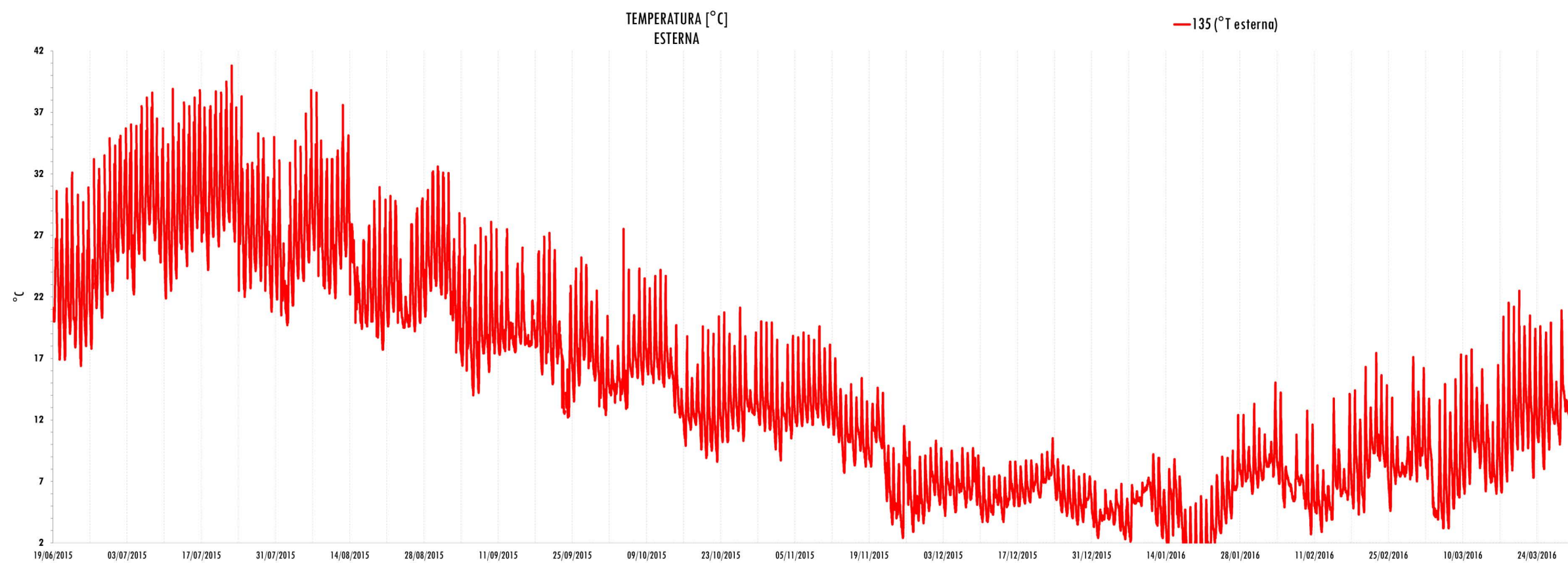


sonda 133 [ambiente]					
periodo	grandezza	simbolo	unità di misura	valore	data
06/19/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria max	$\theta$ max	°C	32,00	01/11/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria min	$\theta$ min	°C	2,70	24/01/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria media	$\theta$ medio	°C	14,43	
06/19/2015 - 03/30/2016	max escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 max	°C	22,50	11/02/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	min escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 min	°C	0,10	05/01/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	media escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 medio	°C	0,72	
06/19/2015 - 03/30/2016	umidità relativa max	u max	UR%	80,30	03/03/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	umidità relativa min	u min	UR%	15,80	12/02/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	umidità relativa media	u medio	UR%	66,00	
06/19/2015 - 03/30/2016	max escursione di umidità relativa su 24 h	$\Delta u$ 24 max	UR%	57,00	10/02/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	min escursione di umidità relativa su 24 h	$\Delta u$ 24 min	UR%	0,50	04/01/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	media escursione di umidità relativa su 24 h	$\Delta u$ 24 medio	UR%	9,76	
06/19/2015 - 03/30/2016	escursione di temperatura sul periodo	$\Delta\theta$ ann	°C	29,30	
06/19/2015 - 03/30/2016	escursione di temperatura sul periodo	$\Delta u$ ann	UR%	64,50	





sonda 134 [ambiente abside]					
periodo	grandezza	simbolo	unità di misura	valore	data
06/19/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria max	$\theta$ max	°C	29,00	23/07/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria min	$\theta$ min	°C	2,60	21/01/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria media	$\theta$ medio	°C	14,08	
06/19/2015 - 03/30/2016	max escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 max	°C	3,40	30/08/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	min escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 min	°C	0,10	09/02/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	media escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 medio	°C	0,36	
06/19/2015 - 03/30/2016	umidità relativa max	u max	UR%	80,90	13/09/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	umidità relativa min	u min	UR%	41,40	10/07/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	umidità relativa media	u medio	UR%	68,52	
06/19/2015 - 03/30/2016	max escursione di umidità relativa su 24 h	$\Delta u$ 24 max	UR%	23,90	05/09/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	min escursione di umidità relativa su 24 h	$\Delta u$ 24 min	UR%	0,40	29/02/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	media escursione di umidità relativa su 24 h	$\Delta u$ 24 medio	UR%	4,71	
06/19/2015 - 03/30/2016	escursione di temperatura sul periodo	$\Delta\theta$ ann	°C	26,40	
06/19/2015 - 03/30/2016	escursione di temperatura sul periodo	$\Delta u$ ann	UR%	39,50	



sonda 135 [esterna]					
periodo	grandezza	simbolo	unità di misura	valore	data
06/19/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria max	θ max	°C	40,80	22/07/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria min	θ min	°C	-1,10	21/01/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria media	θ medio	°C	9,05	
06/19/2015 - 03/30/2016	max escursione di temperatura su 24 h	Δθ 24 max	°C	21,20	24/03/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	min escursione di temperatura su 24 h	Δθ 24 min	°C	1,00	09/01/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	media escursione di temperatura su 24 h	Δθ 24 medio	°C	6,09	
06/19/2015 - 03/30/2016	umidità relativa max	u max	UR%	99,00	03/09/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	umidità relativa min	u min	UR%	14,10	23/03/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	umidità relativa media	u medio	UR%	62,79	
06/19/2015 - 03/30/2016	max escursione di umidità relativa su 24 h	Δu24 max	UR%	73,80	23/06/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	min escursione di umidità relativa su 24 h	Δu24 min	UR%	4,50	11/01/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	media escursione di umidità relativa su 24 h	Δu24 medio	UR%	29,48	
06/19/2015 - 03/30/2016	escursione di temperatura sul periodo	Δθ ann	°C	41,90	
06/19/2015 - 03/30/2016	escursione di temperatura sul periodo	Δu ann	UR%	84,90	

### Sensore a contatto

I sensori a contatto costituiscono una delle categorie di strumenti utilizzabili per la misura della temperatura degli oggetti del patrimonio storico, spesso preziosi, vulnerabili e sempre esposti al rischio quando “maneggiati” o investigati.

Questi sensori terminano con una superficie piatta circolare metallica posta direttamente sulla superficie della muratura, e l’equilibrio è raggiunto quando lo scambio di calore fra sensore e superficie si interrompe.

Tre sono i problemi riscontrabili nel loro utilizzo: 1) nel caso la superficie muraria non sia continua o presenti delle irregolarità, il contatto termico può essere facilitato (come realizzato nell’edificio monitorato) tramite l’utilizzo di plastilina, gelatina o gel siliconico; 2) il sensore è soggetto agli agenti ambientali (luce solare o diversa temperatura dell’aria); 3) la presenza del sensore perturba la temperatura superficiale, soprattutto se questa è colpita dalla radiazione solare. In ogni caso *«solamente quando l’equilibrio radiativo non influenza troppo la temperatura superficiale e le condizioni ambientali rimangono stabili per un tempo sufficientemente lungo, le misure diventano rappresentative della temperatura superficiale.»*<sup>18</sup>

Il dispositivo installato ha le stesse caratteristiche di quelli ambientali. Le sole differenze consistono nei parametri registrati (in questo caso unicamente la temperatura in °C) e nei sensori di misura: il sensore cilindrico installato sui dispositivi ambientali è sostituito da due sensori a contatto metallici cilindrici di limitate dimensioni applicate alla superficie muraria tramite della plastilina.



<sup>18</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for Cultural Heritage*, p. 416. Testo originale: «Only when the radiative balance does not affect too much the surface temperature and the ambient conditions remain stationary for a sufficiently long time, does the measurement become representative of the surface temperature», traduzione dell’Autore.

### 5.4.3 I sistemi di misura e di monitoraggio dell'umidità nelle murature: il confronto fra quattro metodi

#### 5.4.3.1 Il procedimento adottato

Per l'installazione dei sistemi di misura e di monitoraggio del contenuto umido delle murature è stato necessario effettuare dei fori all'interno delle stesse tramite un trapano elettrico.

La scelta della muratura da *indagare* è stata effettuata in base alle considerazioni dedotte dall'analisi "storica" dell'edificio e da indagini (termografie) *in situ* utili a determinare la parete più colpita dai vari fenomeni di degrado dovuti all'umidità. Obiettivo del procedimento è stata, oltre a non intaccare in alcun modo l'apparato decorativo ad affresco, l'individuazione preliminare del probabile fronte di risalita umido in *azione* al momento dell'indagine, in maniera da prevedere tre differenti altezze da terra corrispondenti a zone soggette, non soggette o soggette parzialmente o in modo alternato al fronte umido.

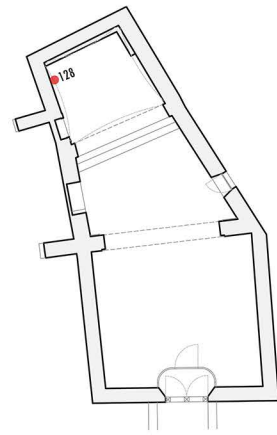
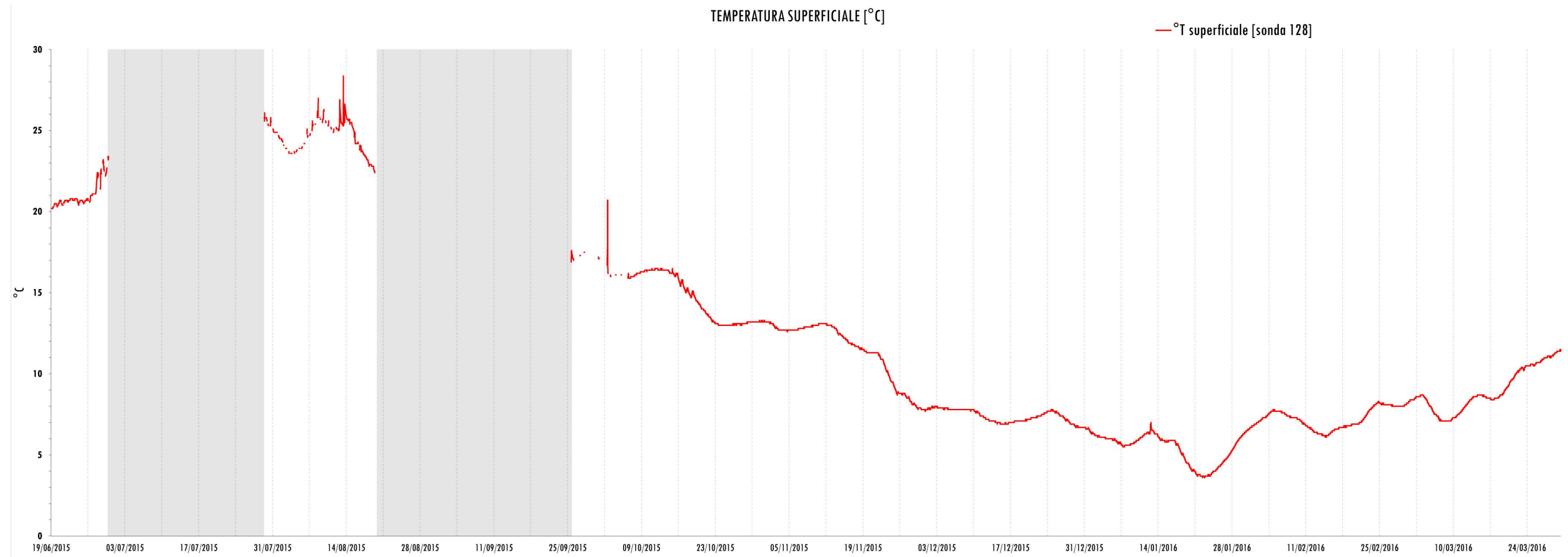
Una volta stabilite le altezze alle quali effettuare i fori, le cavità sono state realizzate adottando alcuni accorgimenti:

- ° la parete è stata *forata* esclusivamente nei punti prescelti (v. Fig. 21) e fino alle profondità stabilite preliminarmente (2 e 10 cm), con punte di sezione adeguata per la posa delle sonde e degli strumenti di monitoraggio e atte a non intaccare inutilmente altre zone della murature;
- ° i fori sono stati accuratamente puliti prima del prelievo delle polveri, in modo tale da eliminare le polveri intermedie, prelevare campioni alle profondità stabilite e "ripulire" la cavità per la posa delle sonde;
- ° i campioni destinati alle analisi di laboratorio sono stati immediatamente posti in contenitori (provette di vetro) a tenuta, etichettati per la loro archiviazione e posti in modo che le polveri non venissero a contatto con il tappo di tenuta in plastica.

#### 5.4.3.2 La misura in laboratorio: il metodo gravimetrico (o ponderale)

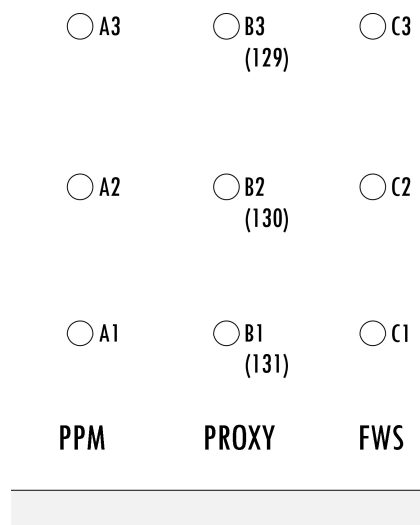
Il primo metodo utilizzato per la misura del contenuto d'acqua nelle murature è stato quello gravimetrico.

L'indagine diagnostica (effettuata nella giornata del 17 giugno 2015) è stata condotta su campioni estratti dalla parete nord-est in due file verticali (indicate in seguito con le lettere *A* e *B*) a tre differenti altezze dalla quota di pavimento interno (43, 83 e 127 cm): da ciascun *punto di rilievo* sono stati estratti in successione due campioni, uno superficiale (ad una profondità dalla superficie della parete compresa fra 1 e 2 cm) e uno profondo (a una profondità di circa 10 cm). In totale sono stati prelevati dodici campioni. Come punti di "riferimento" sono stati prelevati, sulla parete esposta a ovest, altri due campioni ad un'altezza di 100 cm



sonda 128 [contatto]					
periodo	grandezza	simbolo	unità di misura	valore	data
10/06/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria max	$\theta$ max	°C	16,50	14/10/2015
10/06/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria min	$\theta$ min	°C	5,50	08/01/2016
10/06/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria media	$\theta$ medio	°C	10,25	
10/06/2015 - 03/30/2016	max escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 max	°C	0,80	24/11/2015
10/06/2015 - 03/30/2016	min escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 min	°C	0,00	09/03/2016
10/06/2015 - 03/30/2016	media escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 medio	°C	0,21	
10/06/2015 - 03/30/2016	escursione di temperatura sul periodo	$\Delta\theta$ ann	°C	11,00	

dal pavimento alle medesime profondità. I campioni sono stati prelevati e raccolti in provette di vetro per la loro successiva analisi in laboratorio.



**Figura 31.** Schema di prelievo dei campioni di muratura.

Come descritto precedentemente (v. § 5.3) la termobilancia utilizzata è stata quella in dotazione del Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano e l'analisi è stata condotta dall'ing. Massimo Valentini.

I risultati sono stati riassunti nella seguente tabella (v. Tab. 10):

**Tabella 10.** Campioni estratti in data 17 giugno 2015: risultati delle prove gravimetriche.

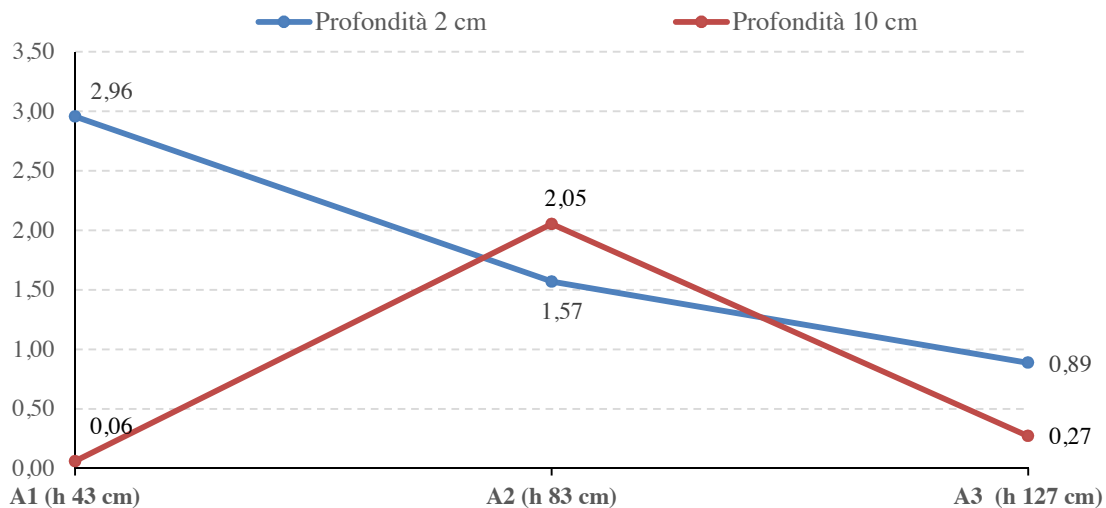
Provino	Materiale	[cm]		Peso [g]				%
		<i>h</i>	<i>p</i>	$P_p$	$P_t$	$P_u$	$P_s$	CA
A1	Intonaco	43	2	4,270	0,878	6,437	5,522	<b>2,96</b>
A1	Intonaco + pietra	43	10	4,274	0,896	8,455	7,557	<b>0,06</b>
A2	Intonaco	83	2	4,446	0,891	7,019	6,102	<b>1,57</b>
A2	Pietra	83	10	4,270	0,880	7,982	7,045	<b>2,05</b>
A3	Intonaco	127	2	4,280	0,895	6,198	5,294	<b>0,89</b>
A3	Pietra	127	10	4,455	0,887	8,288	7,393	<b>0,27</b>
B1	Intonaco	43	2	4,225	0,891	6,553	5,644	<b>1,27</b>
B1	Pietra	43	10	4,293	0,882	8,121	7,232	<b>0,24</b>
B2	Intonaco	83	2	4,436	0,887	7,261	6,311	<b>3,36</b>
B2	Pietra	83	10	4,389	0,873	7,820	6,917	<b>1,19</b>
B3	Intonaco	127	2	4,301	0,895	6,777	5,854	<b>1,80</b>
B3	Pietra	127	10	4,261	0,876	7,769	6,871	<b>0,84</b>

dove *h* è l'altezza in centimetri dal piano pavimento, *p* è la profondità in centimetri del campione,  $P_p$  è il peso della provetta,  $P_t$  è il peso del tappo della pro-

vetta,  $P_u$  è il peso *umido* del campione,  $P_s$  è il peso *secco* e  $CA$  è ottenuto dalla formula

$$\left( \frac{P_u - P_s - P_t}{P_s - P_p} \right) \times 100.$$

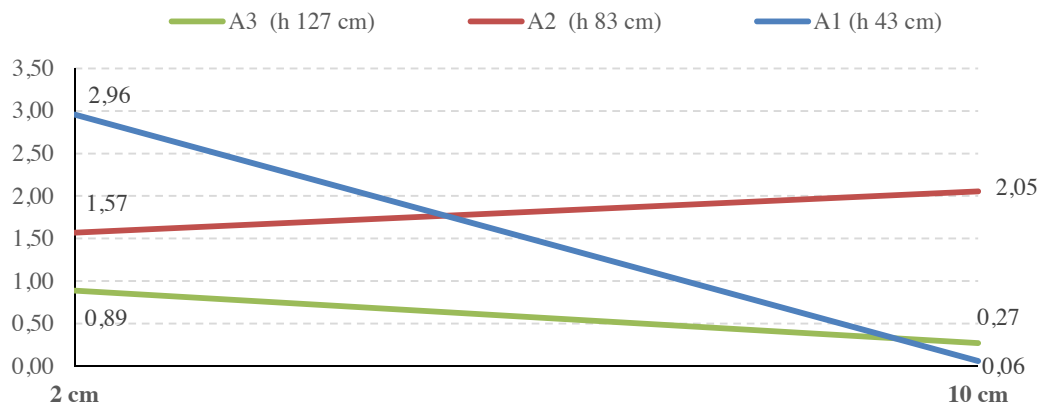
I risultati delle due file A e B sono stati poi riassunti nei seguenti diagrammi.



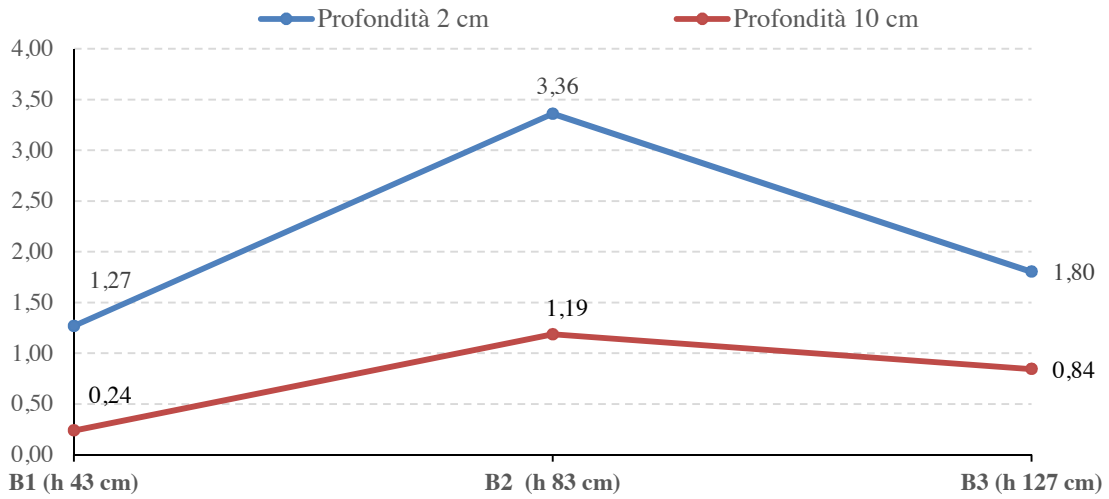
**Figura 32.** Diagrammi del contenuto umido dei provini A.

Per i provini A si può constatare come alla profondità di 2 cm (linea blu) il contenuto d'acqua aumenti con il diminuire dell'altezza da terra, raggiungendo il dato significativo di quasi il 3%, mentre alla quota più alta il valore è di circa 1/3. A una profondità maggiore invece (linea rossa) il valore inferiore è appunto presente alla quota più bassa (circa lo 0,1%), mentre il valore massimo si registra alla quota intermedia (più alta del rispettivo valore rilevato in superficie).

La scarsa equiparazione fra i tre campioni prelevati in profondità è dovuta presumibilmente all'eterogeneità dei materiali, mentre le polveri di intonaco cementizio prelevate in superficie appaiono più omogenee.

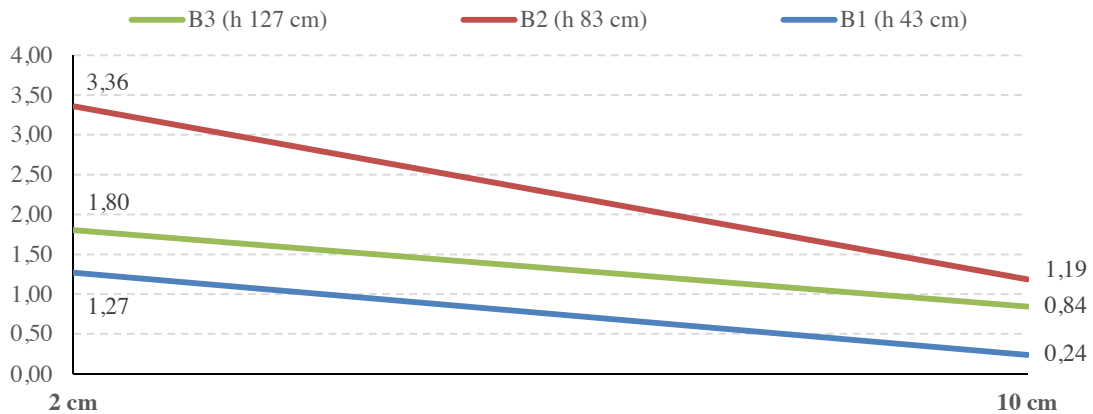


**Figura 33.** Diagrammi del contenuto umido dei provini A, distribuzione in sezione.



**Figura 34.** Diagrammi del contenuto umido dei provini *B*.

Dall'analisi dei risultati dei provini *B* si può constatare come l'andamento dei due grafici ricalchi quello disegnato per i provini *A* alla profondità di 10 cm. Anche in questo caso i valori assoluti maggiori si registrano in superficie (raggiungendo il 3,36% alla quota intermedia), mentre quelli più bassi si registrano alla quota più vicina al pavimento.



**Figura 35.** Diagrammi del contenuto umido dei provini *B*, distribuzione in sezione.



### 5.4.3.3 Il monitoraggio in continuo — 1: il metodo PPM (A1–A2–A3)

Tre dei sei fori realizzati nella muratura per il prelievo dei campioni sono stati utilizzati per la posa di una prima metodologia di misura per il monitoraggio in continuo del contenuto d'acqua nelle murature, la tecnica dei punti di saggio permanenti (o metodo PPM).

Il metodo consiste nell'inserimento, all'interno dei fori ricavati nella muratura, di cilindri in laterizio essiccati precedentemente in stufa; sigillando il foro con plastilina i cilindri si portano in equilibrio con la cavità all'interno del foro assorbendo umidità in relazione al contenuto umido della muratura. Con cadenza trimestrale i campioni sono poi stati sostituiti: la misura della quantità d'acqua al loro interno può sia evitare il continuo prelievo di campioni degli strati per la misura ponderale, sia aiutare a comprendere le variazioni temporali del contenuto umido della muratura (o per meglio dire della porzione di muratura interessata dall'indagine).

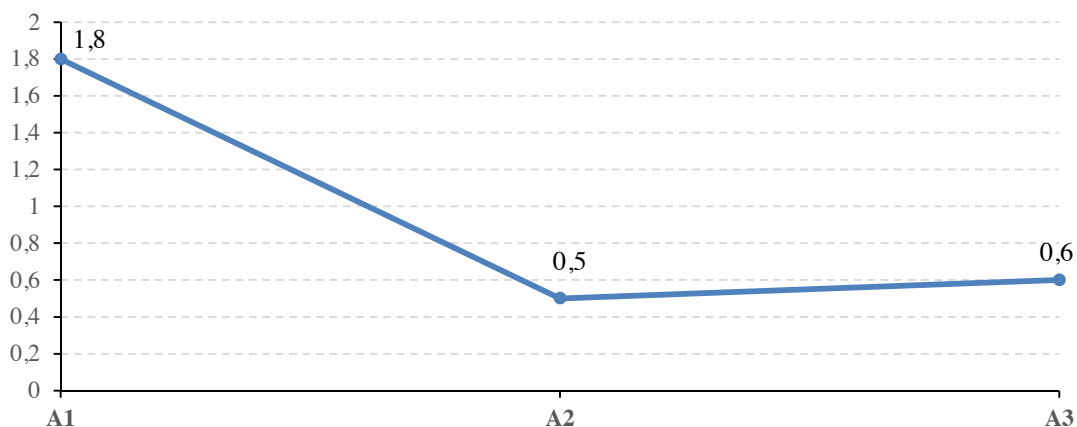
I primi risultati sono quelli relativi al periodo 17 giugno — 02 ottobre 2015 (circa tre mesi e mezzo). Il procedimento utilizzato è simile a quello adottato con il metodo gravimetrico (vedi § 5.4.3.2): i campioni sono stati pesati prima e dopo la loro essiccazione in stufa, e il contenuto umido è ricavato dalla loro differenza.

I risultati ottenuti sono riepilogati nella seguente tabella:

**Tabella 11.** Metodo PPM: risultati del monitoraggio 17/06/2015 — 02/10/2015

PPM	Altezza dal pavimento [cm]	Contenuto umido [%]
A1	43	<b>1,80</b>
A2	83	<b>0,50</b>
A3	127	<b>0,60</b>

PPM 17/06 — 02/10/2015

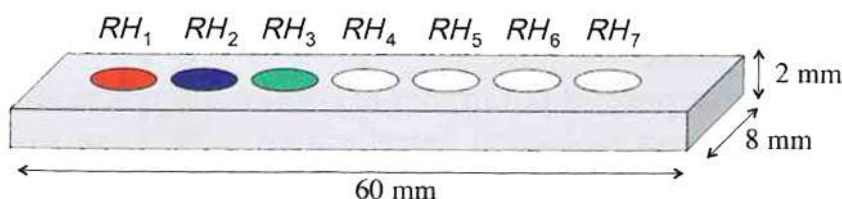


Nel grafico si può sottolineare la differenza fra il contenuto umido del campione più vicino al pavimento (1,80%) e quello dei campioni alle due altezze superiori (circa 1/3).

## 5.4.3.4 Il monitoraggio in continuo — 2: il metodo FWS (C1–C2–C3)

Il secondo metodo utilizzato è quello costituito da tre *free-water sensors* (o FWS, v. Fig. 36), dei sensori passivi che, seguendo l'equilibrio dinamico con l'acqua libera, subiscono, a determinati livelli di UR, una trasformazione irreversibile.

I sensori sono piccoli parallelepipedi rivestiti nella parte superiore da una striscia trasparente, permeabili al vapore acqueo nella parte inferiore: ogni sensore è diviso in cinque settori, tutti ricoperti da un disco bianco di carta, e ognuno contenente una pastiglia composta da colorante (diverso per ciascun livello) e da sali che diventano deliquescenti a determinati livelli di UR (68%, 73%, 79%, 86% e 94%). «Quando una soglia di deliquescenza è raggiunta o superata, l'umidità assorbita scioglie i sali, la soluzione attiva il colorante e il disco di carta coloratosi permanentemente indica che uno specifico livello di UR è stato raggiunto. Ogni disco e ogni colore sono relativi ad uno specifico livello di UR che può essere letto sul lato frontale»<sup>19</sup>.



**Figura 36.** Schema di un *free-water sensor*, da D. CAMUFFO, *op. cit.*, p. 463.

I sensori si *attivano* immediatamente una volta tolti dalla loro custodia di protezione, ed il fenomeno di “colorazione” è irreversibile: pertanto sono strumenti utili per la sola misura del massimo livello di UR raggiunto nel periodo di monitoraggio. Come per il precedente metodo, con cadenza trimestrale sono stati sostituiti con altri sensori.

L'indagine ha avuto inizio il 02 ottobre 2015.

<sup>19</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for Cultural Heritage*, p. 463. Testo originale: «When one of the above deliquescence thresholds has been reached or exceeded, the absorbed moisture dissolves the salt, the solution activates a dye and the white paper disk becomes and remains permanently coloured indicating that this specific RH level has been reached. Each disk and each colour is related to a specific RH level that can be read on the front side», traduzione dell'Autore.

I primi risultati sono quelli relativi al periodo 02 ottobre 2015 — 13 gennaio 2016.

**C1 (h. 43 cm)**



Il *FWS* relativo alla cavità più vicina al pavimento è quella dove gli effetti dell'umidità e dell'acqua sono evidenti. Si può infatti notare come tutti e cinque i settori siano *colorati* (sintomo dell'avvenuto contatto fra il colorante e i sali contenuti), e nella parte destra (quella a profondità maggiore) siano comparsi i primi fenomeni di danneggiamento del  *sensore* dopo i tre mesi di monitoraggio.

Il valore dell'UR misurato nella cavità è pertanto superiore al 94%.

**C2 (h. 83 cm)**



Il *FWS* intermedio è più *leggibile* del primo. Sono quattro i settori colorati, sull'ultimo settore non sono presenti evidenti segni di colore, e non sono presenti fenomeni di ammaloramento del sensore.

Il valore dell'UR misurato nella cavità è pertanto compreso fra l'86% e il 94%.

**C3 (h. 127 cm)**



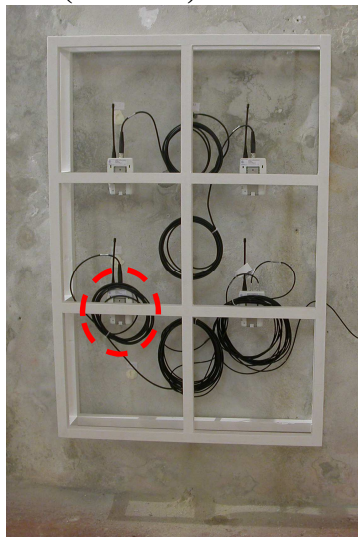
L'ultimo *FWS*, all'altezza da terra maggiore, presenta due soli settori colorati, mentre sul terzo non sono evidenti segni di colore.

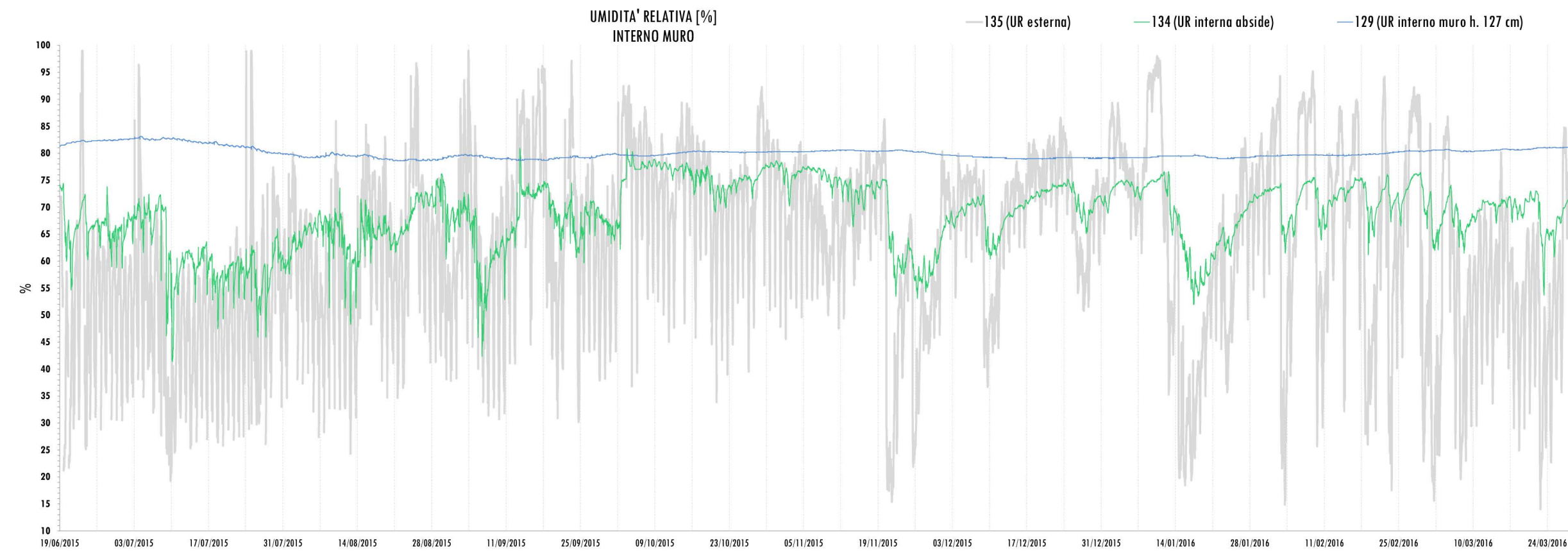
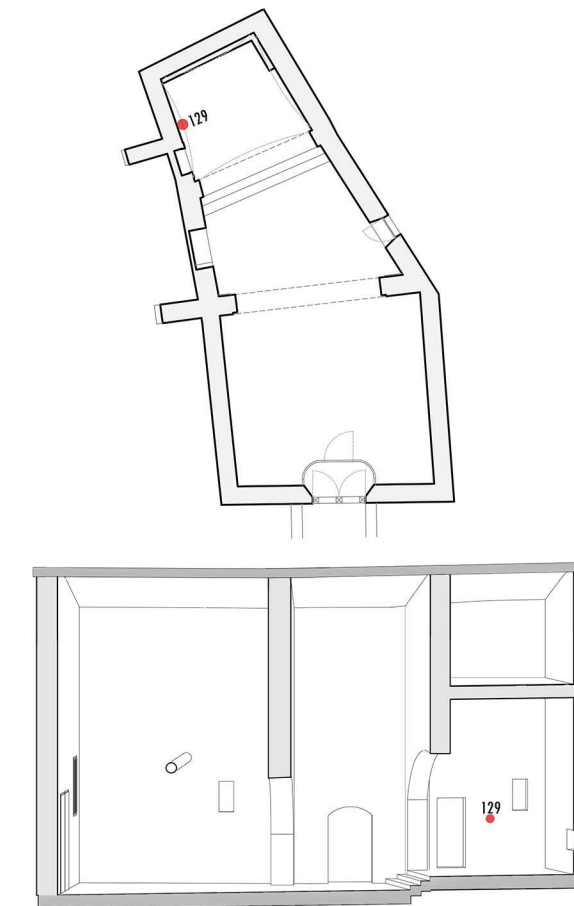
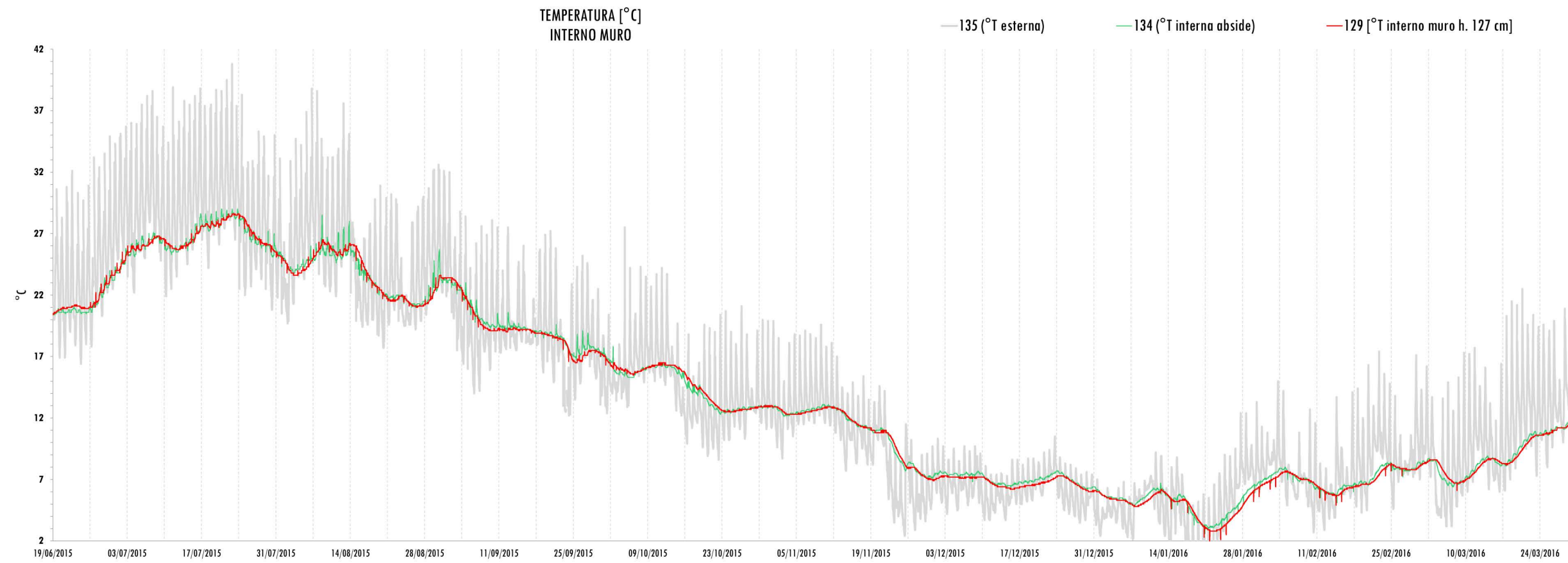
Il valore dell'UR misurato nella cavità è pertanto compreso fra il 76% e il 79%.

5.4.3.5 Il monitoraggio in continuo — 3: le sonde *RHS***Sonde *RHS***

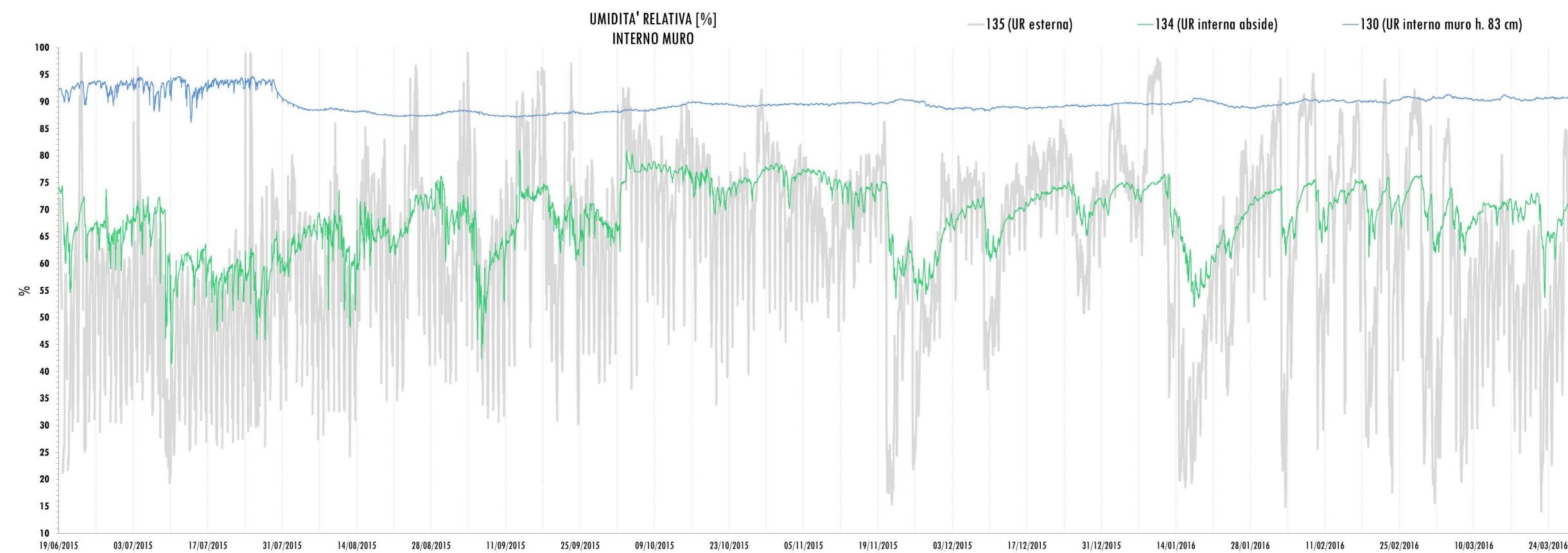
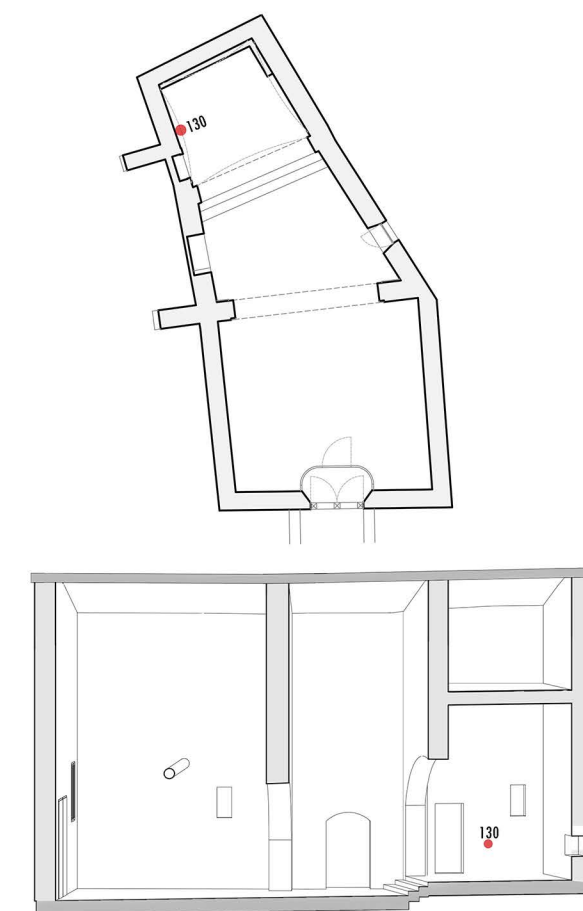
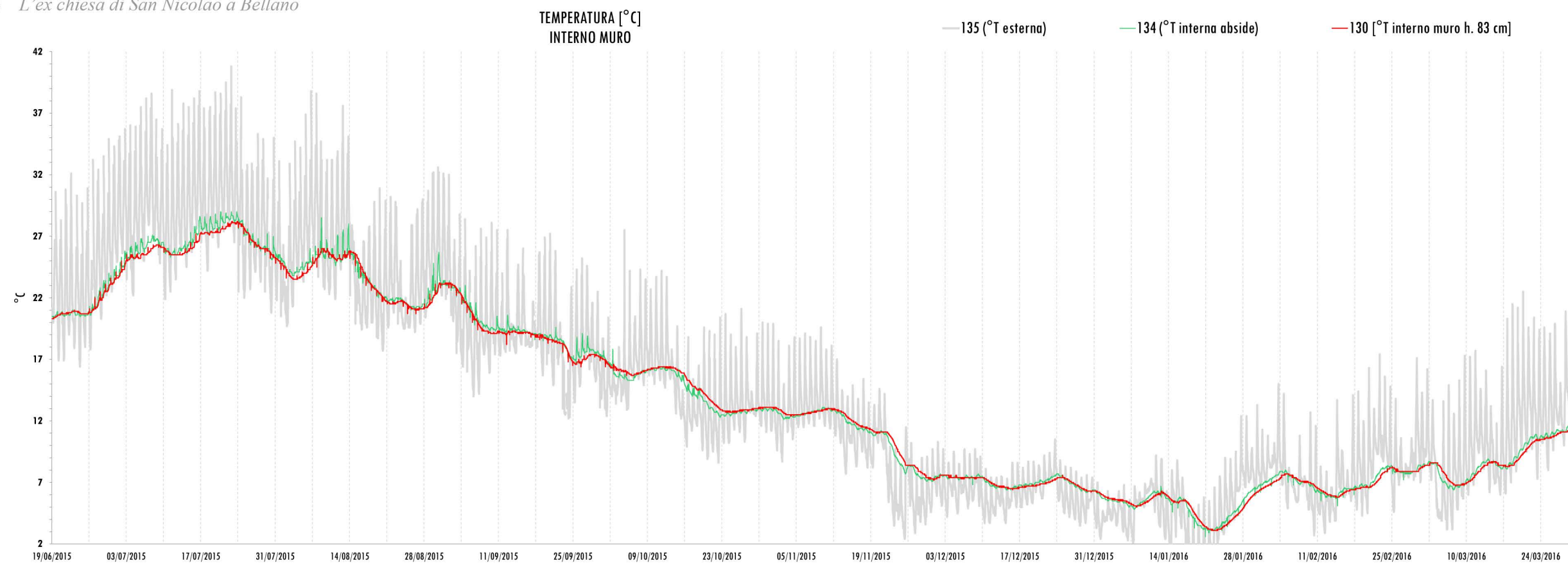
L'ultimo metodo installato è costituito dalle sonde *RHS*, *data logger* inseriti in cavità ricavate nella muratura per la registrazione in continuo dei parametri di temperatura (in °C) e di umidità relativa UR (in %) dell'aria all'interno delle cavità stesse. La “tenuta all'aria” di ciascun foro è stata assicurata tramite l'apposizione di plastilina, per evitare che potessero avvenire scambi di aria fra quella contenuta nelle cavità e quella ambientale dei locali.

I dispositivi installati hanno le caratteristiche già descritte nelle precedenti tabelle per il monitoraggio ambientale.

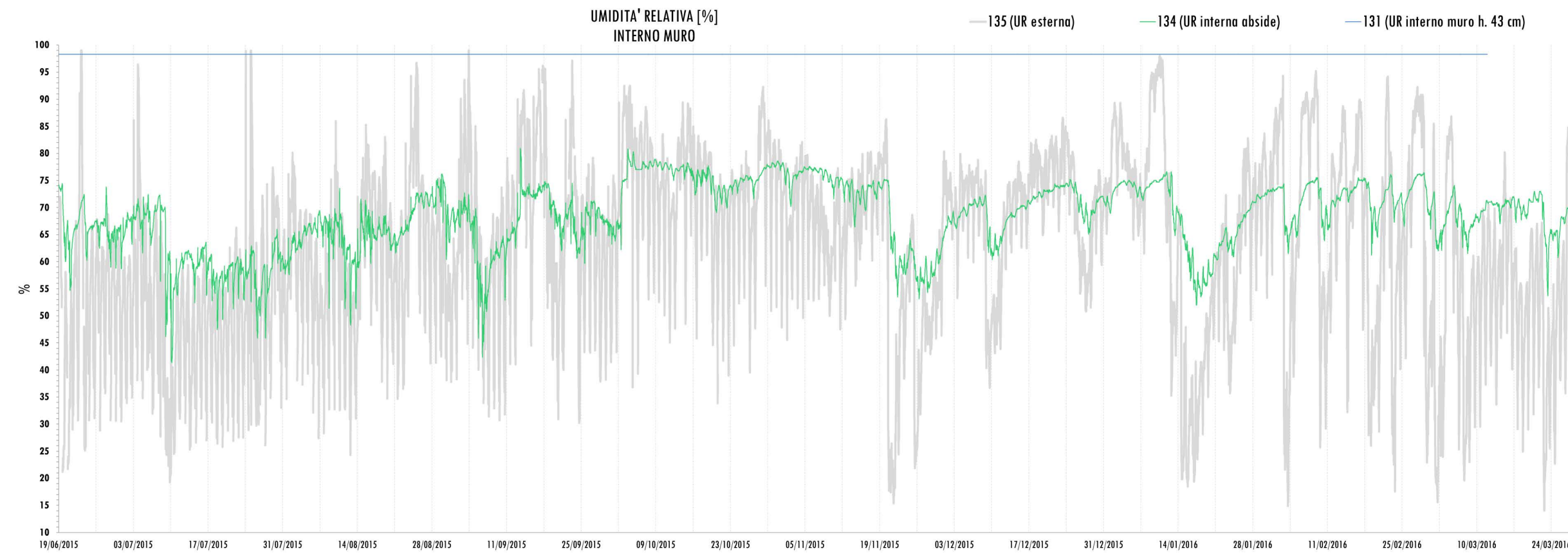
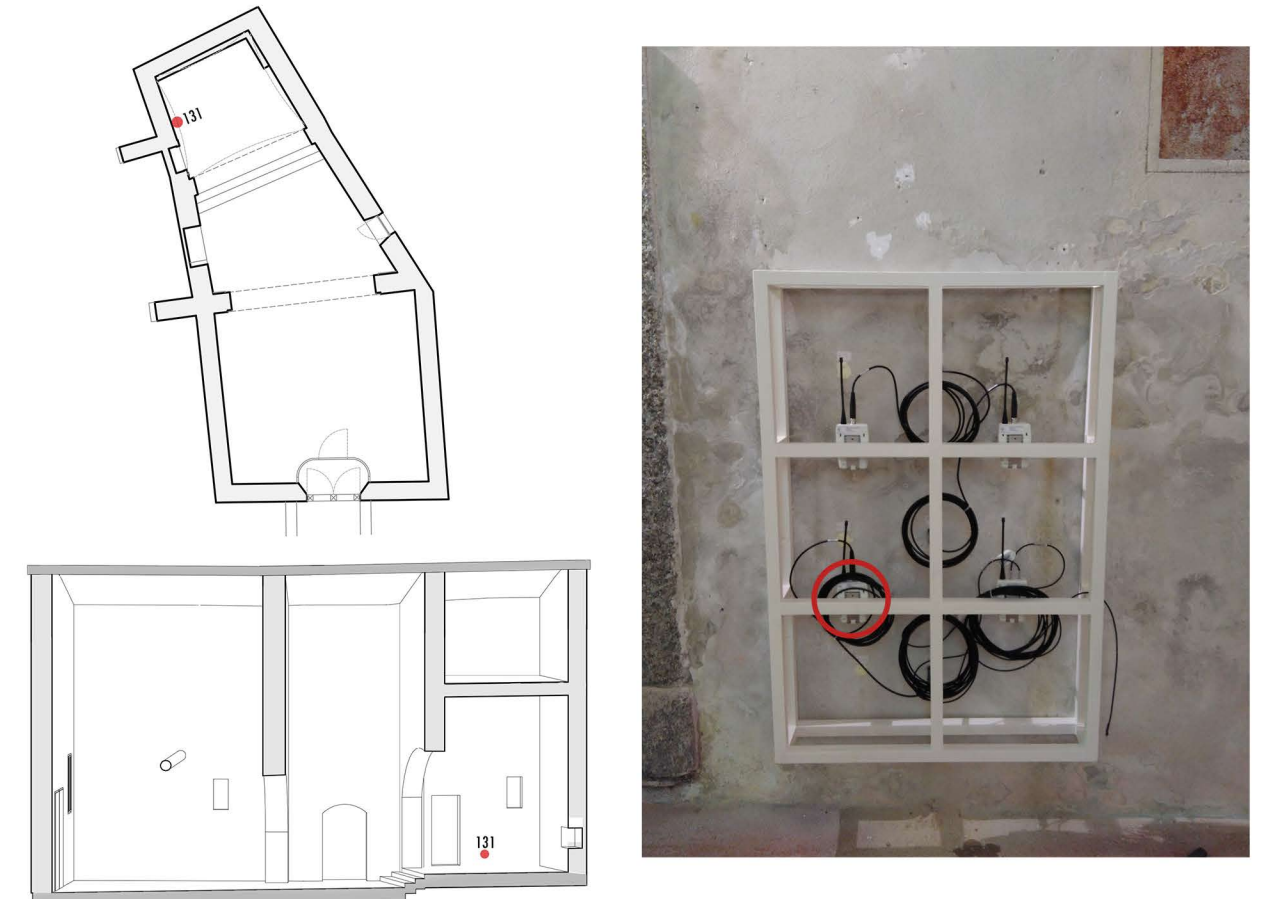
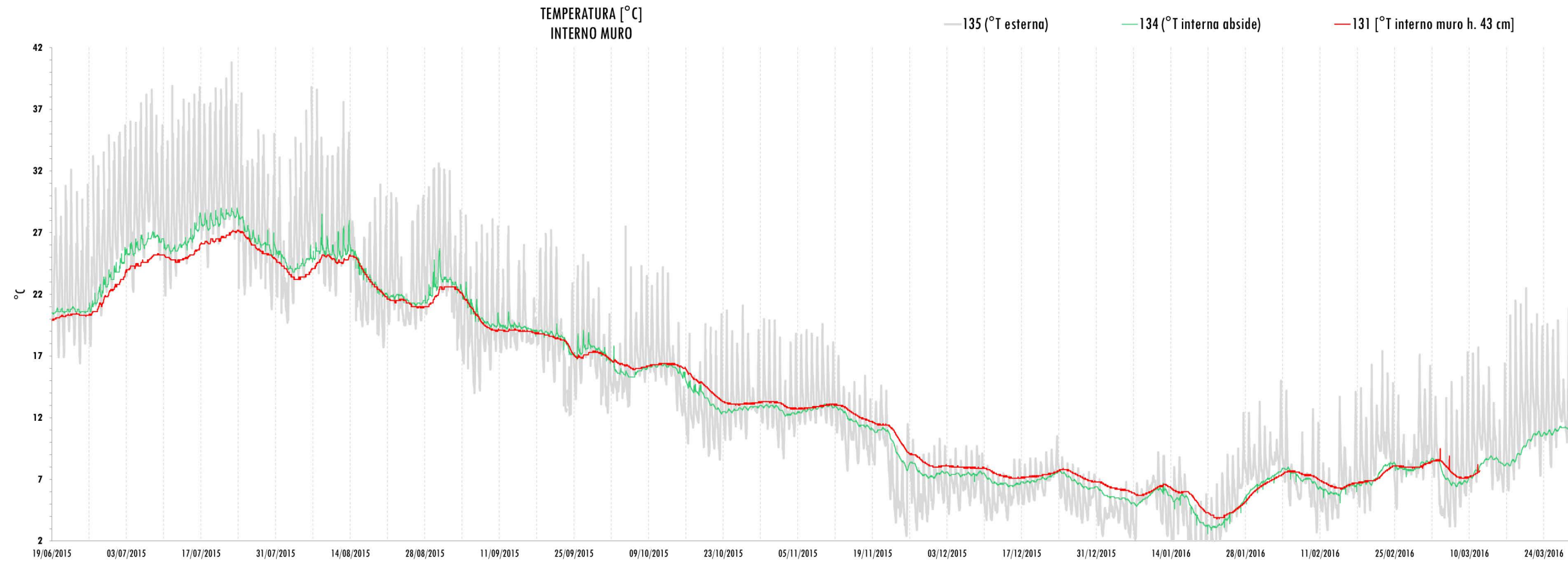
**129 (h. 43 cm)****130 (h. 83 cm)****131 (h. 127 cm)**



sonda 129 [muro h. 127 cm]					
periodo	grandezza	simbolo	unità di misura	valore	data
06/19/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria max	$\theta$ max	°C	28,60	24/07/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria min	$\theta$ min	°C	2,00	22/01/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria media	$\theta$ medio	°C	14,03	
06/19/2015 - 03/30/2016	max escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 max	°C	1,20	30/08/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	min escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 min	°C	0,00	29/02/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	media escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 medio	°C	0,21	
06/19/2015 - 03/30/2016	umidità relativa max	u max	UR%	83,10	04/07/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	umidità relativa min	u min	UR%	78,60	27/08/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	umidità relativa media	u medio	UR%	80,05	
06/19/2015 - 03/30/2016	max escursione di umidità relativa su 24 h	$\Delta u$ 24 max	UR%	0,60	18/07/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	min escursione di umidità relativa su 24 h	$\Delta u$ 24 min	UR%	0,00	04/03/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	media escursione di umidità relativa su 24 h	$\Delta u$ 24 medio	UR%	0,16	
06/19/2015 - 03/30/2016	escursione di temperatura sul periodo	$\Delta\theta$ ann	°C	26,60	
06/19/2015 - 03/30/2016	escursione di umidità sul periodo	$\Delta u$ ann	UR%	4,50	



sonda 130 [muro h. 83 cm]					
periodo	grandezza	simbolo	unità di misura	valore	data
06/19/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria max	$\theta$ max	°C	28,20	23/07/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria min	$\theta$ min	°C	3,10	24/01/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	temperatura dell'aria media	$\theta$ medio	°C	14,02	
06/19/2015 - 03/30/2016	max escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 max	°C	1,20	24/09/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	min escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 min	°C	0,00	29/03/2016
06/19/2015 - 03/30/2016	media escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 medio	°C	0,20	
06/19/2015 - 03/30/2016	umidità relativa max	u max	UR%	94,70	25/07/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	umidità relativa min	u min	UR%	86,20	13/07/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	umidità relativa media	u medio	UR%	89,76	
06/19/2015 - 03/30/2016	max escursione di umidità relativa su 24 h	$\Delta u$ 24 max	UR%	7,10	13/07/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	min escursione di umidità relativa su 24 h	$\Delta u$ 24 min	UR%	0,00	17/09/2015
06/19/2015 - 03/30/2016	media escursione di umidità relativa su 24 h	$\Delta u$ 24 medio	UR%	0,60	
06/19/2015 - 03/30/2016	escursione di temperatura sul periodo	$\Delta\theta$ ann	°C	25,10	
06/19/2015 - 03/30/2016	escursione di umidità sul periodo	$\Delta u$ ann	UR%	8,50	



sonda 131 [muro h. 43 cm]					
periodo	grandezza	simbolo	unità di misura	valore	data
06/19/2015 - 03/11/2016	temperatura dell'aria max	$\theta$ max	°C	27,20	24/07/2015
06/19/2015 - 03/11/2016	temperatura dell'aria min	$\theta$ min	°C	3,80	24/01/2016
06/19/2015 - 03/11/2016	temperatura dell'aria media	$\theta$ medio	°C	14,39	
06/19/2015 - 03/11/2016	max escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 max	°C	1,40	07/03/2016
06/19/2015 - 03/11/2016	min escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 min	°C	0,00	28/02/2016
06/19/2015 - 03/11/2016	media escursione di temperatura su 24 h	$\Delta\theta$ 24 medio	°C	0,26	
06/19/2015 - 03/11/2016	escursione di temperatura sul periodo	$\Delta\theta$ ann	°C	23,40	

Note  
 Durante il sopralluogo del 31 marzo 2016 il sensore è stato sostituito con quello della sonda 132: a partire dal 12 marzo i valori rilevati dalla sonda ne hanno infatti evidenziato il *danneggiamento* (i dati nel periodo 12-31 marzo non sono stati rappresentati nei grafici).

#### 5.4.4 *Le norme UNI*

##### 5.4.4.1 *La norma UNI 10829 e le modalità di monitoraggio*

La norma UNI 10829:1999, adottata come base per le misurazioni effettuate “in campo”,

*prescrive una metodologia per la misurazione in campo delle grandezze ambientali termometriche e di illuminazione ritenute significative ai fini della conservazione di beni di interesse storico e artistico, e fornisce indicazioni relative alle modalità di elaborazione e sintesi dei dati rilevati tramite parametri riassuntivi ritenuti utili a caratterizzare gli andamenti delle grandezze ambientali in vista di una loro valutazione finalizzata al contenimento dei processi di degrado.*

La norma prevede che l'analisi delle grandezze fisiche sia affrontata attraverso «*la misurazione su base oraria per un periodo che consenta di raggiungere una conoscenza sufficientemente approfondita dell'andamento temporale dei valori delle grandezze stesse.*» Tre sono i parametri affrontati (temperatura, umidità relativa e illuminazione), per i quali sono indicate le *cautele* da adottare nelle misurazioni:

- ° temperatura dell'aria T: «*si devono limitare gli effetti delle radiazioni termiche; si deve cioè evitare che il sensore dello strumento sia sottoposto alle radiazioni termiche provenienti da corpi circostanti*»;
- ° umidità relativa: negli psicometri ad aspirazione «*si deve verificare che la ventolina funzioni, altrimenti si misura la temperatura del bulbo umido a ventilazione naturale e non quella a ventilazione forzata; [...e] l'acqua che bagna la guaina deve essere distillata*», mentre per altri strumenti (igrometri a punto di rugiada, a cloruro di litio, a “capello” o a condensatore) «*bisogna ricorrere a tarature periodiche per confronto con uno psicometro, in quanto molteplici fattori possono causare risposte errate dei sensori*» almeno a cadenza mensile;
- ° temperatura superficiale: tramite sensori a contatto «*il rilievo della temperatura superficiale deve essere eseguito utilizzando opportunamente adeguati elementi sensibili, per esempio termocoppie a francobollo caratterizzate da bassa inerzia termica, il cui giunto di misurazione sarà saldato su un supporto sottile di materiale buon conduttore del calore*», utilizzando contatti a pressione oppure opportuni fogli adesivi.

A partire dalla media oraria dei valori misurati di temperatura e umidità relativa dell'aria si ricavano, relativamente al periodo esaminato e per ciascuna delle grandezze misurate, i valori massimo, minimo, medio e deviazione standard, i profili temporali e la distribuzione in frequenza e la frequenza cumulata. Elaborando i dati acquisiti si determinano inoltre i valori massimo, minimo, medio e deviazione standard dei gradienti orari ( $\Delta T_h$ ,  $\Delta UR_h$ ) e giornalieri ( $\Delta T_g$ ,  $\Delta UR_g$ ).

L'Appendice A fornisce dei valori di riferimento consigliati, in condizioni di clima stabile e in mancanza di diverse indicazioni specifiche, ai fini della proget-



tazione di impianti di climatizzazione per ambienti museali. Per le pitture murali (affreschi, sinopie staccate) sono indicati i seguenti valori:

**Tabella 12.** Estratto dell'Appendice A, norma UNI 10829:1999.

$\Delta\theta$	$\Delta\theta_{\max}$	$u_0$	$\Delta u_0$	$E_{\max}$	$UV_{\max}$	$LO_{\max}$
10÷24	-	55÷65	-	NR	-	-

dove  $\theta_0$  = temperatura dell'aria (°C)

$\Delta\theta_{\max}$  = massima escursione giornaliera termica

$u_0$  = umidità relativa dell'aria

$\Delta u_0$  = massima escursione giornaliera di umidità relativa

$E_{\max}$  = massimo valore di illuminamento

$UV_{\max}$  = massima quantità di radiazione ultravioletta

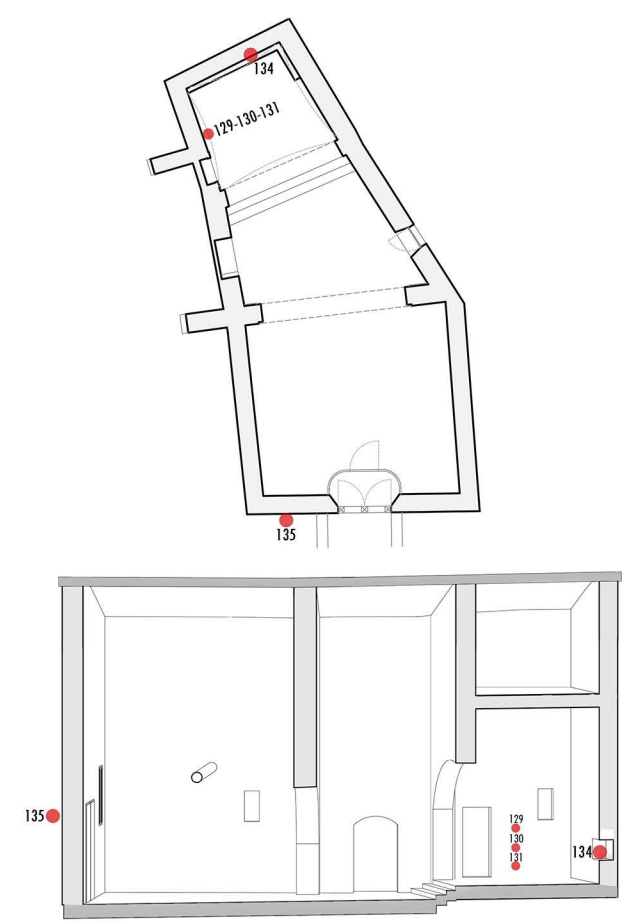
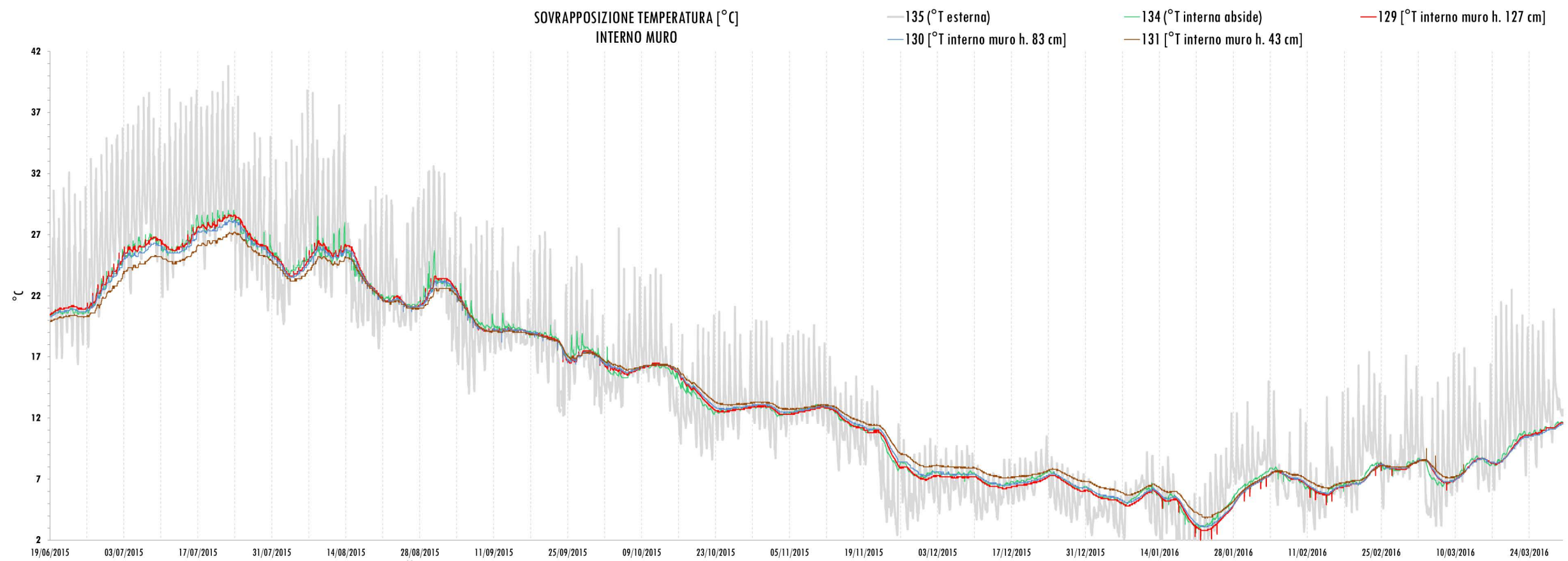
$LO_{\max}$  = massima dose annuale di luce.

#### 5.4.4.2 La norma UNI 10969 e la scelta e il controllo del microclima

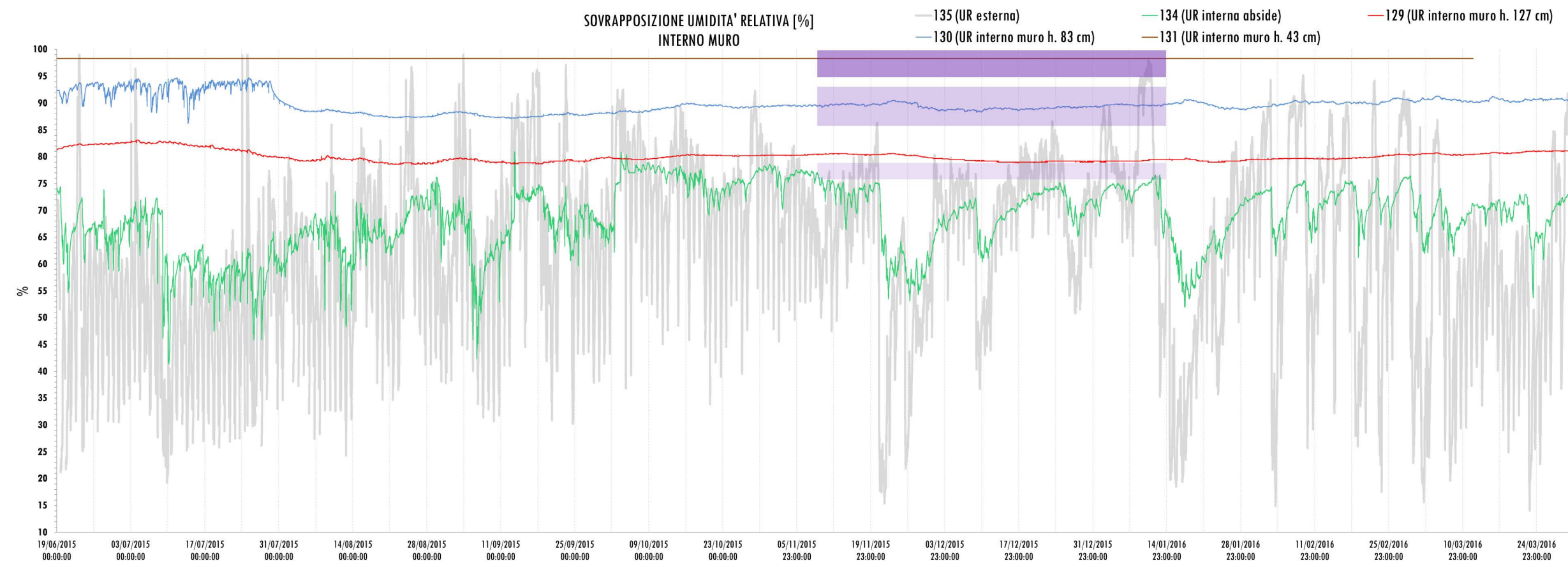
La norma costituisce una sorta di linea-guida per la scelta e il controllo del microclima all'interno di ambienti ed edifici come musei, archivi, biblioteche, gallerie, palazzi storici e chiese. È sottolineato inoltre che non è possibile fissare per ogni tipologia di oggetti dei precisi valori *standard* o intervalli di valori ottimali dei parametri ambientali ai fini conservativi. I due tipi di azioni preliminari che possono essere svolte preliminarmente sono la ricerca per l'analisi dello stato conservativo degli oggetti, la sua storia e i valori nei quali si è conservato nel tempo, e le analisi di laboratorio per rilevare, in base alla risposta dei materiali alle variazioni dei parametri ambientali, i possibili fenomeni di alterazione.

#### 5.4.4.3 La norma UNI EN ISO 13788 e il calcolo della temperatura superficiale

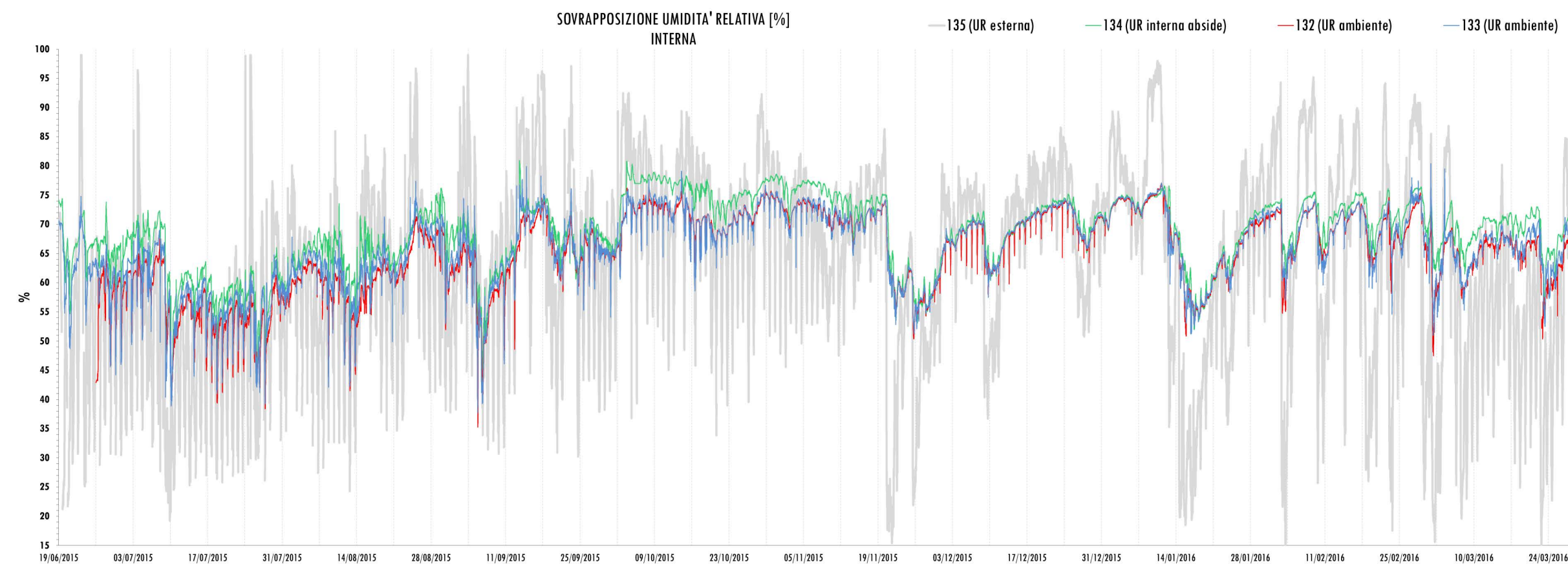
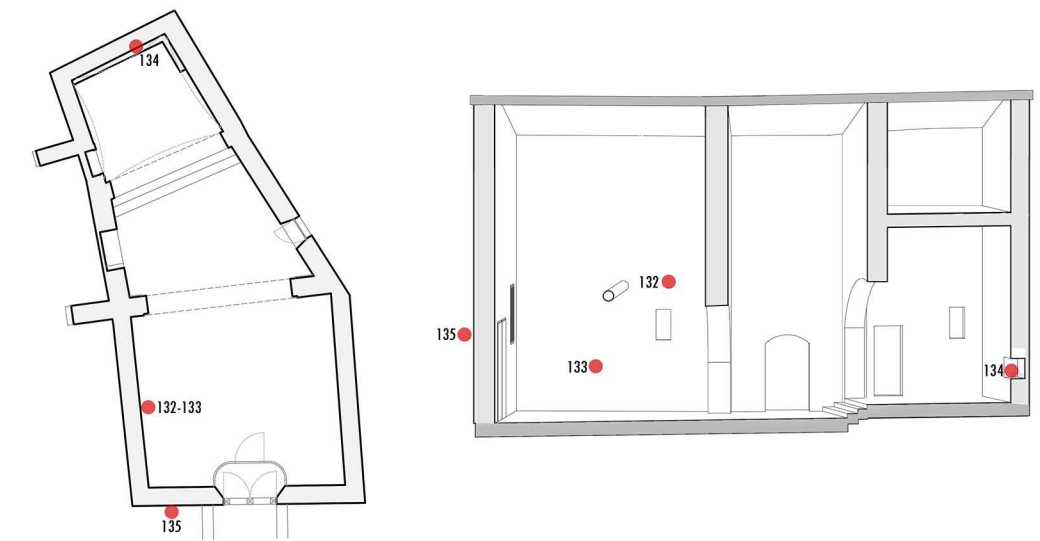
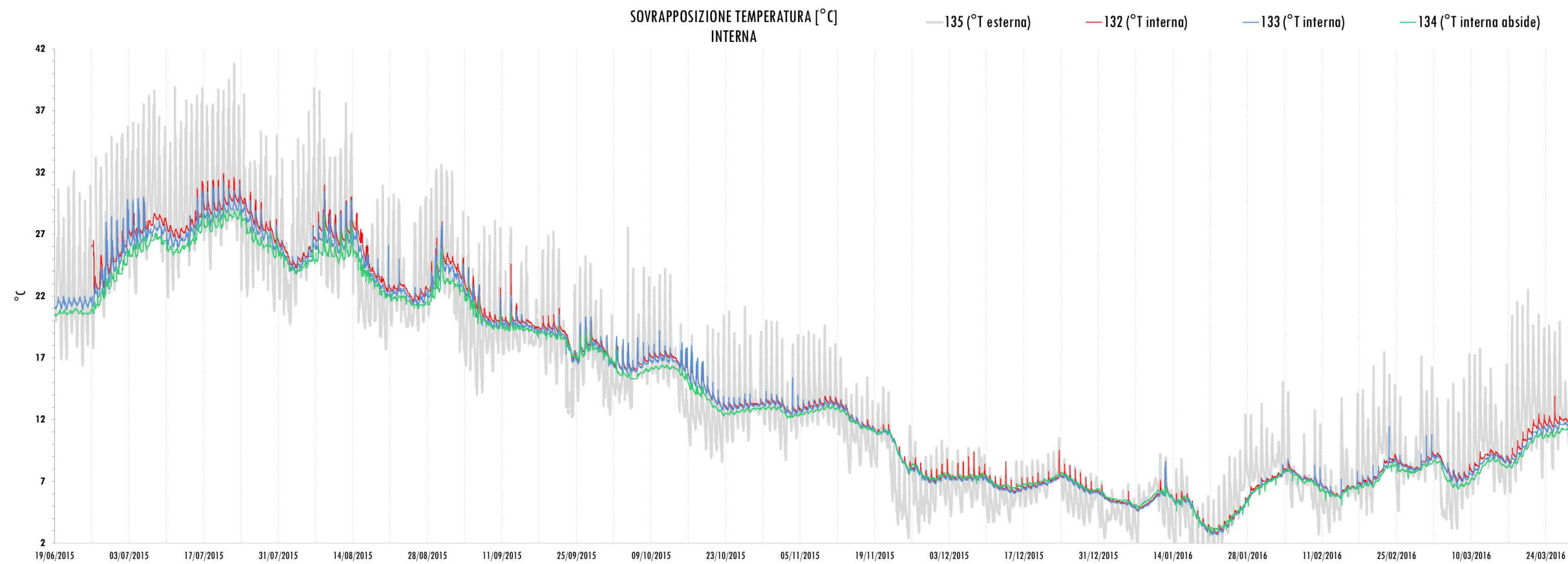
La norma sostituisce la UNI 10350:1999. Il metodo proposto fornisce, per gli edifici per i quali altri fenomeni fisici come la risalita capillare sono trascurabili, le procedure di calcolo per determinare: la massima temperatura superficiale interna di componenti o elementi edilizi sotto la quale è probabile la crescita di muffe o la comparsa di altri fenomeni di condensa superficiale; la valutazione del rischio di condensazione interstiziale dovuta al vapore acqueo.



Nel secondo grafico, relativo all'umidità relativa, sono riportati i tre valori rilevati da uno dei metodi di misura sperimentati nella muratura, i *free-water sensor*.  
 Questo metodo, installato il 02 ottobre 2015, rappresenta il massimo valore raggiunto nella cavità.  
 I valori rilevati dai tre FWS sono correlati a quelli rilevati dalle sonde: la lieve differenza evidente nel FWS 1 è forse dovuta alla "precisione" di questi sensori e al loro "tempo di reazione".



I due grafici rappresentano l'andamento della temperatura (grafico 1) e dell'umidità relativa (grafico 2) delle sonde interne alla muratura.  
 La sonda 129, posta ad un'altezza dal pavimento di 127 cm e corrispondente all'area non interessata dal fronte di risalita, presenta l'andamento della temperatura meno attenuato (ossia con curve più "evidenti") e un andamento dell'umidità relativa in un intorno del valore dell'80%. Se il primo è tendenzialmente assimilabile ai rilievi delle altre due sonde, il secondo presenta un andamento più regolare con variazioni attenuate.  
 La sonda 130, posta ad un'altezza dal pavimento di 83 cm e corrispondente all'area interessata dal fronte di risalita, presenta un andamento della temperatura intermedio fra le tre sonde, mentre quello dell'umidità relativa è diviso in due periodi molto evidenti: fino al 31 luglio 2015 il grafico è compreso fra l'85% e il 95%, mentre nel periodo successivo si attesta in un intorno del valore del 90%. Questo secondo andamento *rispecchia* le variazioni riconoscibili nella sonda 129 con un andamento più marcato, variazioni correlate a quelle dell'andamento dell'umidità relativa interna dell'ambiente.  
 La sonda 131, posta ad un'altezza dal pavimento di 43 cm e corrispondente all'area "al di sotto" del fronte di risalita, presenta un andamento della temperatura più attenuato (ossia con curve più "moderate") e un andamento dell'umidità relativa attestato in maniera continua e permanente sul valore del 98%.



Il primo grafico rappresenta l'andamento della temperatura rilevata dalle tre sonde interne. L'andamento è pressochè comparabile, maggiormente dopo il 05 novembre 2015: la sonda 134, indicata con colore verde, presenta variazioni più contenute e un andamento più attenuato, senza picchi evidenti (o comunque correlabili all'andamento della sonda esterna). Le altre due sonde presentano, nella prima parte del grafico, picchi superiori a 4-5°C di quella rilevata dalla sonda 134, mentre nel secondo periodo i picchi sono più evidenti sono compresi fra i 5 e i 10°C (il 30 ottobre 2015 la sonda 133, indicata con colore blu, ha rilevato valori superiori ai 20°C).

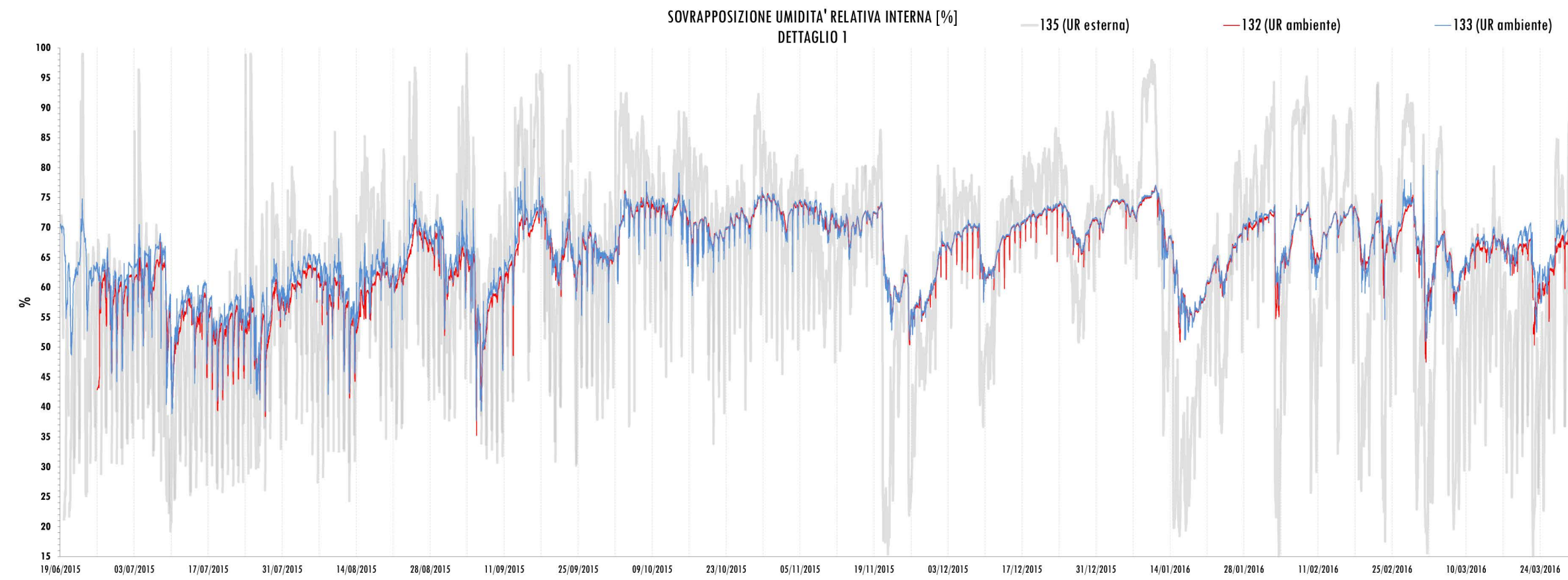
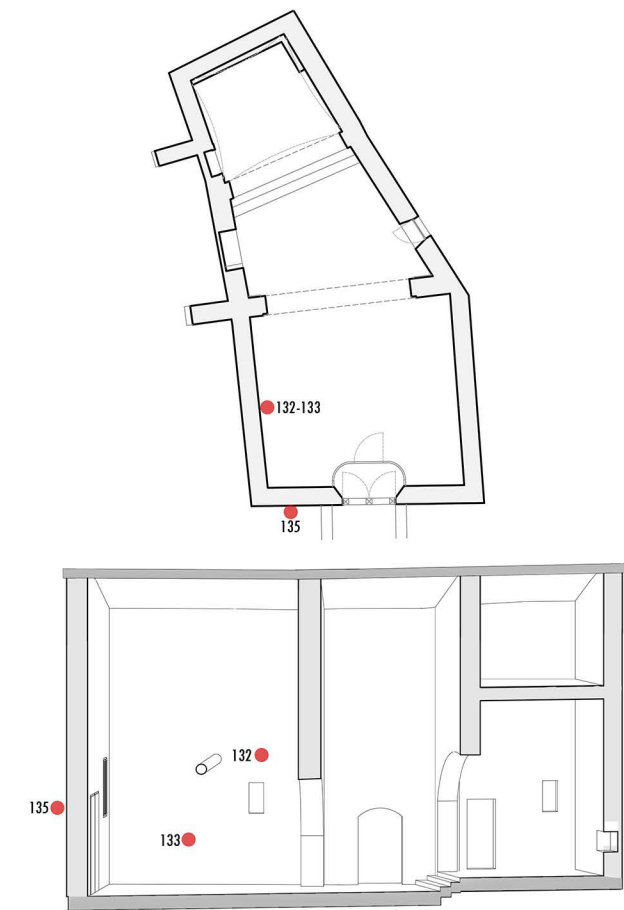
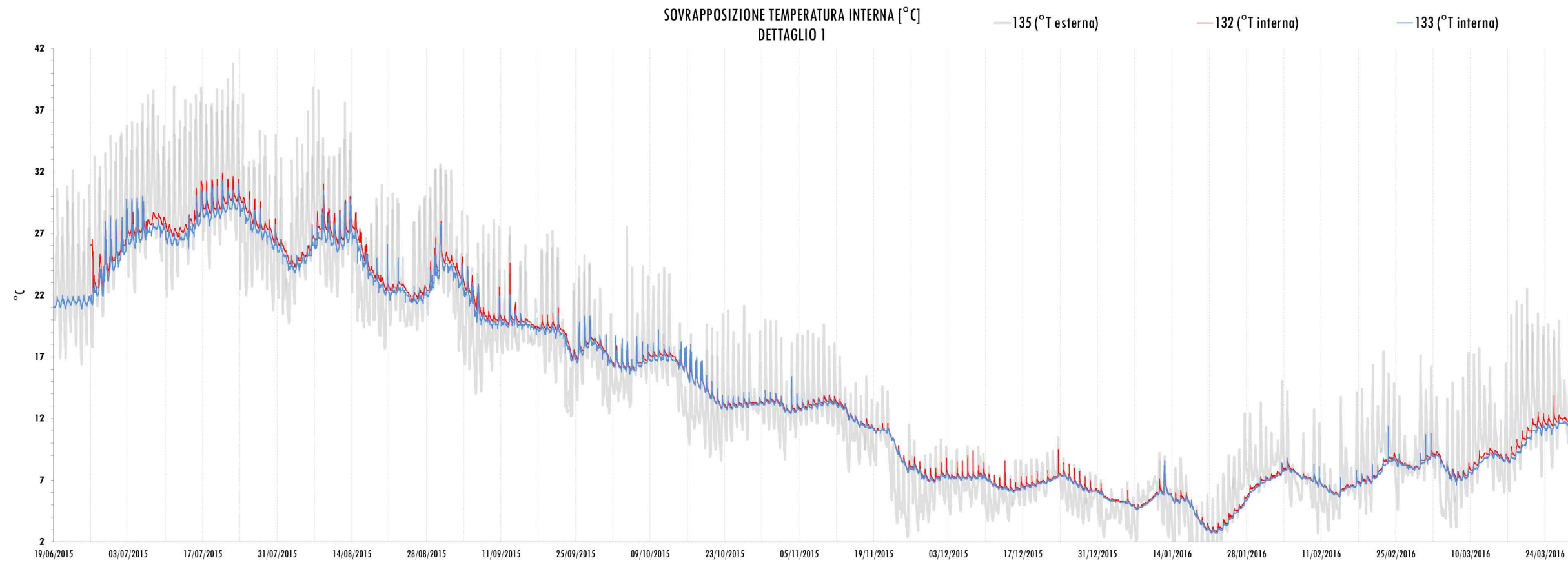
Nel secondo grafico è invece rappresentato l'andamento dell'umidità relativa rilevato dalle sonde interne.

Come evidenziato nella precedente tavola, l'andamento della sonda 134, in colore verde, è caratterizzata dai massimi valori rilevati (a parità di umidità specifica, minori temperature corrispondono a maggiori umidità relative), mentre le altre due sonde presentano valori minori, seppur l'andamento delle tre sonde sia pressochè correlabile.

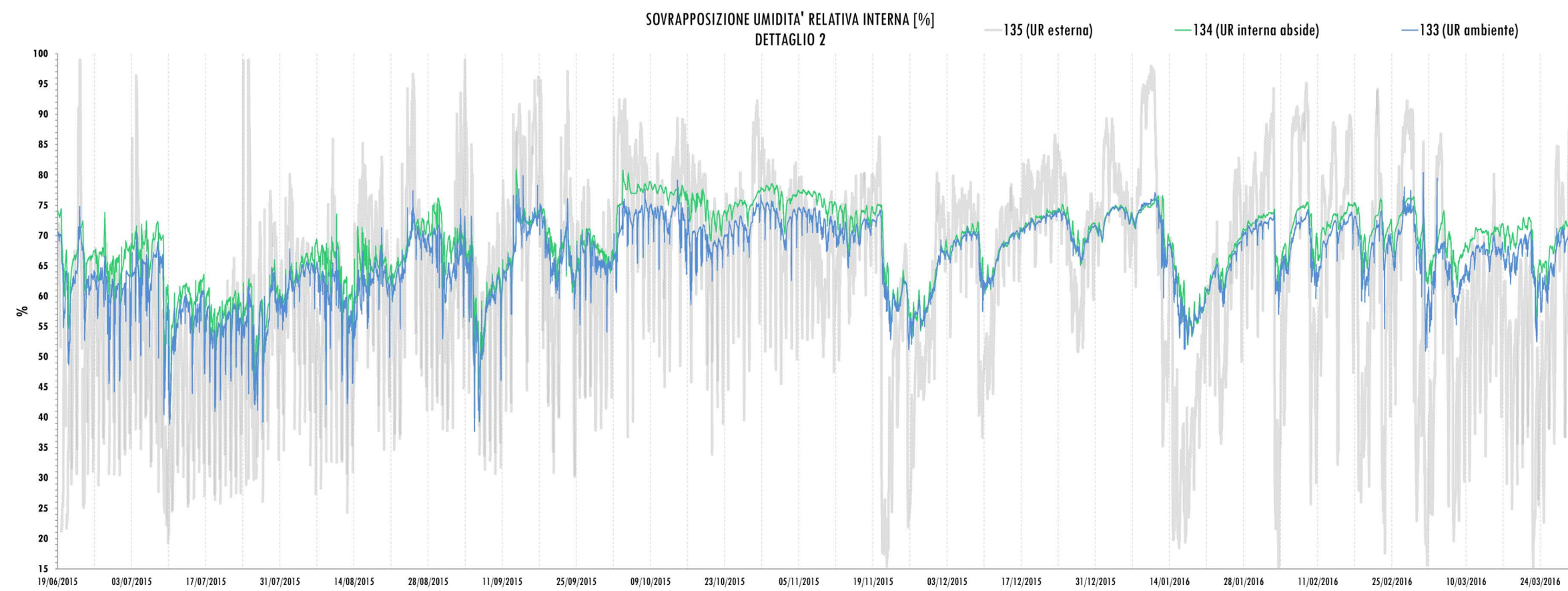
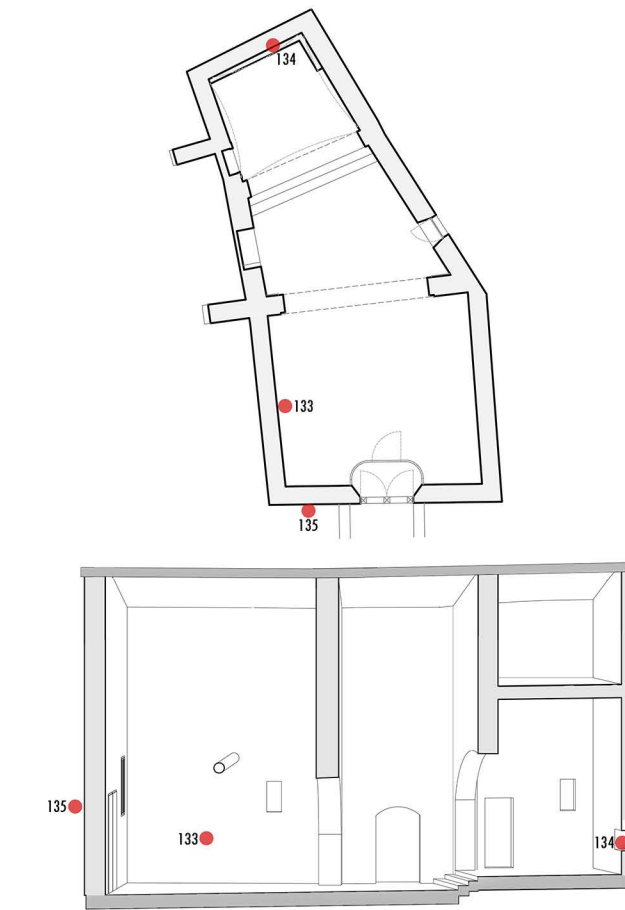
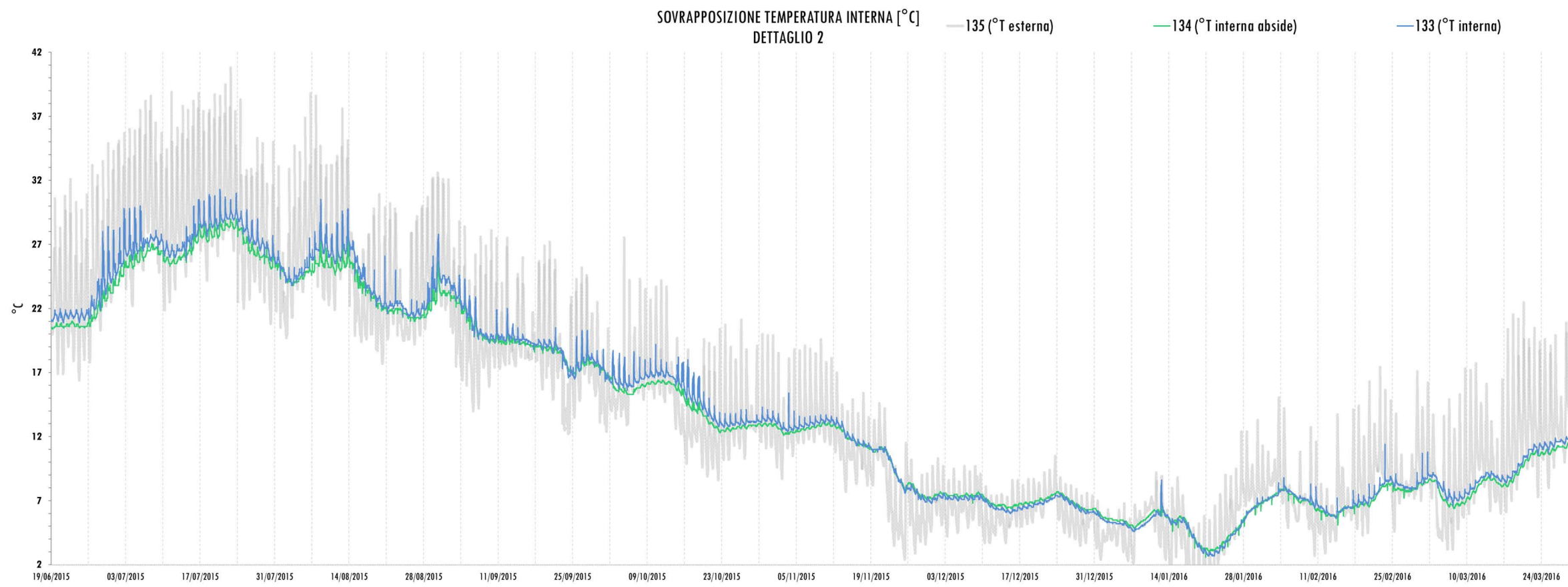
In corrispondenza dei picchi di temperatura evidenziati nel precedente grafico sono evidenti picchi dell'umidità relativa con differenze pari al 30-35% nei casi "peggiori".

L'andamento generale delle tre sonde è formato da diversi periodi:

- nel periodo fra il 19 giugno e il 02 ottobre, l'andamento è rappresentabile in periodi di 1-2 settimane intervallati da rapidi decrementi;
- il periodo fra il 02 ottobre e il 20 novembre l'umidità si attesta su valori superiori al 70% in maniera continua, dopo il quale riprende l'andamento del primo periodo;
- fra il 20 novembre e il 28 gennaio l'andamento delle tre sonde è pressochè sovrapposto, in un intervallo compreso fra il 65% e il 75%;
- l'ultimo periodo di monitoraggio è infine caratterizzato da cambiamenti più repentini e di minore durata.



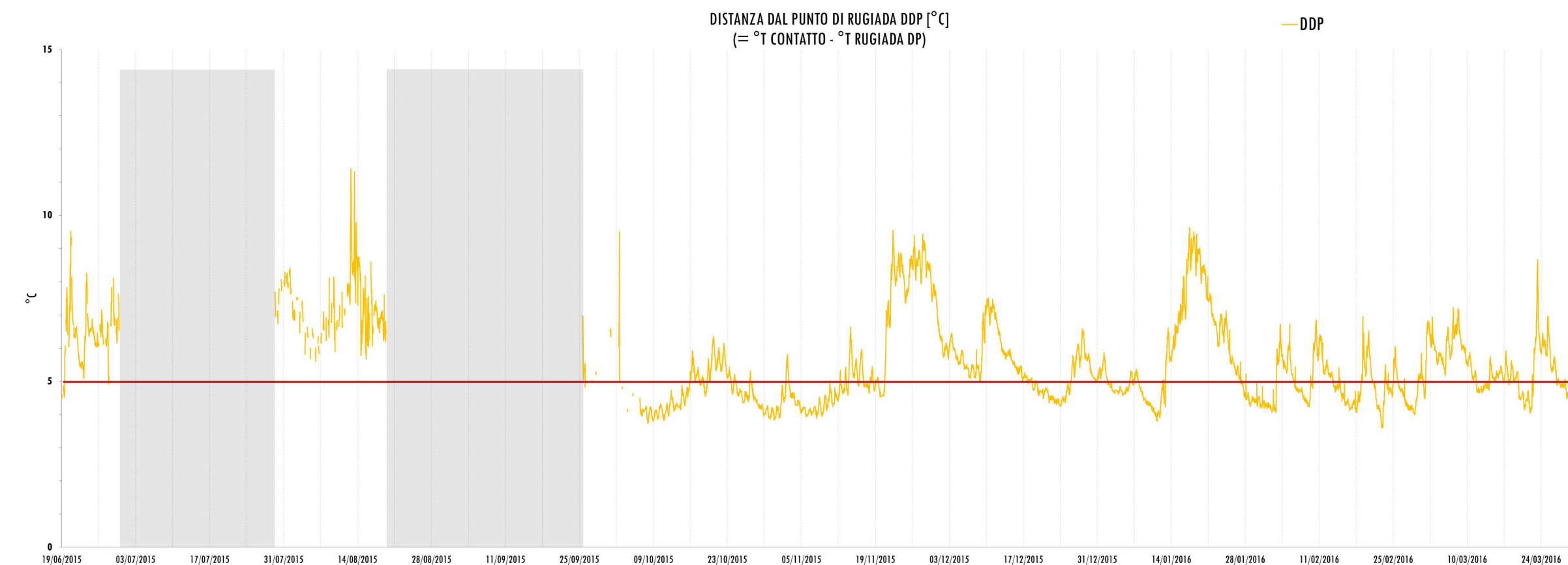
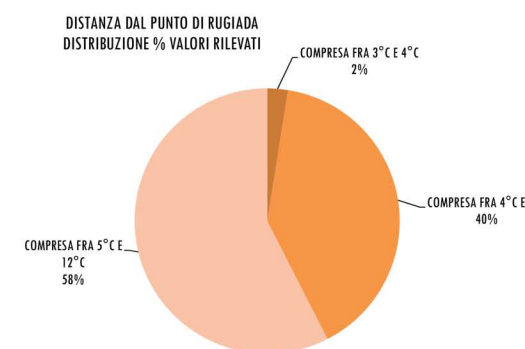
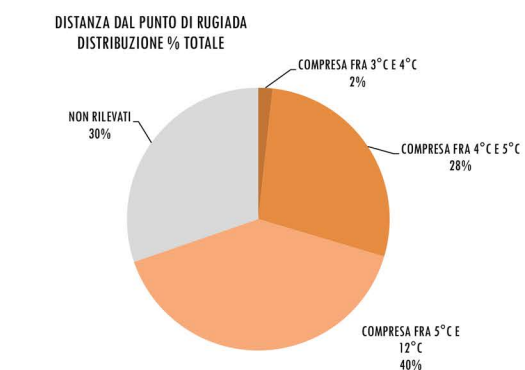
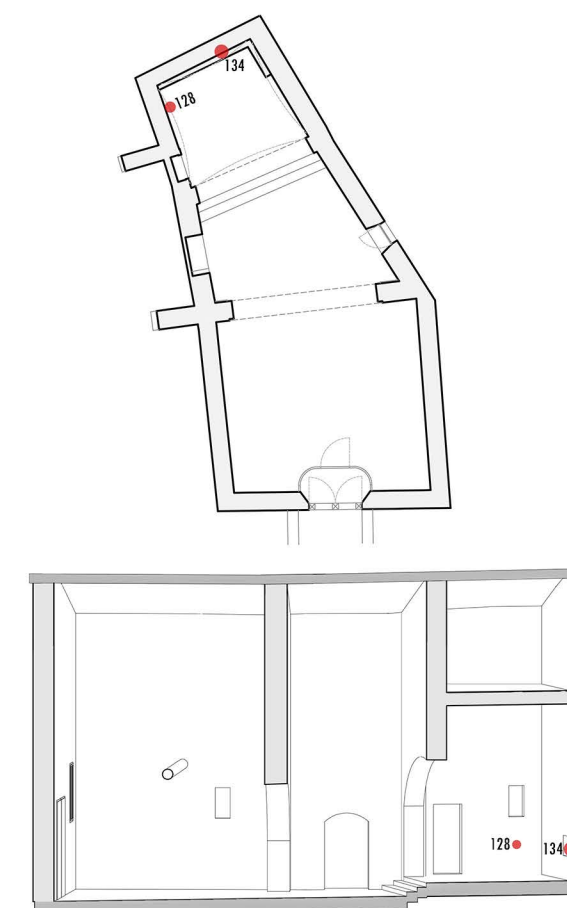
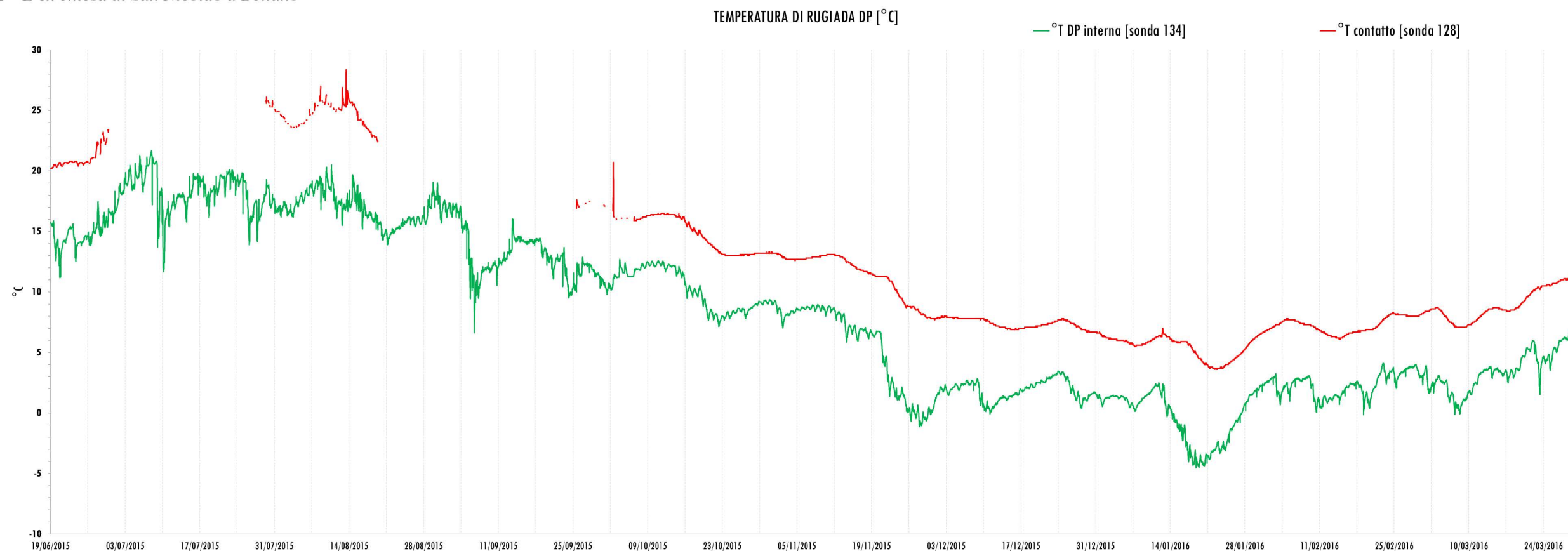
I grafici rappresentano l'andamento della temperatura (grafico 1) e dell'umidità relativa (grafico 2) rilevate dalle sonde interne nel primo ambiente.  
 Con esclusione dei picchi già evidenziati, le due sonde sono pressochè sovrapponibili senza evidenti differenze, soprattutto nell'ultimo periodo.



I due grafici rappresentano l'andamento della temperatura (grafico 1) e dell'umidità relativa (grafico 2) rilevate dalle sonde interne 133 e 134, poste a pari altezza da terra.

Si può notare la differenza dei parametri fra i due ambienti monitorati: l'ambiente absidale presenta infatti minori temperature (nel primo periodo non inferiori a 1°C) ma maggior umidità relativa (soprattutto nel periodo 02 ottobre - 19 novembre 2015), evidenziata nei rilievi psicometrici riportati nei paragrafi precedenti. Sembra ipotizzabile un comportamento pressochè sovrapponibile durante gran parte del periodo di monitoraggio, evidenziabile soprattutto nel secondo grafico e in corrispondenza di variazioni periodiche dell'umidità esterna, ma che diviene continua al raggiungimento del valore massimo.

Le diminuzioni repentine dell'umidità relativa dell'ambiente absidale il 19 novembre sembra causata da diminuzioni altrettanto repentine dell'umidità rilevata all'esterno.

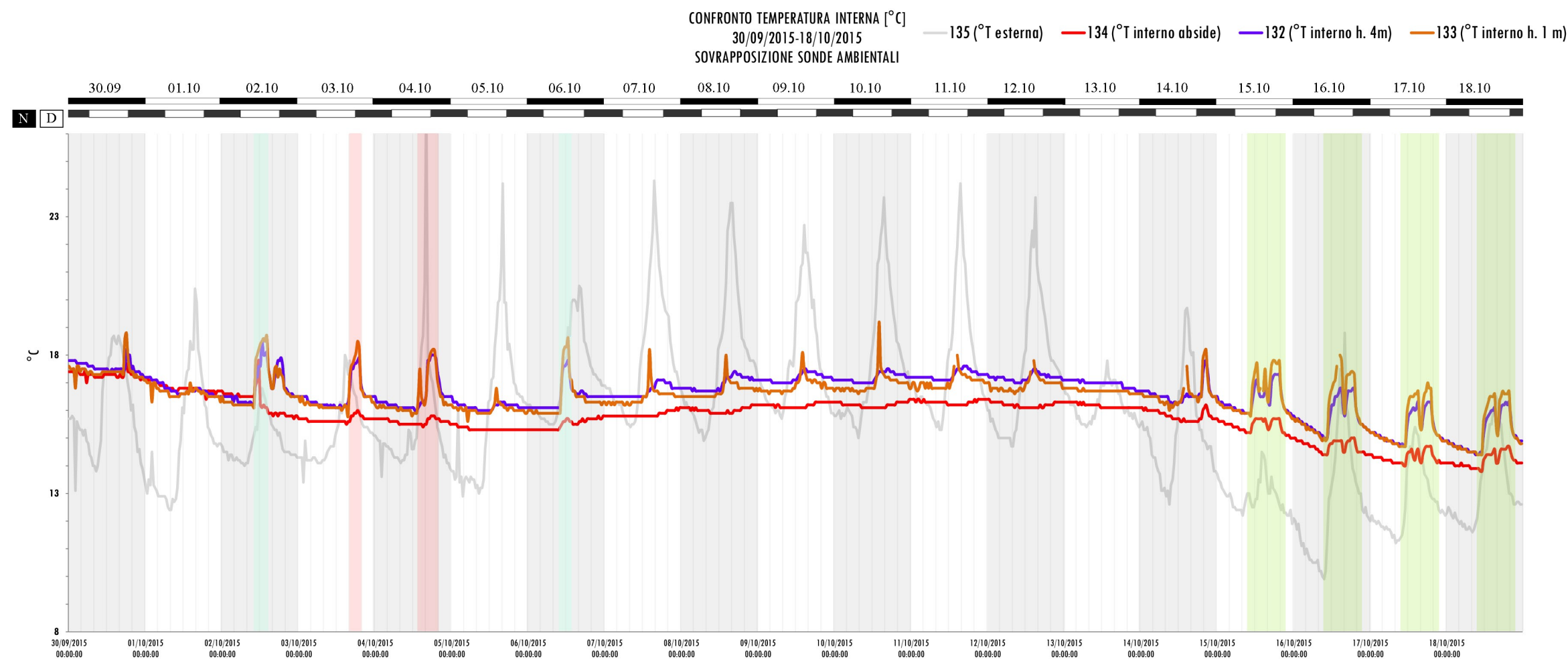
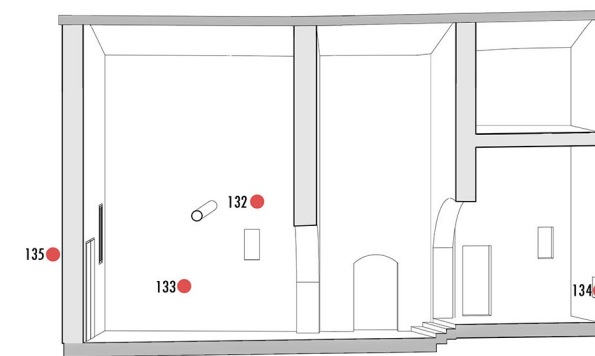
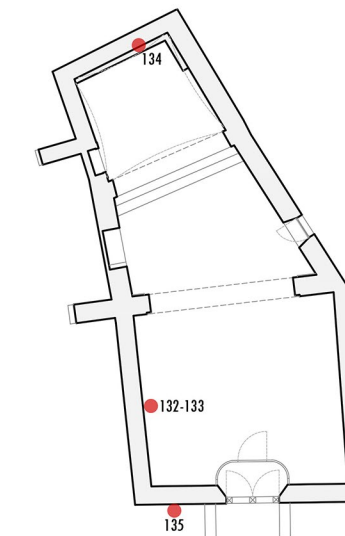
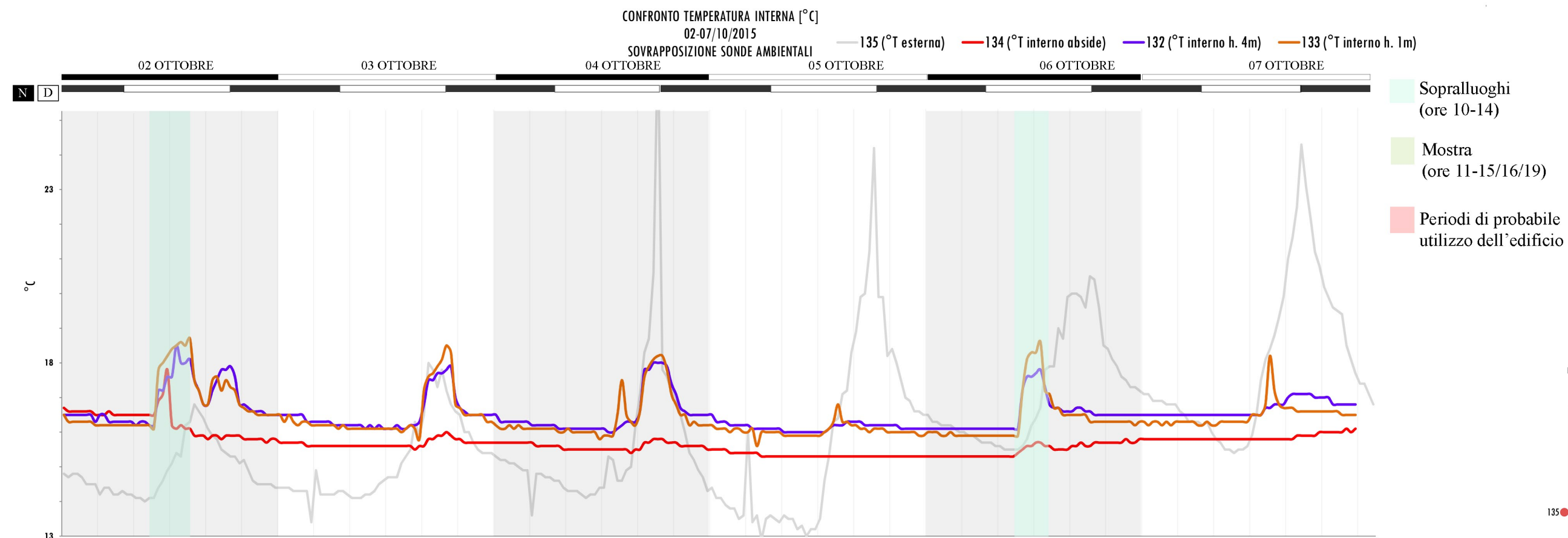


La temperatura di rugiada (grafico 1) è la temperatura alla quale, a pressione costante, una massa d'aria deve essere portata affinché si saturi, ovvero che su una superficie piana si generi condensazione quando la superficie stessa è a temperatura inferiore. Si presenta maggiormente nella stagione primaverile e all'inizio dell'estate, in strutture con elevata inerzia termica con l'ingresso di aria più umida e più calda. Nel grafico 1 sono riportati, in colore rosso, la temperatura rilevata dalla sonda a contatto (n. 128), mentre in colore verde la temperatura di rugiada ricavata, dai dati rilevati dalla sonda ambientale n. 134 posta nell'ambiente absidale, tramite la formula

$$DP = [-430,22 + 237,70 \times \ln(e)] / [-\ln(e) + 19,08],$$

dove  $e$  rappresenta la pressione di vapore effettiva dell'aria interna dell'ambiente.

Nel grafico 2 è invece rappresentata la *probabilità* di avvenimento del fenomeno di condensazione: il grafico è infatti costruito facendo la semplice differenza fra la temperatura superficiale e quella di rugiada, impostando come riferimento minimo *ammisibile* un valore pari a 5°C. Dai grafici riportati in alto, si può constatare che, tra i valori rilevati, il 58% dei valori ricada in un intervallo compreso fra i 5°C e i 12°C (quindi superiore al valore ammissibile), mentre la quasi totalità di quelli restanti non scenda sotto i 4°C.



I due grafici rappresentano in maniera dettagliata l'andamento dei valori di temperatura delle sonde interne nel periodo dal 30 settembre al 18 ottobre 2015.

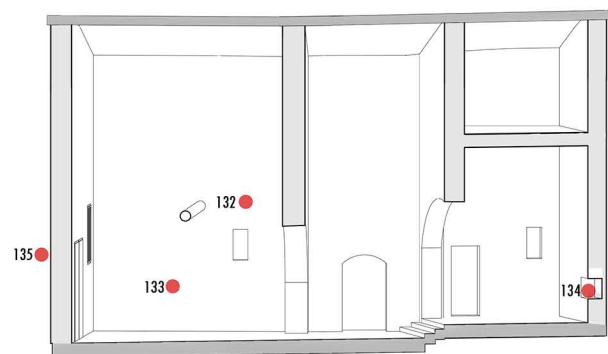
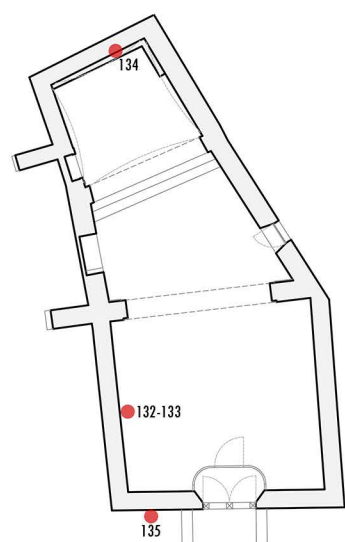
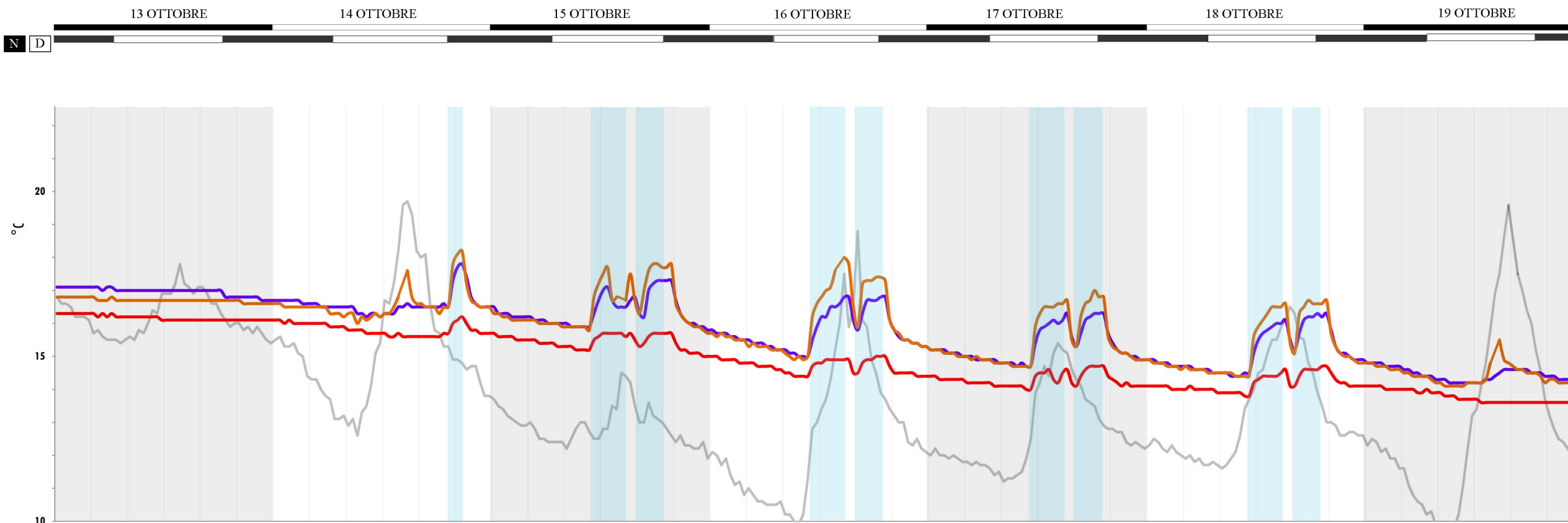
I periodi scelti includono le due giornate di sopralluogo effettuate il 2 e il 6 ottobre (indicate con colore blu); i grafici vogliono indagare l'andamento dei parametri interni nelle diverse condizioni d'uso dell'edificio.

Si possono trarre alcune considerazioni:

- la sonda 134, indicata con linea rossa, è quella più "continua", che risente meno delle variazioni giorno/notte;
- a differenza, le sonde 132 e 133, indicate con colore marrone e blu, risentono maggiormente sia del riscaldamento dell'edificio dovuto ai cicli termici esterni, sia dei riscaldamenti localizzati dovuti al soleggiamento o all'irraggiamento diretto dell'impianto di illuminazione;
- l'andamento della temperatura rilevata è comparabile fra le giornate di sopralluogo e quelle comprese fra il 15 e il 18 ottobre, in cui nell'edificio è stata organizzata una mostra d'arte aperta al pubblico nelle ore pomeridiane (indicate con colore verde);
- dall'andamento delle sonde è possibile infine ipotizzare che la chiesa sia stata utilizzata nelle giornate del 3 e del 4 ottobre.

CONFRONTO TEMPERATURA INTERNA [°C]  
13-19/10/2015  
SOVRAPPOSIZIONE SONDE AMBIENTALI

— 135 (°T esterna) — 134 (°T interno abside) — 132 (°T interno h. 4m) — 133 (°T interno h. 1m)  
Mostra (orari di apertura)

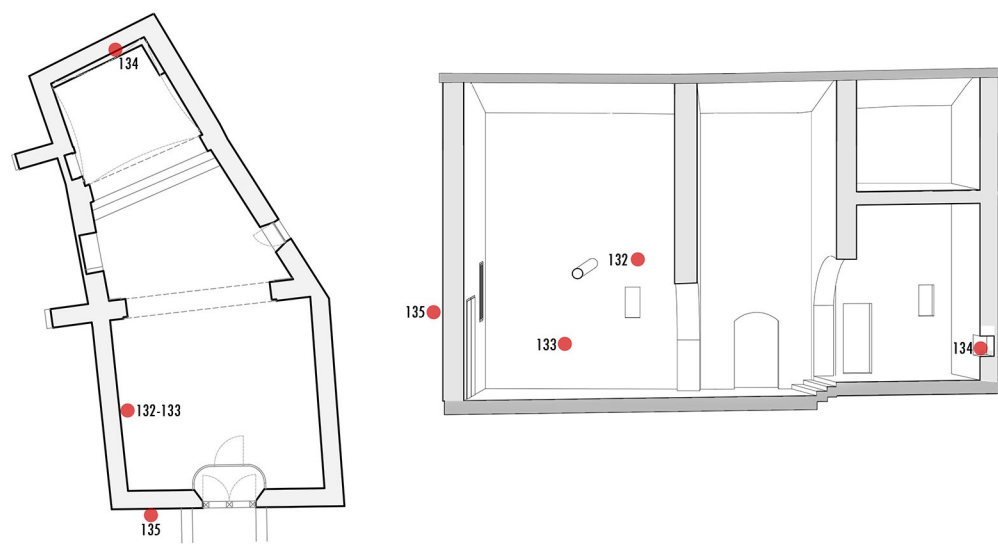
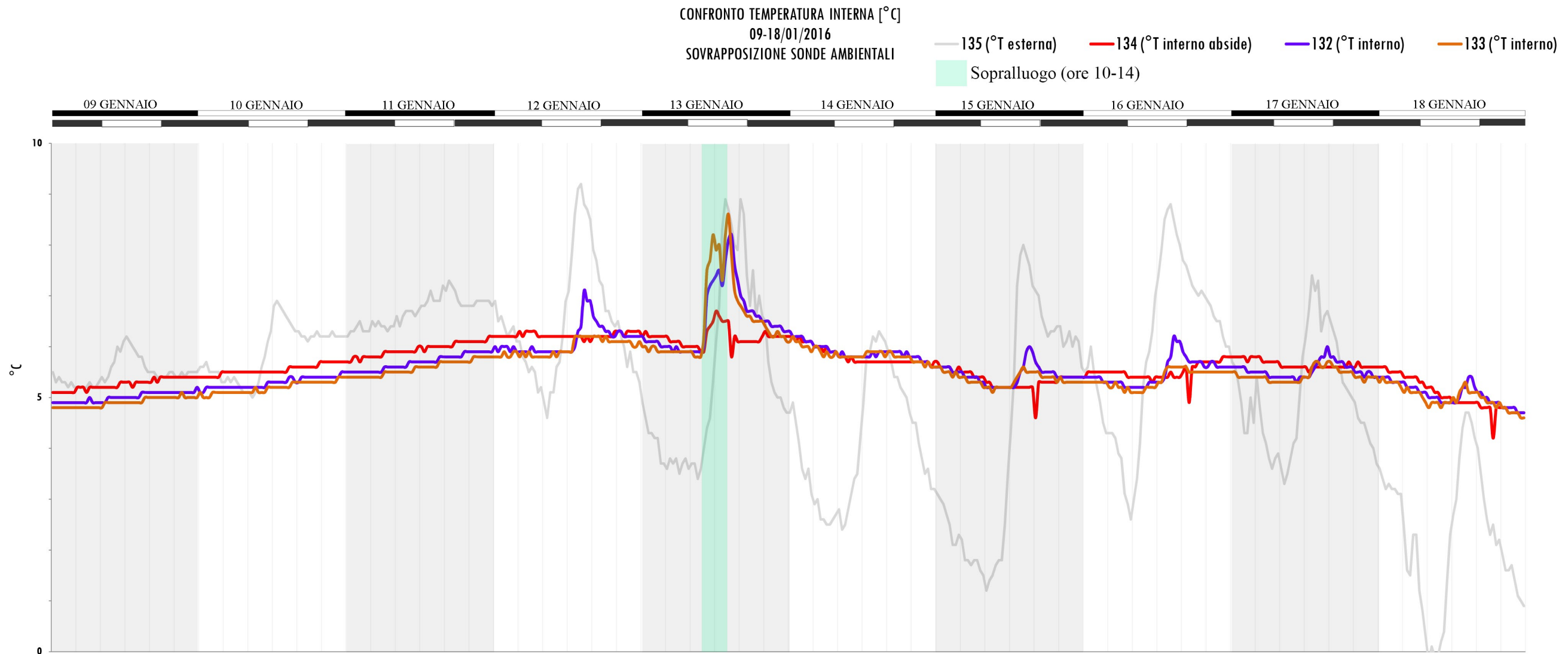


L'utilizzo dell'edificio e i suoi effetti sul microclima ambientale può essere ravvisato nell'analisi di uno specifico periodo, quello compreso fra il 13 e il 19 ottobre 2015: il periodo è infatti caratterizzato da una "mostra di pittura", aperta al pubblico fra il 15 e il 18 ottobre dalle 11 alle 15 e dalle 16 alle 19.

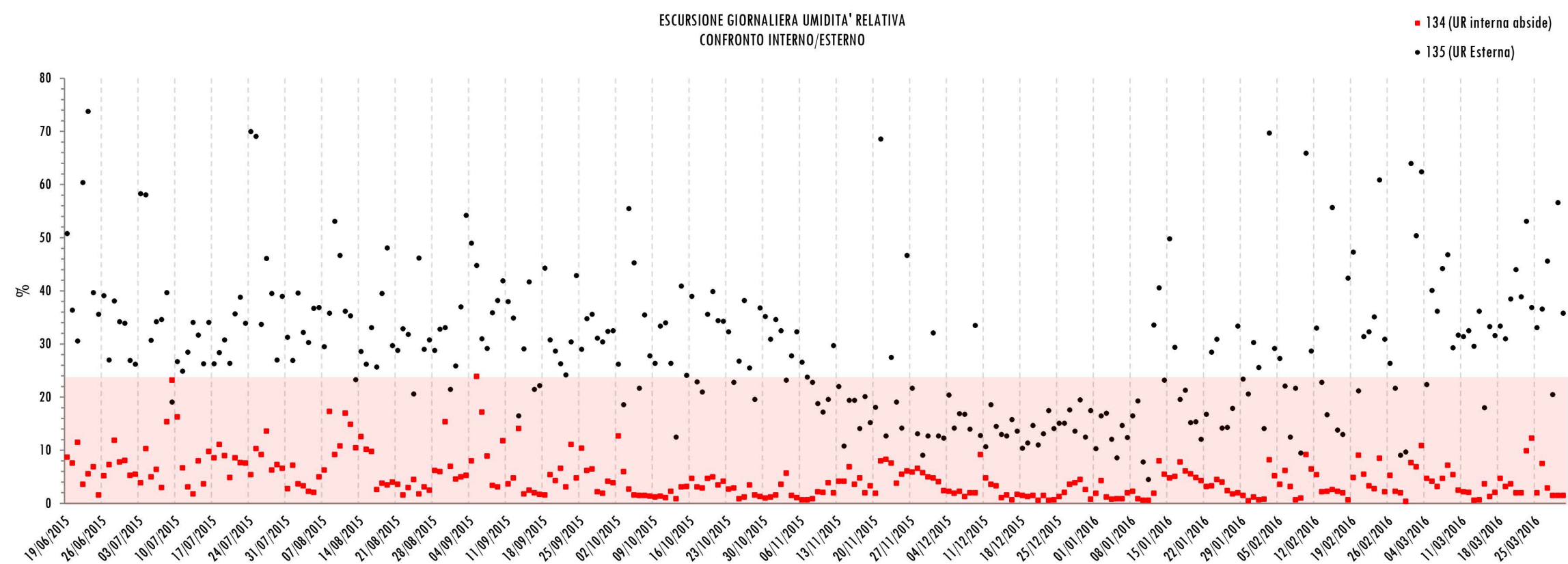
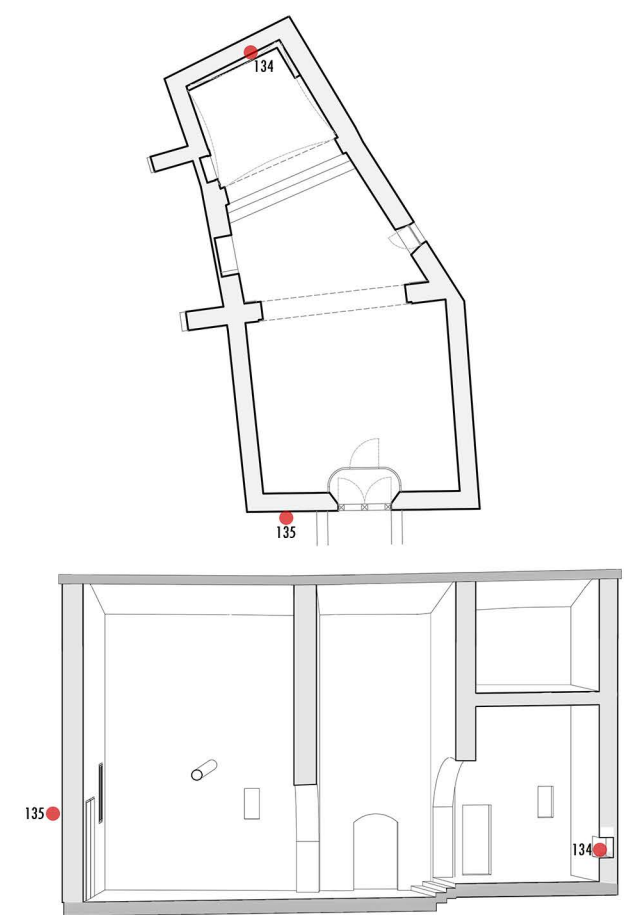
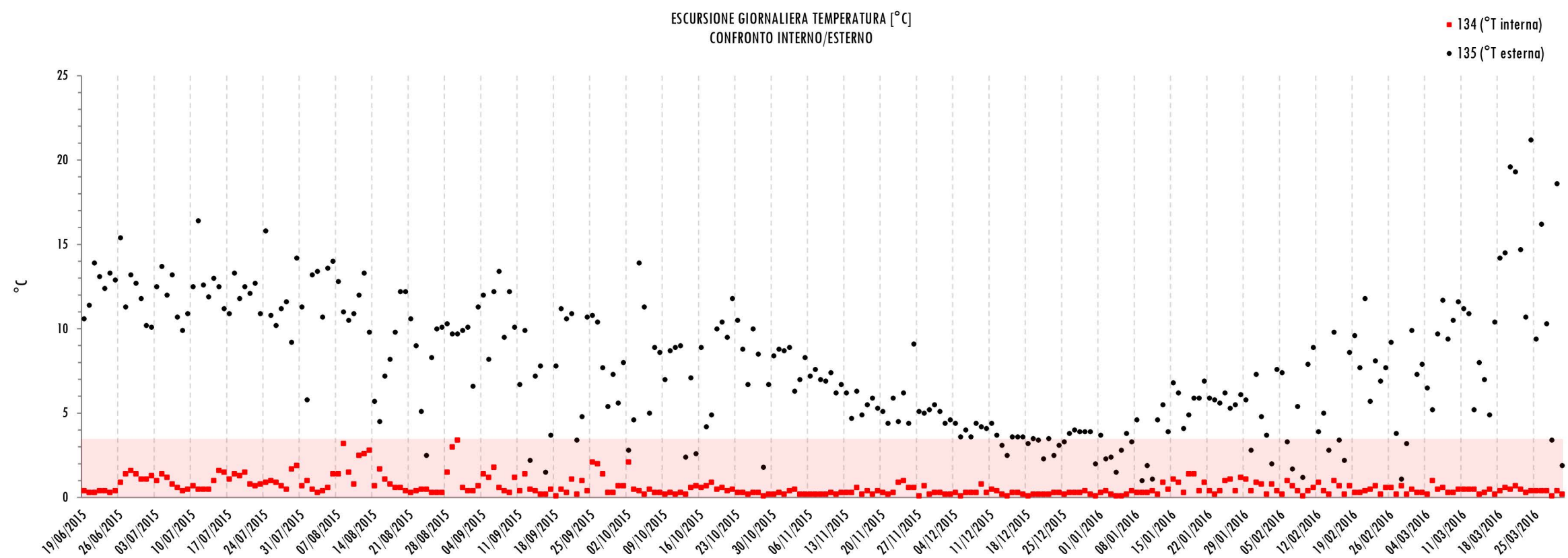
Nei periodi di apertura al pubblico, evidenziati nel grafico con colore blu, è facilmente riconoscibile l'aumento evidente della temperatura ambientale, soprattutto dalle due sonde poste nel primo ambiente, pari a circa 2°C. L'aumento e la conseguente diminuzione in chiusura sono repentini, maggiori nella sonda 133 e più contenuti nelle altre due.

Sono altresì da evidenziare un breve riscaldamento il giorno 14 (forse dovuto all'allestimento della mostra) e l'andamento regolare dei giorni 13 e 19 in cui la chiesa non era aperta al pubblico.





Analizzando il periodo immediatamente precedente e successivo al sopralluogo del 14 gennaio 2016 è ancora più evidente il riscaldamento dell'aria interna causata dall'utilizzo dell'edificio, in particolare dall'accensione dell'impianto di illuminazione. Si può notare come l'aumento di temperatura sia pari a circa 4°C.



I due grafici rappresentano le escursioni termiche (grafico 1) e di umidità relativa (grafico 2) ricavate dai dati rilevati dalle sonde interna 134 ed esterna 135.

All'interno dell'edificio sono riconoscibili due periodi: nel periodo fino al 25 settembre l'andamento delle escursioni termiche è più discontinuo con valori fra 0,5 e 3°C, e variazioni dell'umidità relativa comprese fra il 2 e il 22%; nel secondo periodo l'andamento è più continuo, con escursioni termiche inferiori a 1°C e variazioni di umidità relativa inferiori al 10%. Il periodo primaverile è invece caratterizzato da escursioni maggiori, seppur più contenute di quelle estive.

Anche all'esterno sono evidenti i due periodi: quello primaverile-estivo, caratterizzato da escursioni termiche più discontinue e quello autunnale -invernale più continuo.

## 6. IL PROGETTO DI CONSERVAZIONE

### 6.1 Obiettivi

Sono diversi i parametri fondamentali per un'adeguata progettazione di uno spazio museale, ancor più se all'interno di un edificio storico. Obiettivo essenziale può essere ricercato nelle recenti definizioni di "conservazione preventiva", vista come «*un adeguato piano d'azione per ridurre la quota di deterioramento e i rischi per le collezioni museali. Il punto focale è diretto sulle collezioni, e pertanto gli interventi possono variare a seconda della manutenzione dell'edificio, per il controllo delle pratiche del personale, influenzando l'atteggiamento del pubblico, la gestione del clima e la legislazione.*»<sup>1</sup>

In questo capitolo si vuole descrivere il progetto di intervento proposto per l'ex chiesa di San Nicolao, connesso alla destinazione d'uso prevista.

### 6.2 I principali fenomeni di degrado

Prima di specificare i principi di progetto si vogliono descrivere alcuni dei meccanismi e dei fenomeni di degrado causati dai tre parametri fondamentali e dalla non corretta progettazione degli impianti di climatizzazione interna.

#### 6.2.1 Le principali cause di degrado

Riprendendo la suddivisione già presente nel libro X del *De re aedificatoria* è possibile classificare le principali cause di degrado in due gruppi, le cause *intrinseche* e quelle *estrinseche*.

Alle cause *intrinseche* è da sempre contrapposta il principio progettuale di «*garantire, sin dal momento del concepimento dell'edificio, la sua sopravvivenza nel tempo*»<sup>2</sup>: sono quelle riconducibili al sito — condizioni meteorologiche e climatiche, morfologia e orografia del sito, composizione geologica del terreno — ai difetti di progettazione e al cantiere di costruzione — come ad esempio l'inidonea impermeabilizzazione delle fondazioni, un'inefficace canalizzazione delle acque, la scarsa difesa da eccessivo soleggiamento o il sottodimensionamento delle strutture resistenti — ai materiali — i quali «*sono soggetti a un pro-*

---

<sup>1</sup> C. MENEGAZZI e N. PUTT, *ICCROM Preventive Conservation Indicators*, in N. PUTT e S. SLADE, *Teamwork for Preventive Conservation*, ICCROM, Roma 2004, p. 39. Testo originale: «*An agreed plan of action to slow the rate of deterioration and reduce risks for museum collections. The focus is on the surrounding of the collections, thus actions could range from building maintenance, to control of staff practices, influencing public attitudes, climate control and legislation*», traduzione dell'Autore.

<sup>2</sup> D. FIORANI, *L'invecchiamento e il degrado*, in G. CARBONARA, *Trattato di restauro architettonico. Volume 2*, Utet, Torino 1996, p. 299.

cesso di modifica e di adeguamento all'ambiente che produce inesorabilmente un degrado»<sup>3</sup> — alle tecniche costruttive, capaci di generare «un'alterazione dei materiali con cui esse sono state esplicitate»<sup>4</sup>, o alla destinazione d'uso.

Le cause *estrinseche* sono invece legate alla storia e alle vicende dell'edificio, *de facto* rapportabili con quelle *intrinseche*:

*È chiaro infatti come la condizione del sito e la mancata adozione degli indispensabili accorgimenti preventivi al momento della scelta progettuale dei materiali e delle relative tecnologie, comportino conseguenze che sono spesso riconducibili all'azione di elementi sì estrinseci, ma sempre strettamente legati al contesto. Ciò è frequente soprattutto per quei fattori di origine naturale e ad azione prolungata (come l'umidità, gli agenti climatici e meteorologici, l'aggressione biologica ecc.) che intervengono effettivamente dall'esterno, ma esplicano un'attività alterativa principalmente legata a una particolare vulnerabilità "costituzionale" dell'edificio*<sup>5</sup>.

Diverse sono le sotto-classificazioni nelle quali queste cause possono essere suddivise, a seconda dell'origine (naturale o antropica), della durata (ad *azione prolungata* o *azione improvvisa*), o del tipo di azione (diretta e indiretta). Le principali sono l'umidità, i fattori meteorologici o climatici (pioggia, vento, soleggiamento), l'inquinamento naturale (pollini, insetti, microrganismi), gli incendi, le trasformazioni e le modifiche di natura antropica, l'incuria e l'abbandono, l'inquinamento antropico e le *sollecitazioni sismiche artificiali*.

Nei prossimi paragrafi si descrivono più dettagliatamente tre delle cause principali: la *temperatura*, l'*umidità* e la *luce*.

### 6.2.2 *La temperatura*

Cambiamenti di temperatura possono condurre a diversi fenomeni di degrado:  
 ° espansioni e contrazioni, non solo su singoli elementi architettonici ma su intere strutture. Meccanismo di degrado implicato è la *dilatazione termica*, definita per ogni materiale da un coefficiente tanto maggiore quanto il materiale stesso è deformabile, in una relazione esprimibile dalla formula

$$\Delta l \text{ [m]} = L \text{ [m]} \times c \text{ [}^\circ\text{K}^{-1}\text{]} \times \Delta t \text{ [}^\circ\text{K]},$$

dove  $\Delta l$  è la variazione di lunghezza dell'elemento,  $L$  è la lunghezza dell'elemento,  $c$  è il coefficiente di dilatazione termica e  $\Delta t$  è la variazione di temperatura.

Variazioni dimensionali subite dagli elementi possono causare *stress* fisici e conseguenti deformazioni visibili; particolarmente evidente è il caso di dilatazioni *differenziali* in materiali di composizione eterogenea, che «comporta ugualmente l'insorgere di *stress meccanici*, indotti dal materiale più deformabile su quello

<sup>3</sup> Ivi, p. 302.

<sup>4</sup> *Ibidem*.

<sup>5</sup> *Ibid.*

meno deformato e costituisce un fenomeno particolarmente pericoloso per gli edifici antichi soggetti a interventi moderni.»<sup>6</sup> Può presentarsi anche in elementi lapidei di grandi dimensioni, nei quali «a causa dell'inerzia termica del materiale, le zone più interne sono sottoposte a oscillazioni termiche minori di quelle superficiali e subiscono quindi deformazioni meno accentuate»<sup>7</sup>;

° cicli termici — in particolar modo, nel caso di oggetti colpiti dalla radiazione solare, quelli di gelo/disgelo. Questi cicli producono *stress* interni e, nei materiali vulnerabili, una minore resistenza a rottura per fatica — con pari importanza tra quelli a ciclo quotidiano e quelli a ciclo stagionale. Sono fenomeni che si manifestano maggiormente nelle giornate soleggiate, quando i materiali, al comparire e scomparire del sole (unito talvolta dall'azione del vento), possono ricevere veri e propri *shock*: il legno ad esempio può subire alterazioni della lignina, dell'emicellulosa e della cellulosa con perdite di peso alle quali corrispondono diminuzioni di resistenza e di elasticità;

° disgregazioni granulari, in special modo nelle pietre con strutture granulose o cristalline (ad esempio graniti e marmi), dove la prolungata azione termica produce cambiamenti nella struttura microscopica;

° cambiamenti di UR e di MC: «L'effetto più noto è quello degli abbassamenti di UR dovuti a incrementi termici, e viceversa. [...] Molti materiali, come il legno, il papiro, l'avorio o gli intonaci subiscono cambiamenti dimensionali a seconda del contenuto d'acqua, rigonfiandosi o ritirandosi, con deformazioni, micro o macro-fratture, ...»<sup>8</sup>. Il fenomeno colpisce anche le pietre, sebbene il processo di disgregazione avvenga in sinergia con altri fattori;

° bio-deterioramento: temperatura e umidità influiscono sulla formazione e sull'*habitat* dei microrganismi. «A temperature inferiori a 0°C, i cristalli di ghiaccio eliminano dall'interno i micro- o macrorganismi. Nell'intervallo fra il punto di fusione e i 20°C, i processi metabolici sono favoriti dalla temperatura in aumento, e il bio-degrado batterico può essere pertanto impedito dalla scelta appropriata di basse temperature e di altri fattori ambientali»<sup>9</sup>. Temperature comprese fra i 25°C e i 35°C favoriscono particolarmente l'attività batterica, mentre sopra i 40°C molti microrganismi soffrono l'ambiente troppo caldo (nel caso quest'ultimi abbiano colonizzato pietre o murature, la temperatura del materiale è più importante di quella ambientale). Rimedio controproducente è quello

---

<sup>6</sup> Ivi, p. 336.

<sup>7</sup> Ibid.

<sup>8</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for Cultural Heritage. Conservation, Restoration, and Maintenance of Indoor and Outdoor Monuments*, Elsevier, Amsterdam 2014, p. 17. Testo originale: «The most popular effect is that when the temperature increases, the relative humidity decreases and vice versa. [...] Several materials, for example wood, parchment, ivory, plaster, change their dimension with water content, swelling or shrinking, with deformations, micro or macro fissuring and so on», traduzione dell'Autore.

<sup>9</sup> Ivi, p. 19. Testo originale: «At temperature below 0°C, the ice crystals that were formed inside micro- or macro-organism may kill them. In the interval above the freezing point up to 20°C, the metabolic processes are favoured with the increasing temperature; the biodegradation due to bacteria can be often prevented with an appropriate choice of low or mild temperature and other environmental variables», traduzione dell'Autore.

dell'applicazione, su pietre o altri materiali, di pellicole anti-microbiche superficiali che possono non solo favorire il deposito di particolato *aerotrasmesso*, ma anche modificare le caratteristiche di risposta del materiale all'umidità o alla radiazione solare.

### 6.2.3 *La luce e l'illuminazione*

*«Parlare di illuminazione significa parlare di energia, energia che necessariamente colpisce l'opera d'arte. Questa energia assorbita dal materiale causa in esso fenomeni che vanno dal semplice riscaldamento, a reazioni più complesse di tipo fisico o chimico»<sup>10</sup>.*

Prima di descrivere i *danni* causati dalla luce è necessario esporre il tema della luce da un punto di vista fisico. L'energia luminosa viene emessa da una sorgente secondo uno specifico spettro che dipende dalla sua temperatura; secondo la legge di Wien vale l'equazione:

$$\lambda_m [\mu\text{m}] \times T [^\circ\text{K}] = \text{costante} = 2897,80$$

dove T è la temperatura e  $\lambda_m$  è la lunghezza d'onda della radiazione emessa.

Attraverso un prisma la radiazione generata da sorgenti di "luce bianca" (come quella solare ad esempio, o emessa da lampade fluorescenti o al tungsteno) si divide in tutti i colori dell'arcobaleno, con lunghezze d'onde minori nel violetto e maggiori nel rosso. Tra quelle emesse a diverse ampiezze dalla "luce bianca", le radiazioni con lunghezza d'onda immediatamente inferiore allo spettro visibile prendono il nome appunto di *ultraviolette* (UV); al limite superiore dello spettro visibile invece, *«la maggiore lunghezza d'onda rossa visibile è pari a circa 760 nm, sebbene il "rosso" oltre i 700 nm sia appena visibile. Oltre questo valore, la radiazione è definita infrarossa (IR). Tutte le radiazioni assorbite da ogni materiale causano un aumento termico [...], ma il termine "calore radiante" è molto spesso confinato alla radiazione IR perché possiamo considerare il calore come il suo solo effetto.»<sup>11</sup>*

Il *danno* causato dagli elementi di illuminazione installati in maniera non corretta è in relazione alla lunghezza d'onda della luce emessa. Le radiazioni UV *«causano generalmente maggiori danni rispetto alla stessa quantità di radiazione di colore blu, la quale è più nociva di una radiazione gialla.»<sup>12</sup>* Si potrebbe quindi assumere che le luci di colore rosso non causino danni di tipo chimico, ma in realtà la quantità di radiazione UV emessa da tutte le fonti di luce è molto minore rispetto a quella visibile, e molti materiali sono *colpiti* da radiazioni a diver-

<sup>10</sup> A. BERNARDI, *op. cit.*, p. 34.

<sup>11</sup> G. THOMSON, *The Museum Environment*, Butterworths, Londra 1986, pp. 4-5. Testo originale: *«The longest wavelength res which we can see is at about 760 nm, though red beyond 700 nm is barely visible. Beyond this the radiation is called IR. All radiation, if it is absorbed by any material, causes a rise in temperature [...] but in practice the term 'radiant heat' is very often confined to IR radiation, because we can regard heating as its only effect»*, traduzione dell'Autore.

<sup>12</sup> Ivi, p. 15. Testo originale: *«UV radiation causes more damage in general than the same amount of blue radiation, which causes more damage than yellow radiation»*, traduzione dell'Autore.

se lunghezze d'onda. In via generale, un materiale è danneggiato sia dalle radiazioni visibili sia da quelle UV, e maggiore sono le prime, maggiore sarà il danno causato: la maggior parte delle sostanze pittoriche è più soggetta all'azione degli ultravioletti, così come materiali come le lacche, le vernici trasparenti e le pitture a olio, mentre nel caso di pigmenti molto sensibili una maggiore attenzione dev'essere posta nella protezione delle opere alle radiazioni visibili. Differenza sostanziale fra radiazione ultravioletta e infrarossa è che la prima è caratterizzata, nell'assorbimento della luce, da un processo di eccitazione elettronica, mentre la seconda da una di tipo molecolare: in sostanza, la prima determina variazioni di colore, la seconda aumenti termici.

Una seconda questione da valutare è la necessità di distinguere l'utilizzo intermittente di una luce *tenue* dalla consuetudine, nociva, dell'illuminazione irregolare per pochi minuti diretta verso opere tramite lampade ad incandescenza azionate dai visitatori: quando un corpo illuminante è attivo, il riscaldamento prodotto sulla superficie pittorica genera un'escursione termica capace di provocare *stress* meccanici all'interno della struttura e/o tra i diversi strati, microfratture o distacchi dei rivestimenti dovuti ai cicli di accensione/spegnimento degli elementi. Supporti più colpiti da questi fenomeni sono la tela, gli affreschi, il legno e l'avorio: assumendo ad esempio un dipinto murale, «*il riscaldamento avviene partendo dalla superficie e si propaga successivamente verso l'interno. La superficie pittorica ha spesso dei coefficienti di dilatazione diversi dall'intonaco sottostante, per cui i cicli di riscaldamento e raffreddamento comportano continui e spesso anche repentini movimenti differenziati tra i due strati con inevitabili fessurazioni e, nel peggiore dei casi, distacchi della pellicola pittorica.*»<sup>13</sup>

Altro argomento riguarda la distribuzione dei corpi illuminanti (atta non soltanto ad evitare riflessi o bagliori): in un ambiente chiuso l'aria «*tende a stratificarsi in strati di diversa densità, corrispondenti, dal pavimento al soffitto, ai diversi gradienti termici. Salendo, l'aria riscaldata dalle lampade forma delle celle convettive verticali, che si sviluppano verso l'alto fin quando l'aria calda raggiunge un altro strato d'aria con densità più bassa o il soffitto.*»<sup>14</sup> Per questo motivo, lampade poste al di sopra dei dipinti lasciano l'area sottostante *indenne* da questi movimenti, mentre nel caso di soffitti affrescati una buona soluzione consiste nel mantenere le superfici leggermente più calde dell'aria sottostante (distanziando opportunamente gli elementi dai soffitti affinché questi ultimi non vengano raggiunti dalle celle convettive). Si aggiunga poi che le correnti convettive generate al di sopra delle lampade creano nell'atmosfera *turbolenze* capaci di favorire il trasporto, e il relativo deposito superficiale, di particolato.

Le strutture pittoriche possono infine subire cambiamenti di colore causati dalle modifiche chimiche o strutturali dei coloranti superficiali: alterazioni cromatiche sono particolarmente nocive sugli acquerelli, gli inchiostri, i manoscritti e le

<sup>13</sup> A. BERNARDI, *op. cit.*, p. 36.

<sup>14</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for Cultural Heritage*, pp. 160–161. Testo originale: «*The air heated by lamps rises forming convective vertical cells, which develop upwards until the warm air reaches another air layer with lower density or the ceiling*», traduzione dell'Autore.

miniature piuttosto che sui quadri a olio e su quelli a tempera. La differenza è sostanzialmente data dalla quantità totale di luce ricevuta dall'elemento pittorico: mentre negli acquerelli tutte le particelle di pigmento sono completamente esposte alla luce, nelle pitture a olio vi sono alcune parti di pigmento *schermate*, totalmente o parzialmente.

Il legno e la carta sono molto sensibili alla radiazione UV: per il primo la *foto-ossidazione* «determina la totale distruzione delle cellule superficiali, a causa della penetrazione, poco profonda (circa 2 mm), dei raggi solari, in particolare di quelli ultravioletti, e un impoverimento della lignina. Conseguenza di tale alterazione è lo scurimento delle superfici esposte, che acquistano una colorazione bruna in ambiente secco e grigiastra in ambiente umido.»<sup>15</sup>

La norma UNI 10829:1999 riporta il procedimento di misurazione dell'*illuminamento* generale, artificiale o naturale degli ambienti.

In caso di illuminazione naturale ed artificiale sono due le fasi previste: nella fase I, durante le ore centrali di una giornata luminosa e con l'impianto d'illuminazione spento, dev'essere innanzitutto prefissata una *mapa* in corrispondenza della sezione orizzontale all'altezza di 80 cm dal pavimento: dopo aver oscurato completamente le aperture, i punti di misurazione corrispondono ai «nodi di una griglia orizzontale di lato 1 m che si traccia in relazione alla disposizione nell'ambiente degli apparecchi illuminanti. [...] In ogni caso le misurazioni devono essere effettuate almeno 15 min dopo l'accensione degli apparecchi». Nella fase II dev'essere innanzitutto determinata la zona in cui «l'apporto del solo illuminamento naturale è maggiore del 20% dell'apporto relativo al solo illuminamento artificiale», nella quale individuare quattro aree contraddistinte da altrettanti livelli di illuminamento ( $\leq 50$  lx, compreso fra 50 e 150 lx, compreso fra 150 e 300 lx, e  $>300$  lx); le misurazioni vanno effettuate nel punto con illuminamento maggiore.

In caso di illuminazione localizzata invece è necessario

*scegliere i punti su superfici normali alla direzione delle sorgenti luminose interessate ed in corrispondenza alle posizioni di esposizione occupate [...] dagli oggetti di interesse storico ed artistico. [...] Nel caso di oggetti contenuti in vetrine o bacheche, effettuare le misurazioni all'interno delle stesse. [...] Tutte le misurazioni descritte devono essere effettuate almeno 15 min dopo l'accensione delle sorgenti luminose, così da essere significative dalle condizioni di regime.*

In conclusione si possono riassumere i motivi per cui un allestimento museale in un edificio storico può non essere adeguato:

- ° inadeguati *utilizzo* e *sfruttamento* dell'involucro degli ambienti (ad esempio, a causa dell'ingresso di umidità o di luce solare diretta);
- ° introduzione di nuove e nocive condizioni attraverso l'installazione di sistemi e impianti moderni (ad esempio, l'abbassamento di umidità dovuto al riscaldamento invernale, o eccessiva illuminazione);

<sup>15</sup> D. FIORANI, *op. cit.*, p. 359.



◦ trasferimento di un allestimento in ambiente con condizioni climatiche estranee.

#### 6.2.4 Il degrado causato dall'acqua e dall'umidità

Come visto nel precedente capitolo, molti materiali sono estremamente sensibili al loro MC, alla sua variazione e ai relativi effetti. Per molti materiali assume particolare importanza la definizione dell'*Equilibrium Moisture Content* (EMC), corrispondente al MC raggiunto per equilibrio da un materiale al suo interno con la temperatura e l'UR ambientali: nei materiali non porosi e non igroscopici è tendente allo zero, per altri diminuisce fino ad annullarsi solo in corrispondenza di livelli nulli di UR, mentre per molti materiali organici o inorganici, cambiamenti dell'EMC (e relativi fenomeni) derivano direttamente dai parametri microclimatici.

Nel legno ad esempio il MC varia a seconda dell'essenza, ed può essere stimato fra il 20% e il 30% in base alla stagionatura:

*Quando l'UR ambientale diminuisce, anche l'EMC si riduce e il legno si ritira con importanti cambiamenti dimensionali, mentre viceversa aumenta con aumenti di UR [...], cambiamenti di temperatura hanno invece un impatto minore, NdA]. Il legno perde umidità quando la temperatura aumenta perché l'energia cinetica in aumento delle molecole d'acqua interagisce con i legami di idrogeno causando l'evaporazione di un determinato numero di molecole<sup>16</sup>.*

Il contenuto percentuale di umidità di saturazione dovrebbe teoricamente trovarsi in condizioni di costante equilibrio con l'ambiente: «Tale condizione di equilibrio, riconducibile per convenzione a un valore di umidità del 12%, è sottoposta a continui assestamenti cui corrispondono variazioni di assetto e di volume del materiale»<sup>17</sup>. Effetti di ritiri eccessivi possono consistere in tensionamenti interni o superficiali, fratture delle estremità degli elementi o in collassi delle pareti cellulari. Particolarmente grave è l'avvicinarsi di cicli di bagnatura e asciugatura, ai quali corrispondono continui assestamenti oltre che aumenti di umidità responsabile del deterioramento da microrganismi.

Anche altri materiali come carta, papiro o cuoio sono sensibili ai cambiamenti di UR (tanto che il comportamento dei primi due fu *sfruttato* alla metà del Settecento da Francesco Folli per la costruzione di uno dei primi igrometri). Nel caso del patrimonio librario ad esempio, variazioni delle condizioni ambientali per il raggiungimento di quelle "ottimali" (il valore di UR previsto in alcuni manuali è del 45%, nel rispetto della regola "il dimezzamento dell'UR comporta il raddop-

---

<sup>16</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for Cultural Heritage*, p. 83. Testo originale: «When the ambient RH decreases, the EMC too decreases and the wood shrinks with important wood dimensional changes, and the reverse occurs when RH increases. [...] Wood loses moisture when the ambient temperature increases because the increasing kinetic energy of the water molecules counteracts the H bonds with the result that a number of molecules will return to the gaseous phase», traduzione dell'Autore.

<sup>17</sup> D. FIORANI, *op. cit.*, p. 359.

pio dell'aspettativa di vita"), possono sì da un lato migliorare la preservazione della carta, ma possono altresì modificare le caratteristiche degli altri materiali (come il cuoio delle legature) danneggiando l'integrità del libro. È da sottolineare l'effetto nocivo che microrganismi e batteri hanno su questi materiali, e, come già sopra indicato, sia l'umidità sia temperature medio-alte possono favorire l'attacco di funghi o di altri parassiti. In generale, fattori di crescita sono un *habitat* favorevole (temperatura superficiale, UR e MC del materiale), struttura del sub-strato (porosità, bio-suscettività) e livello d'inquinamento ambientale dovuto a sali, materiali organici, diversi indici di ventilazione, pH o illuminazione; condizioni termo-igrometriche favorevoli alla vita degli insetti sono  $T=22-24^{\circ}\text{C}$  e  $UR=70-80\%$ <sup>18</sup>.

Altri fenomeni di degrado diffusi in diversa misura possono essere:

° in alcune pietre, la trasformazione chimica di marmo o arenarie in gesso, e la formazione (soprattutto in pietre carbonatiche e sedimentarie) di croste nere superficiali causate «dall'accumulo in superficie di sostanze (carbonati, cloruri, solfati, ossidi, acidi organici, polveri ecc.) che derivano perlopiù dall'aria inquinata dell'ambiente o dal trasporto in superficie, tramite l'acqua, di sostanze solubili interne al materiale lapideo stesso»<sup>19</sup>;

° la presenza — in pietre, mattoni, intonaci, affreschi e altri materiali — di sali solubili in acqua sensibili ai cambiamenti microclimatici. Le modifiche ambientali causano cicli di UR capaci di generare cristallizzazione e dissoluzione dei sali attraverso due fenomeni principali: «l'evaporazione dell'acqua, in relazione con l'UR ambientale, causa una concentrazione della soluzione, ipersaturazione e precipitazione dei cristalli di sale; i sali igroscopici, nella forma cristallina solo in ambiente secco, diventano deliquescenti o precipitano seguendo i cicli di UR ambientale»<sup>20</sup>, in un processo già in precedenza analizzato generante efflorescenze, subflorescenze, ecc.

Per le malte,

*in atmosfera ricca di anidride carbonica il ciclo di umidificazione–evaporazione dell'acqua produce una variazione, distributiva e dimensionale, dei cristalli di carbonato di calcio tale da accentuare la durezza dell'intonaco e da rendere la superficie rugosa e opaca. La solubilizzazione del carbonato di calcio originale può comportare, inoltre, l'impovertimento della componente legante della malta che perderà, in tal modo, le sue capacità di coesione. Se le efflorescenze producono in prevalenza danni estetici [...], le subflorescenze sono ancora più pericolose, perché possono indurre il distacco fra gli strati d'intonaco o dell'intonaco dal supporto. La malta contenuta nei giunti della muratura o costituente l'intonaco può, a causa della gelività o della cristallizzazione dei sali, subire una generale perdita di coerenza; tale decoesione si manifesta come disgre-*

<sup>18</sup> A. BERNARDI, *Conservare opere d'arte. Il microclima negli ambienti museali*, Il Prato, Padova 2004, p. 53.

<sup>19</sup> D. FIORANI, *op. cit.*, p. 350.

<sup>20</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for Cultural Heritage*, p. 99. Testo originale: «The water evaporation, which is controlled by ambient RH, causes a concentration of the salt, supersaturation and precipitation of salt crystals; hygroscopic salts, which are in crystalline form only in a dry environment, become deliquescent or precipitate following the ambient RH cycles», traduzione dell'Autore.

*gazione del materiale, che diventa così facilmente dilavabile e permette l'accumulo di nuova acqua, e, dunque, l'incremento dell'alterazione*<sup>21</sup>.

Negli edifici storici, in presenza di intonaci porosi e murature umide, sono spesso evidenti zone di erosione della malta in corrispondenza dello strato di separazione *umido/asciutto*, contornate a volte da efflorescenze continue. Causa principale è la pressione dei sali migranti contenuti nella muratura che, all'alternarsi di periodi di prosciugamento e imbibizione (corrispondenti a maggiori e minori concentrazioni saline), cristallizzano dentro i capillari. Le efflorescenze compaiono tendenzialmente nel "punto d'arrivo" dell'umidità.

Efflorescenze, erosioni e concrezioni sono degni da attribuire alla migrazione dei sali, dovuti principalmente a due diverse cause: la prima è la capillarità, ossia «*quella per la quale il liquido si trasferisce successivamente dai vani umidi ai vani capillari asciutti*»; la seconda è la diffusione, ossia il «*movimento molecolare dei sali in seno al liquido, cioè da una zona a un'altra del liquido e per l'appunto dalla zona di soluzione più concentrata alla zona di soluzione più diluita*»<sup>22</sup>. Non sempre è possibile distinguere le due cause.

I sali si dividono in base alla loro attitudine di migrazione: «*Il componente principale è il solfato di magnesio, sale che ha la massima attitudine migratoria, ma sono presenti anche solfati di calcio e di sodio*»<sup>23</sup>: il solfato di magnesio e quello di sodio sono solubilissimi in acqua, quello di calcio è poco solubile, mentre il carbonato di calcio è solubile solo con determinate quantità di anidride carbonica. Più rari sono i cloruri e i nitrati (i primi originati dal vento marino, i secondi in prossimità di depositi di rifiuti organici).

Le fonti principali dei sali solubili sono due di quelle già descritte nel primo capitolo, l'umidità ascendente dal sottosuolo e gli stessi materiali da costruzione (i quali contengono sali nella loro carica originaria). Risulta naturale che l'obiettivo principale per eliminare questi degni deve essere l'interruzione dell'umidità circolante, mentre per gli effetti estetici bisogna limitarsi a spazzolare a secco le superfici.

° La corrosione e l'ossidazione dei metalli: «*il processo di corrosione viene spiegato con la tendenza, da parte del metallo, a tornare allo stato del minerale originario da cui è stato ricavato*»<sup>24</sup>. Si possono distinguere due tipi di corrosione, quella *secca* (a carattere chimico) e quella *umida* (di natura elettrochimica): l'ossidazione che genera la patina appartiene al primo tipo, mentre la seconda avviene in presenza di acqua (quando l'elemento è immerso o in caso di condensa a percentuali di umidità assoluta dell'atmosfera superiori al 60–70%). A differenza di molti materiali, per i quali si devono favorire condizioni *intermedie*, i metalli (specialmente le leghe di ferro e di rame) beneficiano quindi di condizioni di bassa umidità, un requisito che contrasta con i valori di UR mantenuti (40–

<sup>21</sup> D. FIORANI, *op. cit.*, pp. 377–378.

<sup>22</sup> G. e I. MASSARI, *op. cit.*, p. 15.

<sup>23</sup> Ivi, p. 14.

<sup>24</sup> D. FIORANI, *op. cit.*, p. 343.

45%) in allestimenti museali “misti” per la conservazione di materiali igroscopici. Metalli di buona qualità ed elementi in bronzo possono comunque essere adeguatamente conservati a livelli di UR intorno al 55%, mentre metalli come l'argento, il piombo e lo stagno non incorrono in particolari problemi se conservati a basse umidità;

° alterazioni cromatiche delle sostanze tessili: per questi elementi (cotone, lino, seta) — che *sbiadiscono* più rapidamente ad alti livelli di UR — gli effetti causati dall'umidità non sono abbastanza importanti da dover modificare, in allestimenti museali “misti”, le condizioni micro-climatiche; sono invece fondamentali per l'immagazzinamento e il deposito degli elementi, sebbene l'assenza di luce concorra alla loro preservazione;

° la *solubilizzazione* del vetro: il meccanismo può essere ricondotto allo scambio tra gli ioni idrogeno dell'acqua (in particolar modo quella alcalina, con pH pari a 9–10) e quelli alcalini del vetro.

*Nella prima fase di “adsorbimento” dell'acqua il vetro è circondato da una pellicola sottile e uniforme, attraverso la quale gli ioni sodio vengono rimpiazzati dagli ioni idrogeno. A questa idratazione della superficie vetrosa corrispondono la rottura dei legami molecolari interni e l'insorgenza di una microporosità superficiale che può portare, con vetri antichi, alla “carbonatazione del vetro”, ovvero alla trasformazione degli alcali in carbonati, con la conseguente formazione di croste.*<sup>25</sup>

Primo effetto di alterazione è l'opacizzazione del materiale a seguito della formazione della sottile pellicola esterna: il processo innescato «*conduce progressivamente alla disgregazione del materiale attraverso un meccanismo piuttosto lento, ma ugualmente preoccupante*»<sup>26</sup> dato lo spessore contenuto dei manufatti.

---

<sup>25</sup> Ivi, p. 384.

<sup>26</sup> *Ibid.*

### 6.3 L'indagine sulle cause di degrado dovuto all'acqua

Come già esposto sotto il termine di *umidità* sono racchiuse diversi fenomeni di degrado e diverse fonti dalle quale l'acqua proviene. Prima di descrivere il progetto di conservazione proposto riteniamo utile esporre le indagini preliminari che hanno condotto alla più probabile definizione della provenienza dell'umidità. Innegabile sottolineare, come già compiuto nel primo capitolo, l'importanza di riconoscere la fonte per intervenire in maniera efficace e risolutiva (nei limiti degli strumenti di indagine a disposizione): è infatti necessario specificare che l'approccio utilizzato nelle indagini sia stato quello *visivo*, demandando ad ulteriori campagne indagini più specifiche.

#### 6.3.1 Il protocollo d'indagine

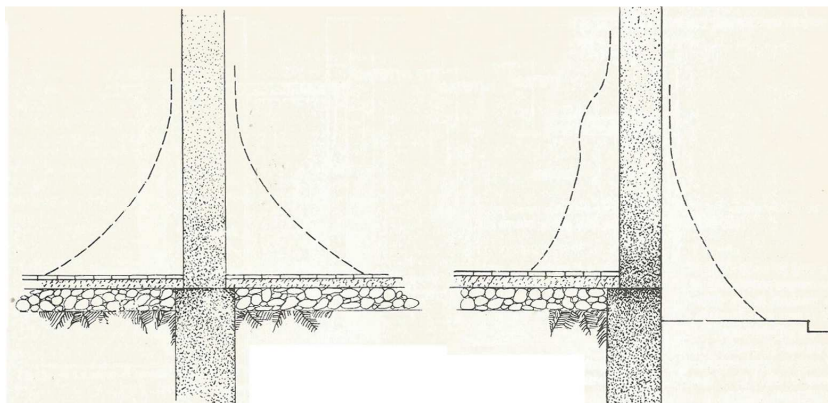
Dalle considerazioni esposte nel primo capitolo e dalla bibliografia disponibile è stato possibile analizzare i fenomeni di degrado a partire dalle loro principali caratteristiche. Un *protocollo* utilizzato per l'indagine delle cause è qui riportato, rielaborato a partire dalle considerazioni stesse:

**Tabella 13.** Questionari d'indagine delle cause dei fenomeni di degrado, rielaborazione dell'Autore da C. AGHEMO, E. CIRILLO, I. FATO e M. FILIPPI, L'umidità nelle murature: una metodologia di indagine, in *Recuperare* n. 7, Settembre 1991, pp. 574-579.

Risalita	Condensazione	Infiltrazioni
L'edificio presenta una fascia umida continua che interessa in modo uniforme la totalità dei muri esterni? Esistono edifici vicini che presentano pari manifestazioni?	Dove si manifesta l'umidità? La manifestazione appare in luoghi dove l'aria è confinata? La superficie umida è anche un ponte termico?	Qual è l'esposizione del muro interessato? Le manifestazioni hanno carattere intermittente?
Sono interessati dal fenomeno anche i muri interni?	Nei locali si attua sufficiente ricambio d'aria?	Esistono cornicioni o grondaie? Sono efficienti? Quanti anni ha il manto di copertura?
Quale altezza raggiunge la fascia umida all'esterno e all'interno? Decresce, aumenta o rimane invariata al variare delle stagioni o dopo i periodi di elevata piovosità?	La manifestazione si produce in inverno o in estate? Sulla superficie vi è formazione di muffe? La manifestazione si presenta sotto forma di macchie umide o una completa umidificazione della muratura?	Dove si manifesta il fenomeno? Lungo i cornicioni o sporgenze di varia natura; in corrispondenza del giunto fra due materiali aventi capillarità diverse; lungo le opere per la raccolta e l'evacuazione delle acque

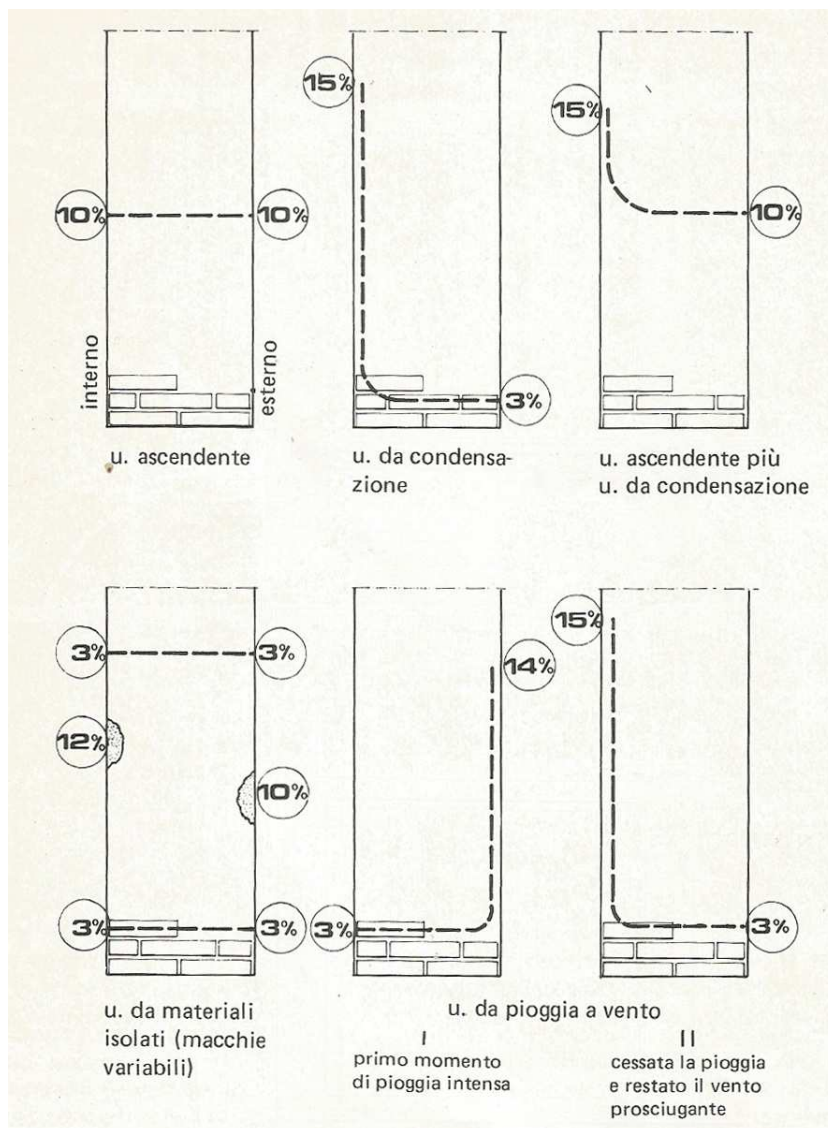
		meteoriche
Che tipo di manifestazioni umide si presentano?		Le manifestazioni sono più visibili dopo una precipitazione atmosferica?
L'edificio presenta una fascia umida discontinua che colpisce uno solo dei muri o anche una sola parte?		Quale tecnica di impermeabilizzazione è stata adottata? Quanti anni ha? Sono presenti disconnessioni?
Lo spessore del muro è costante?		
La muratura interessata ha un orientamento sfavorevole all'evaporazione dell'acqua accumulata?		
Sono state costruite opere che producono sbarramento alla circolazione dell'acqua meteorica?		
Il suolo ai piedi della costruzione è molto compatto? Canalizzazione e pozzetti di raccolta sono efficaci?		
Parte dell'acqua meteorica viene scaricata contro l'edificio?		

La diagnostica strumentale è invece rivolta a definire il fenomeno in termini quantitativi — come già descritta nel precedente paragrafo 5.4.3 — verificando in quale misura i risultati ottenuti confermino le ipotesi di base sull'origine dei fenomeni stessi. Un metodo di studio può consistere nella rappresentazione grafica dello stato di assorbimento della muratura, costruita con i risultati delle analisi percentuali del contenuto umido superficiale e riportate nel capitolo 5.



**Figura 37.** Rappresentazione dello stato di umidità di una parete interna (a sx) e di una parete perimetrale (a dx) tramite diagrammi delle sezioni, da G. e I. MASSARI, *op. cit.*, pp. 49–51.

In generale (v. Fig. 37) per una muratura interna «si possono tracciare i diagrammi delle sue due parti, che in generale risulteranno simmetrici e quasi eguali. Viceversa in un muro perimetrale esterno i diagrammi sono sempre dissimili, con tendenza in quello della faccia esterna ad un più rapido diminuire dell'umidità a mano a mano che ci si innalza dal suolo: effetto della ventilazione naturale esterna. L'andamento può essere spezzato ed anche irregolare.»<sup>27</sup> Generalmente nelle costruzioni esistenti il contenuto umido di una stessa parete «sbalza da un valore massimo ad uno minimo molto distanziati»<sup>28</sup>, con rami fortemente curvati.



**Figura 38.** Diagramma della distribuzione trasversale dell'umidità dalla faccia interna all'esterna, nella sezione orizzontale, di un muro, di buona conducibilità capillare, a seconda dell'origine dell'acqua, da G. e I. MASSARI, *op. cit.*, pp. 54.

<sup>27</sup> G. e I. MASSARI, *op. cit.*, p. 50.

<sup>28</sup> Ivi, p. 52.

Più interessante appare la rappresentazione (v. Fig. 38) dei valori rilevati all'interno dell'ossatura muraria, tramite diagrammi diagnostici *sicuri della causa dell'umidità*<sup>29</sup>. Dallo schema possono infatti essere tratte alcune utili considerazioni:

- ° nel caso di umidità ascendente per risalita si ha un contenuto umido nella muratura decrescente con l'altezza, mentre la sezione trasversale è caratterizzata da un andamento parabolico con il massimo nel centro;
- ° nel caso di umidità da condensazione il contenuto umido è elevato in superficie e decrescente all'avvicinarsi dell'interno del muro;
- ° nel caso di "acqua da pioggia" sono rilevabili valori differenti tra le superfici interna ed esterna (soprattutto tra il primo momento di pioggia intensa e una volta cessata la pioggia ma con vento prosciugato);
- ° *umidità* in zone circoscritte può essere infine imputabile a perdite localizzate delle reti tecnologiche (il contenuto umido cresce spostandosi dalla zona in cui il fenomeno si manifesta al punto in cui la perdita ha origine) o alla presenza localizzata di sali igroscopici.

*Come si può, dall'esame del diagramma della sezione umida, esprimere un giudizio sulla gravità del caso e come rendere confrontabili i diagrammi di murature diverse? Per esempio: è più dannosa un'umidità di appena il 5% diffusa su di una vasta superficie in parete, oppure una altissima percentuale del 18% che però investe soltanto una fascia basamentale? [...] L'invasione umida è caratterizzata non tanto dalla percentuale massima quanto dall'estensione della conquista territoriale e dal contenuto percentuale medio; su di una parete il limite dell'avanzata è segnato dall'altezza cui è giunta. Anche dal punto di vista igienico e secondo i criteri già espressi in materia di evaporazione si può presumere che il danno sia proporzionale più alla superficie evaporante, che alla percentuale d'acqua contenuta, quando questa è elevata*<sup>30</sup>.

### 6.3.2 *Le ipotesi sulle cause di degrado dovuto all'acqua*

Come visto, ciascuna causa di degrado è caratterizzata da una diversa difficoltà di risalire alla "fonte d'acqua" generante i fenomeni di degrado in atto, anche nei casi in cui la loro gravità sia ben evidente: se infatti ad esempio le infiltrazioni dalla copertura o la risalita capillare dovuta alle acque disperse sono più *facilmente* individuabili (e intercettabili), i fenomeni dovuti a condensazione (superficiale o interstiziale) o a risalita dal sottosuolo sono di più difficile identificazione e riconoscimento.

Sono riportate di seguito le considerazioni compiute in merito ai principali fenomeni (risalita capillare, condensazione superficiale/interstiziale, "acqua da pioggia") già ampiamente trattati; si sottolinea che si tratta di ipotesi da validare o confutare con ulteriori metodi d'indagine (visiva e diagnostica) da realizzarsi nei prossimi anni come fasi preliminari al progetto d'intervento. In particolar

<sup>29</sup> Ivi, p. 55.

<sup>30</sup> *Ibid.*



modo dovrà essere approfondita la più probabile combinazione fra *causa* e *posizione*: la loro estensione in particolari punti dell'edificio e in generale lo stato di conservazione dell'edificio possono far supporre che i punti più colpiti siano proprio quelli dove le tre cause abbiano modo di agire simultaneamente. Infatti

*il degrado indotto dall'acqua non è un fenomeno singolo e isolato, ma appartiene a un processo complesso nel quale le cause e le conseguenze che ne derivano si accavallano, si amplificano e si complicano, associandosi e interagendo le une con le altre. Non è possibile parlare di umidità di risalita o di condensa come di un fenomeno univoco, schematizzabile e isolabile rispetto agli altri, e in queste difficoltà si nasconde l'insidia maggiore nella lotta all'umidità, traducendosi nella diffusa tendenza a ricercare "la" causa da combattere con "una" determinata tecnica, eventualmente raffinata e complessa, e possibilmente sostenuta da articolati argomenti di tipo fisico-chimico. Ma in natura, di solito, non esiste la causa unica di un processo, ed è spesso su tale equivoco che si basa l'inefficacia di quasi tutte le tecniche di deumidificazione proposte dal mercato.*<sup>31</sup>

<b>Causa ipotizzata</b>	Risalita capillare
<b>Dove si presenta</b>	Le murature più colpite dal fenomeno sono quelle rivolte a nord ed a est, in modo specifico quelle dell'ambiente absidale per le quale — tramite le mappature psicometriche riportate nel paragrafo 5.4.1.3 — si sono evidenziati alti valori di umidità specifica e la natura principalmente <i>evaporante</i> delle pareti stesse.
<b>Come si presenta</b>	Il fenomeno si presenta nelle murature interne in macchie di colore scuro di diverse <i>tonalità</i> e altezze dal pavimento. Sulla parete est l'altezza del fronte di risalita interessa gran parte della superficie, mentre su quella nord l'estensione appare più contenuta seppur comunque evidente. In corrispondenza dei cambi di <i>tono</i> sono visibili efflorescenze di colore bianco, mentre su parte della parete est aree soggette a polverizzazione, lacune e distacchi localizzati e puntuali. I fenomeni non colpiscono soltanto gli intonaci cementizi di <i>basamento</i> ma anche (seppur con minor estensione ma con maggior gravità) l'apparato decorativo ad affreschi in <i>fregio</i> .
<b>Fenomeni di degrado (UniNormal)</b>	Alterazioni cromatiche, polverizzazioni, efflorescenze, distacchi e lacune.
<b>Perché si presenta</b>	Le murature rivolte a nord e ad est sono a diretto contatto con un'area esterna (appartenente ad un'altra proprietà) destinata a terrazzo scoperto. Non è stato possibile risalire alla <i>struttura</i> sottostante, anche se si può ipotizzare che la stratigrafia del terrazzo sia costituita da una soletta in calcestruz-

<sup>31</sup> L. NAPOLEONE, *Deumidificazione e difesa delle murature e degli ambienti dall'umidità*, in B. P. TORSELLO, S. F. MUSSO, *Tecniche di restauro architettonico. Volume 2*, Utet, Torino 2003, p. 805.

zo realizzata direttamente sul terreno.

Dal rilievo fotografico (realizzato nel febbraio del 2015) è evidenziabile un inefficace deflusso delle acque meteoriche, riconoscibile nel *colore* superficiale della soletta e nel suo stato di conservazione e manutenzione: appare infatti soggetta ad attacchi di natura biologica con formazione di vegetazione superficiale e a macchie di umidità che interessano l'intera superficie e parte della muratura verticale di contenimento.

Il sistema di deflusso delle acque meteoriche *a terra* appare insufficiente: l'acqua meteorica proveniente dalla pioggia e dalla neve *permane* sul terrazzo, imbevendo il terreno sottostante e quindi indirettamente le murature a diretto contatto. La gravità del fenomeno è maggiore nel caso di precipitazioni nevose, quando l'apporto dell'acqua negli strati superficiali è più *lento* di quello causato dalla pioggia.



Una seconda causa può essere ricercata e ipotizzata, a maggiore scala, nella *particolare* conformazione altimetrica e topografica dell'area sulla quale l'edificio insiste avvenuta nel tempo.

Si può presumere che l'ex chiesa di San Nicolao e gli edifici oggi scomparsi appartenenti alla primaria *domus* umiliata, alla successiva abbazia commendataria e alla filanda del seificio Gavazzi potessero sorgere in prossimità di un torrente o di un corso d'acqua (oggi *tombinato* ma visibile a monte in posizione poco distante dall'edificio). L'ipotesi è basata sul presupposto che in origine un corso d'acqua potesse

svolgere, per il convento umiliato, la funzione di fonte d'acqua potabile e collettore per le acque reflue, un ruolo fondamentale per il sostentamento e la sopravvivenza non solo della comunità religiosa ma di intere città, ancor più pensando all'importanza dell'acqua per i lavori e le operazioni svolte, a partire dal XIX secolo, nella filanda. L'attuale stato di degrado potrebbe essere ricercato in eventuali interventi (forse artificialmente con il cambio di destinazione della chiesa avvenuto due secoli fa) avvenuti sul corso d'acqua che hanno modificato il naturale deflusso delle acque causando la formazione, nell'area sulla quale insiste l'edificio, di una *valle umida*; la presenza (e la permanenza?) di acqua avrebbe così generato i fenomeni di risalita capillare oggi evidenti.

La presenza del corso d'acqua (minore) non è ravvisabile nella prima cartografia storica disponibile dell'area, quella del catasto Teresiano della metà del XVIII secolo: l'ipotesi può essere suffragata analizzando la documentazione alla base della cartografia comunale.

Si può supporre che queste due cause possano agire in concomitanza con l'azione dilavante (e raffreddante) dell'acqua meteorica dovuta all'assenza di elementi di gronda nella copertura, meglio descritta nella terza tabella.

---

**Ulteriori metodi di indagine proposti**

Dai risultati finora raccolti nella campagna d'indagine su una parte della muratura esposta a nord (e presentati nel precedente capitolo) è facilmente deducibile la natura del fenomeno di risalita. Passo successivo sarà *definire* e riconoscere la fonte di provenienza dell'acqua, ossia se si tratti di acqua libera o proveniente dal sottosuolo.

Ulteriori metodi di indagine potranno riguardare:

- l'indagine e la misura del contenuto umido del terreno a diretto contatto con le murature rivolte a nord e ad est, sia nella sua distribuzione verticale, sia (verificando e attuando preliminarmente i dovuti accorgimenti ai fini statici) al piede della muratura;
- la ricerca d'archivio e storiografica di eventuali fonti dirette o indirette attestanti la presenza del corso d'acqua ipotizzato in prossimità dell'edificio;
- lo studio dell'estensione di eventuali fenomeni sui rivestimenti murari esterni delle pareti esposte, condotto prima e dopo giornate di pioggia.

<b>Causa ipotizzata</b>	Condensazione (superficiale e/o interstiziale)
<b>Dove si presenta</b>	<p>Il fenomeno è di più difficile riconoscibilità rispetto alla risalita capillare: il fenomeno interessa infatti tutte le pareti dell'edificio in maniera localizzata e puntuale (e non con estensione orizzontale continua come nel caso della risalita).</p> <p>Le aree più soggette appaiono quelle in prossimità degli spigoli delle murature — rilevate tramite le termografie come “punti freddi” (v. § 5.4.1.2) rispetto alla temperatura delle pareti — e considerabili quindi come probabili <i>ponti termici</i>. Altre zone <i>nevralgiche</i> sembrano quelle in prossimità dei contrafforti sul lato nord e dell'arco esterno sul lato sud.</p> <p>È da valutare la natura del fenomeno sugli elementi in pietra di Varenna all'imposta degli arconi fra gli ambienti, e quella sulle aree soggette a risalita capillare.</p>
<b>Come si presenta</b>	Con macchie di colore scuro di diverse dimensioni e localizzazione, presenti in prossimità del pavimento o ad altezze maggiori.
<b>Fenomeni di degrado (UniNormal)</b>	Nelle pareti interne: alterazioni cromatiche, attacco biologico (?), disgregazione (negli elementi in pietra).
<b>Perché si presenta</b>	<p>Dai grafici riportati nel precedente capitolo (v. § 5.4.2) si è ipotizzato che quasi la metà dei valori rilevati sulla muratura oggetto d'indagine nel periodo di monitoraggio non permetterebbe fenomeni di condensazione <i>superficiale</i> (mentre non è stato indagato il fenomeno su superfici con possibile temperatura inferiore, come quelle in pietra di Varenna). Il periodo di monitoraggio non ha interessato il periodo primaverile-estivo, quello dove più probabilmente può avvenire il fenomeno: si <i>demanda</i> alle prossime campagne d'indagine l'analisi e le considerazioni sull'intero anno.</p> <p>A differenza della prima, la condensazione <i>interstiziale</i> avviene «<i>direttamente all'interno della muratura in corrispondenza del cosiddetto “punto di rugiada”, in cui la temperatura del materiale è tale da provocare la saturazione dell'umidità e la riduzione dell'inerzia termica del muro</i>»<sup>32</sup>, fenomeno tipico del periodo invernale in cui la parete «<i>può trovarsi a dividere due ambienti a temperatura diversa, avendo così una delle facce più fredda dell'altra.</i>»<sup>33</sup></p> <p>Le aree in prossimità dei contrafforti esterni (non protetti dal dilavamento dell'acqua meteorica) e gli spigoli delle murature sono probabili <i>ponti termici</i>: «<i>Si tratta di zone nella parete esterna dove si verifica una disomogeneità nel comportamen-</i></p>

<sup>32</sup> D. FIORANI, *op. cit.*, p. 308.

<sup>33</sup> *Ibid.*

*to termico, dove quindi la trasmissione di calore avviene più facilmente che nel resto della parete, portando a una eterogeneità nella distribuzione della temperatura interna superficiale, su cui si forma condensa e, quindi, muffe e degrado degli elementi costruttivi»<sup>34</sup>.*

Si può ipotizzare che gli effetti del ponte termico possano essere generati dall'azione combinata delle diverse caratteristiche dei materiali con il duplice ruolo dell'acqua meteorica a diretto contatto con le superfici (maggiormente esposto nella successiva tabella), raffreddante e "apportante" per imbibizione sali all'interno della muratura. Si aggiungano infine i diversi e minori moti dell'aria in prossimità degli spigoli, generanti un minore ricambio dell'aria ambiente (e quindi maggiori probabilità di attacchi di natura biologica).

---

**Ulteriori metodi di indagine proposti**

Ulteriori indagini potrebbero essere utili per:

- analizzare la temperatura superficiale di punti specifici (quelli più colpiti dai fenomeni) e il loro andamento in un periodo di monitoraggio prolungato;
- analizzare la temperatura superficiale di punti ipotizzabili aventi temperature minori della temperatura di rugiada (come gli elementi in pietra o i serramenti). Queste due analisi potrebbero essere condotte in particolari periodi dell'anno, quelli dove più probabile è la ripetizione del fenomeno;
- analizzare gli effetti sui rivestimenti murari superficiali (e possibilmente il contenuto umido interno) delle zone soggette a dilavamento localizzato dopo giornate di pioggia.

---

<sup>34</sup> S. CAPOLONGO, L. DAGLIO, I. OBERTI, *Edificio, Salute, Ambiente. Tecnologie sostenibili per l'igiene edilizia e ambientale*, Hoepli, Milano 2007, p. 106.

<b>Causa ipotizzata</b>	<i>Dilavamento</i> e ruscellamento delle acque meteoriche
<b>Dove si presenta</b>	<p>Il dilavamento delle acque meteoriche può essere analizzato in due specifici casi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- le pareti rivolte a nord, ad est e ad ovest, direttamente esposte all'acqua meteorica <i>battente</i> perché prive di adeguati sistemi di gronda e di protezione e soggette (con esclusione della parete ovest) a ridotta evaporazione da soleggiamento diretto;</li> <li>- le aree in prossimità di murature <i>esterne</i> all'edificio non protette dal ruscellamento a diretto contatto con la muratura perimetrale, presenti sui lati nord, sud ed ovest. La particolare conformazione e l'altezza degli edifici confinanti riduce notevolmente, nelle stagioni più fredde, il soleggiamento delle superfici murarie, riducendo (come nel primo caso) l'evaporazione naturale.</li> </ul>
<b>Come si presenta</b>	I fenomeni dovuti a questa causa sono paragonabili a quelli già descritti nelle precedenti tabelle.
<b>Fenomeni di degrado (UniNormal)</b>	I fenomeni dovuti a questa causa sono quelli già descritti nelle precedenti tabelle.
<b>Perché si presenta</b>	<p>Le aree di contatto fra i contrafforti esterni — corrispondenti alle murature interne di divisione fra gli ambienti — e le murature perimetrali dell'edificio non sono protette dal dilavamento e dal ruscellamento dell'acqua meteorica, che può <i>scorrere</i> direttamente sulle superfici murarie causando i fenomeni di degrado diretta conseguenza del contatto diretto dell'acqua con i materiali lapidei.</p> <p>Nel precedente paragrafo 1.6 è già stata descritta e analizzata la cosiddetta acqua da pioggia e i suoi effetti di raffreddamento sulle murature <i>colpite</i>: «<i>Il decremento calcolato della temperatura dell'aria sul lato dell'edificio battuto dalla pioggia sarebbe compreso in Italia fra 0,4 e 3,7°C per il periodo primaverile-estivo. [In presenza di un intonaco cementizio, NdA] assolutamente duraturo ed impermeabile, bisogna tenere presente che un raffreddamento, sia pur ridotto, avverrebbe egualmente, come avviene su di una superficie metallica quando un velo di acqua piovana alternativamente la bagna ed evapora: l'entità del raffreddamento dipende dal ritmo più o meno rapido di successione pioggia-vento e dall'umidità relativa di questo</i>»<sup>35</sup>.</p> <p>Quest'ultima descrizione comporta una necessaria distinzione fra la parete sud e le altre pareti: queste sono infatti totalmente rivestite da un intonaco cementizio che cela la tessitura mura-</p>

<sup>35</sup> G. e I. MASSARI, *op. cit.*, pp. 224–226.

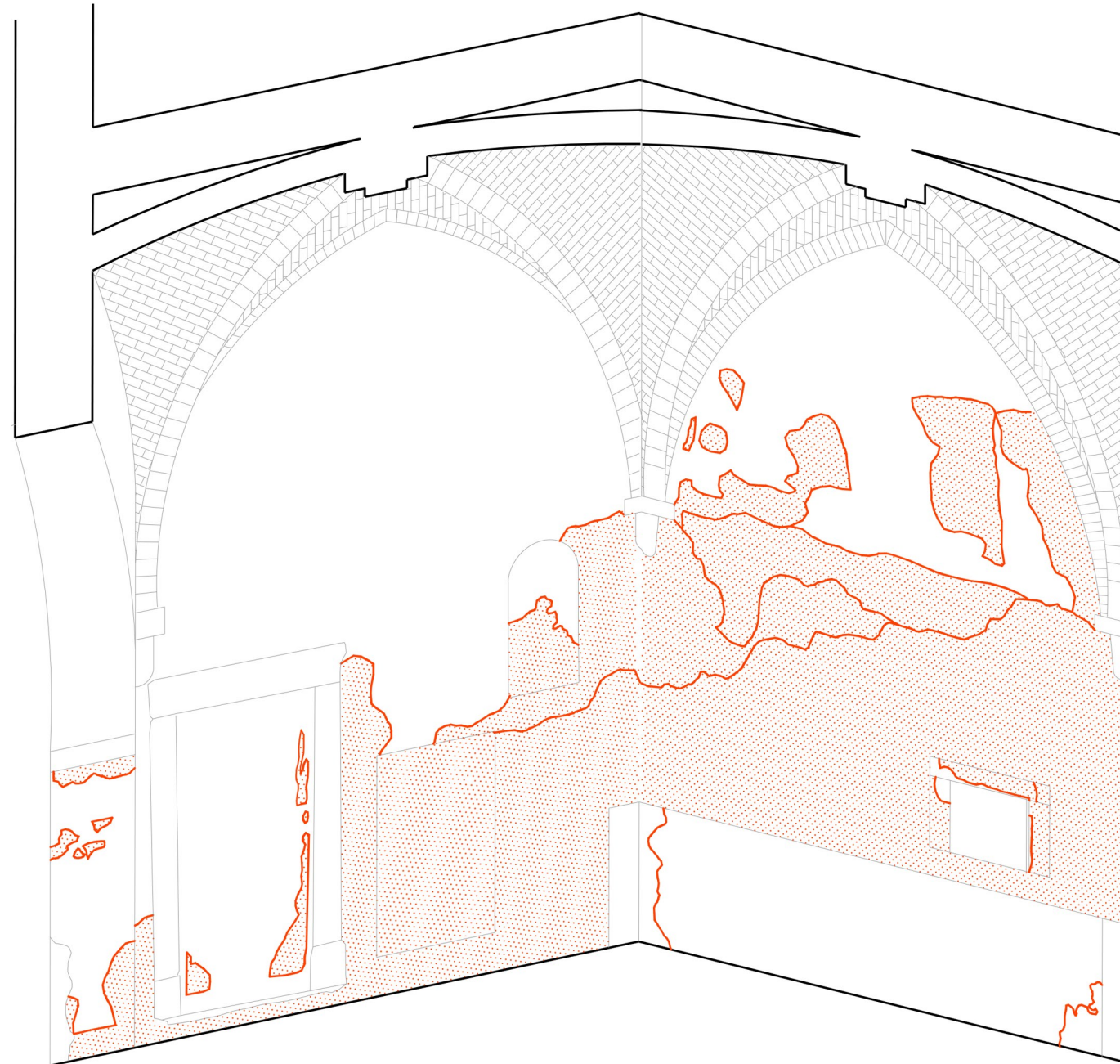
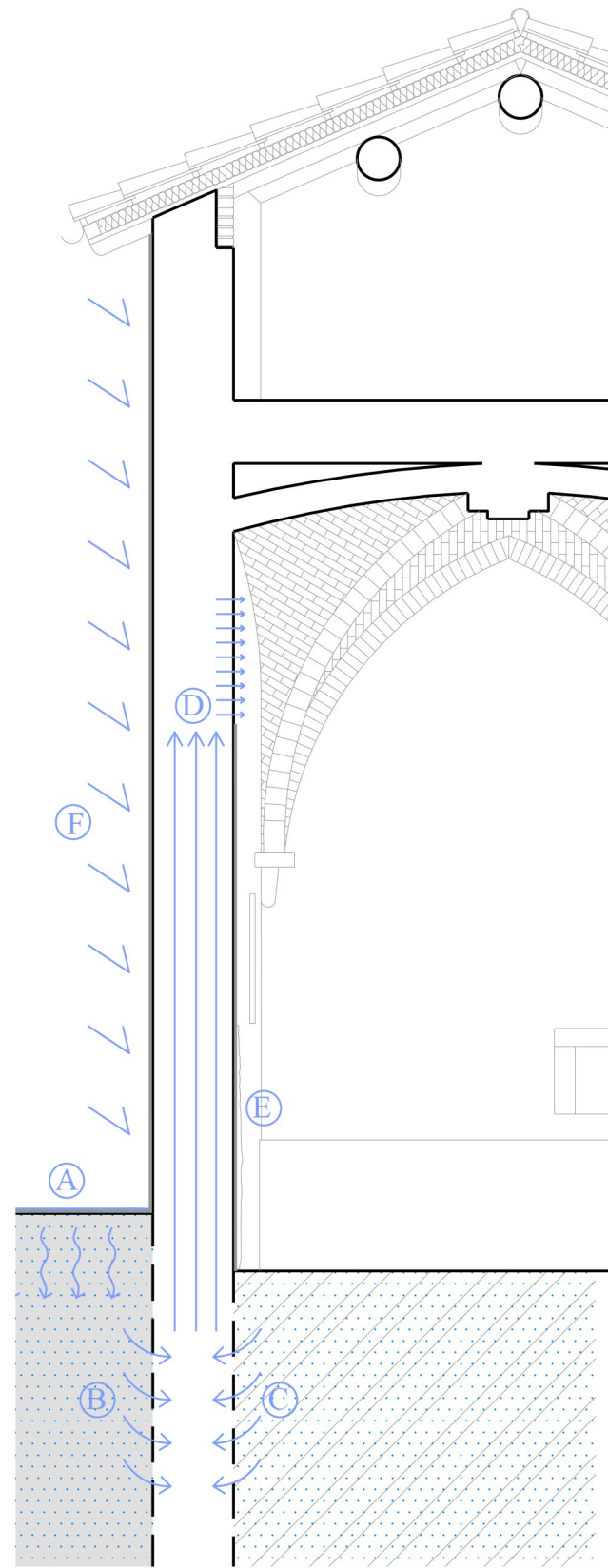
	rie sottostante, finitura assente nella parete sud nella quale la tessitura è visibile (e rappresentabile).
<b>Ulteriori metodi di indagine proposti</b>	I metodi di indagine sono quelli già esposti nelle altre tabelle.

A conclusione di questo paragrafo si vogliono riportare due grafici nei quali si sono riassunte le considerazioni sopra riportate per due punti specifici dell'edificio: la parete nord, parzialmente oggetto di indagine, e la parete sud in corrispondenza dell'*arcone* esterno. I due punti sono stati scelti per la gravità dei fenomeni in atto e per le loro caratteristiche, adattabili a diversi altri punti dell'edificio.

A - L'inefficace deflusso delle acque meteoriche sul terrazzo esterno scoperto causa la permanenza dell'acqua e la successiva imbibizione del terreno sottostante  
B - L'acqua contenuta nel terreno a contatto con la muratura è trasferita agli strati di fondazione della muratura

C - L'acqua proveniente dal sottosuolo (forse da un corso d'acqua minore sotterraneo) si trasferisce alle murature a cui è a diretto contatto  
D - L'acqua proveniente dal sottosuolo risale per capillarità fino a fuoriuscire da "aree traspiranti": l'evaporazione interna ed esterna è inibita dal rivestimento cementizio

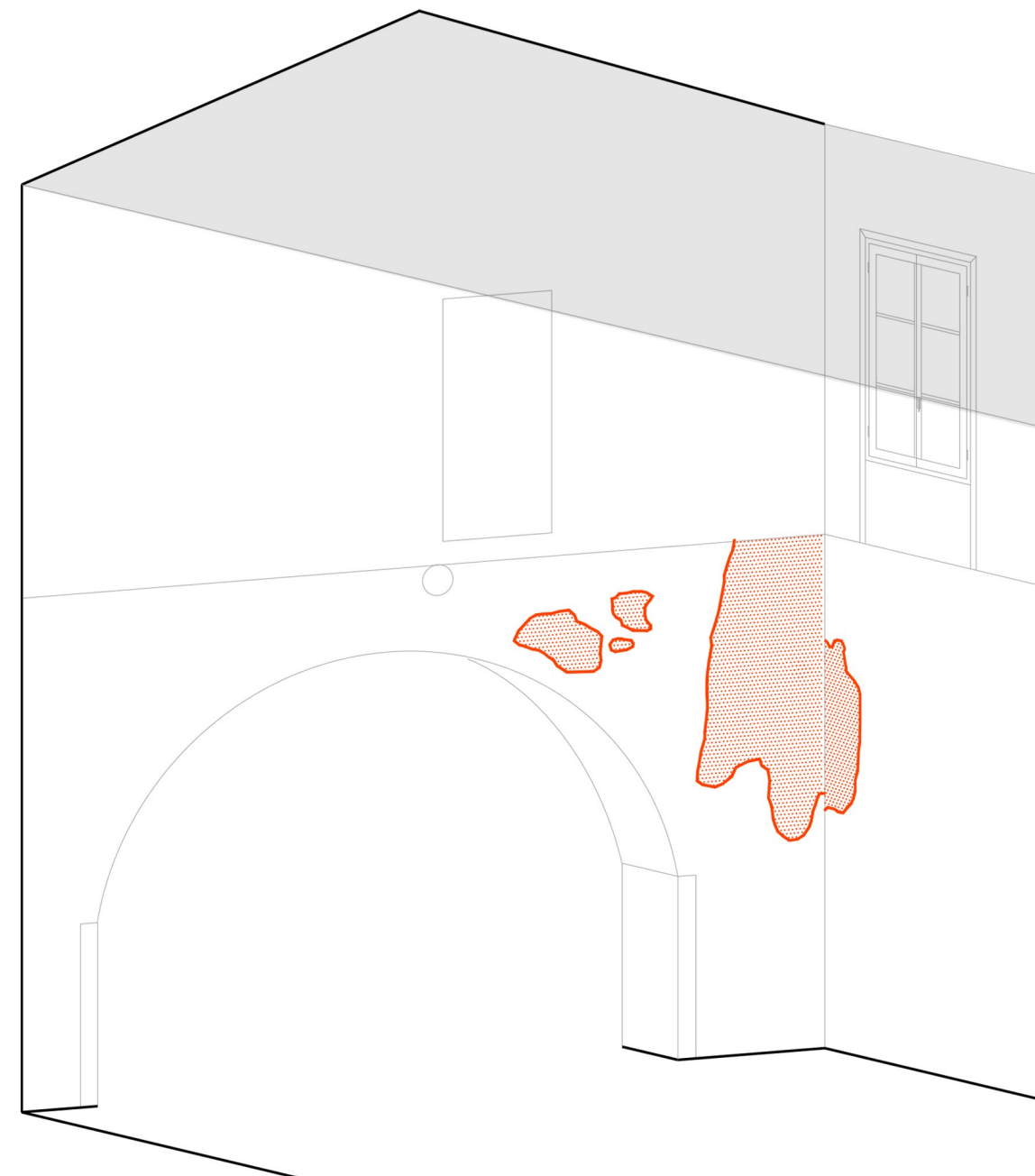
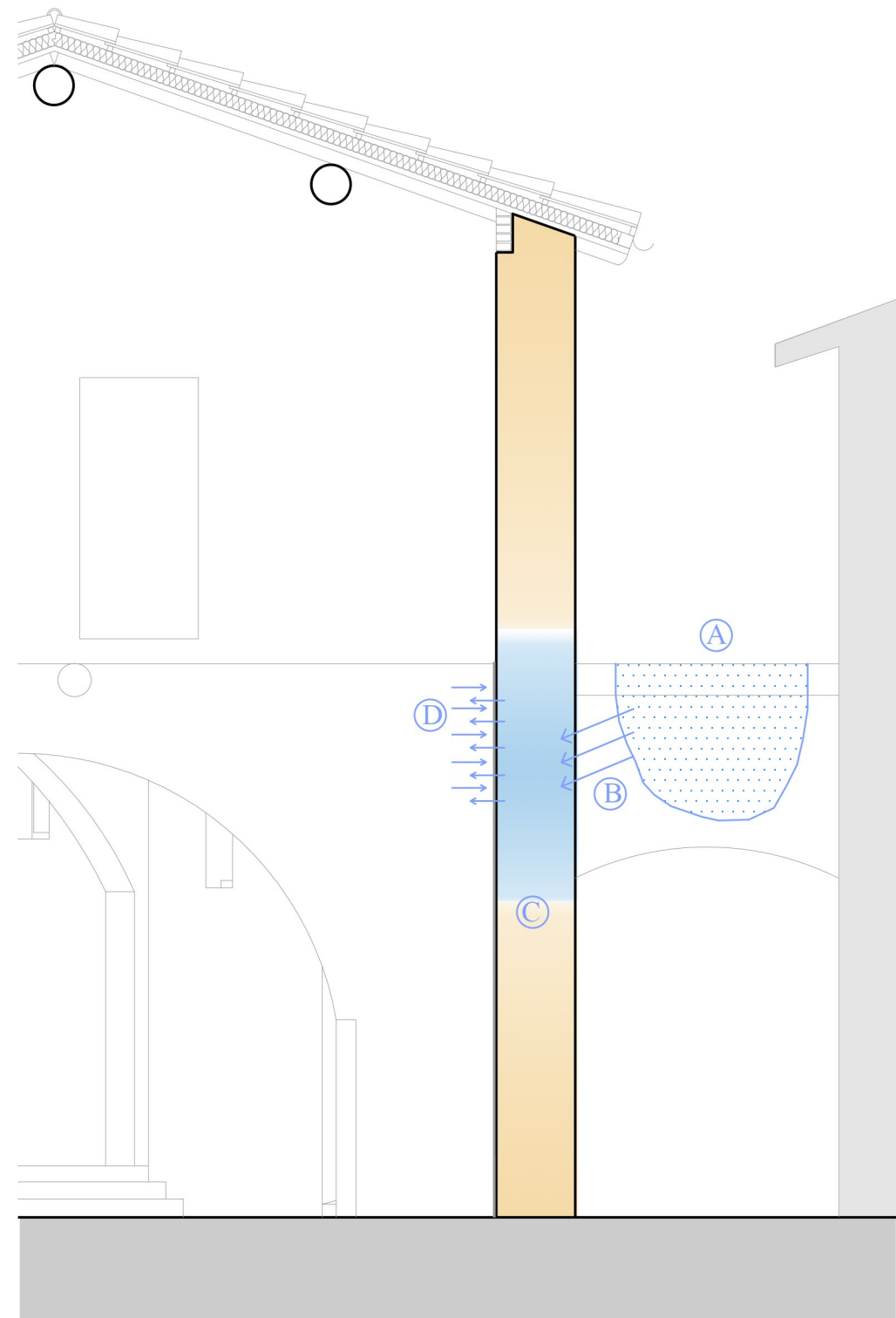
E - Il rivestimento ormai imbibito rilascia per evaporazione l'acqua e i sali in essa contenuti  
F - L'acqua da "pioggia a vento" colpisce e penetra nelle murature causandone il raffreddamento e trasferendone all'interno i sali contenuti





- A - L'acqua meteorica "colpisce" le aree dell'arcone esterno non protette dalle gronde degli edifici vicini
- B - L'acqua meteorica penetra nella muratura arrivando a contatto con le strutture perimetrali dell'edificio (non rivestite da finiture superficiali)

- C - La muratura perimetrale subisce un raffreddamento localizzato dovuto all'azione dell'acqua da pioggia: nell'area soggetta al fenomeno sono riconoscibili gli effetti e le caratteristiche tipiche di un *ponte termico*
- D - Sulla superficie interna, rivestita con intonaco cementizio ma ormai imbibita dall'esterno, inizia l'evaporazione dell'acqua (con la cristallizzazione dei sali) e si genera condensazione superficiale



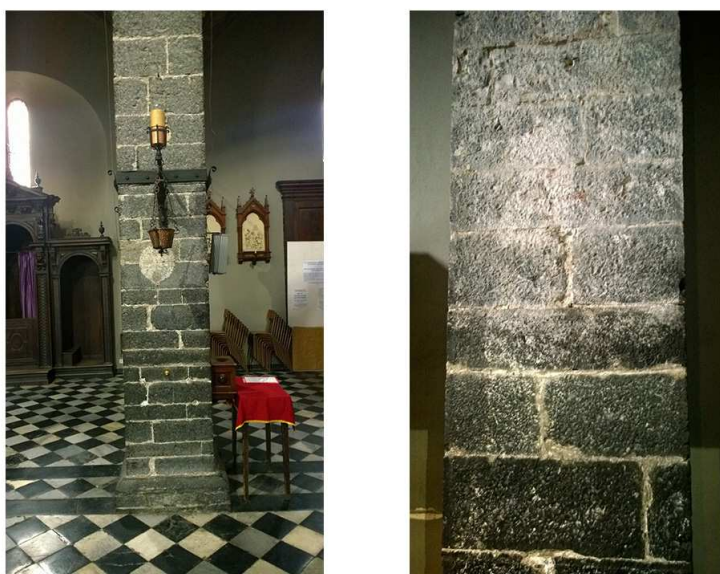
### 6.3.3 *Le cause di degrado in altri edifici storici di Bellano*

Alcuni particolari fenomeni di degrado presenti nell'ex chiesa di San Nicolao possono essere riconosciute in altri edifici storici di Bellano.

Oggi manufatto architettonico ha proprie caratteristiche e *contesti*, e pertanto diverse sono le cause di degrado e come queste si manifestano: questa metodologia di ricerca non ha ovviamente come obiettivo specifico quello di analizzare l'oggetto della ricerca basandosi su segni comparabili riscontrati in altri edifici simili, ma piuttosto quella di cercare di individuare fenomeni che colpiscono specifici materiali e determinati elementi architettonici che per caratteristiche possono essere analoghi a quelli oggetto di studio.

Si vuole innanzitutto descrivere lo stato di manutenzione di due edifici religiosi — la chiesa dei Santi Giorgio, Nazaro e Celso e la chiesa di Santa Marta — “rilevato” il 25 febbraio 2016.

Nel primo caso due sono gli elementi sui quali si vuole porre attenzione, “l'attacco a terra” e le imposte interne degli archi di divisione fra le navate in pietra di Varenna. Ne “l'attacco a terra” si sono rilevati, lungo l'intera fascia di muratura immediatamente soprastante il basamento, fori di pochi centimetri di diametro e caratterizzati da elementi di plastica, segni presumibilmente riconducibili alla realizzazione all'interno delle murature di un sistema di taglio chimico per l'interruzione della risalita capillare. Fra la navata centrale e quelle laterali, gli elementi in pietra di Varenna di imposta degli archi sono invece soggetti a dei fenomeni analoghi a quelli rilevati a San Nicolao, con polverizzazioni e lacune localizzate nella parte alta degli elementi, forse legati a fenomeni di condensazione superficiale.



**Figura 39.** Chiesa dei SS. Giorgio, Nazaro e Celso. Particolare di una delle imposte in pietra di Varenna degli archi interni (foto dell'Autore).



**Figura 40.** Chiesa dei SS. Giorgio, Nazaro e Celso, Bellano. Particolare del sistema di “taglio chimico” (foto dell’Autore).

Stesso sistema di interruzione della risalita capillare è stato rilevato anche nella vicina chiesa di Santa Marta, caratterizzata da una tessitura muraria più irregolare.



**Figura 41.** Chiesa di Santa Marta, Bellano. Particolare del sistema di “taglio chimico” (foto dell’Autore).

## 6.4 Il progetto di conservazione proposto

### 6.4.1 La filosofia di intervento

Le fasi di intervento previste sono caratterizzate dal diverso grado di *incidenza* sulle strutture dell'edificio: crediamo infatti che il principio fondamentale dell'*eliminazione delle cause di degrado senza intaccare il patrimonio storico* possa essere perseguito tramite *step* di intervento.

Ciascuna fase può essere vista come diretta conseguenza della *gravità* delle cause ipotizzate: ad esempio, le murature perimetrali di controterra a diretto (e non protetto) contatto con terreni umidi o coperture non efficienti sono elementi sui quali si può intervenire già nelle prime fasi di intervento, mentre interventi diretti più *incisivi* (come il "taglio" delle murature contro la risalita capillare, o le integrazioni pittoriche dell'apparato decorativo ad affresco) senza un'adeguata definizione delle cause di degrado siano interventi provvisori, impattanti e dai costi elevati, in grado cioè di assolvere ad una funzione estetica ma che non annullano né tantomeno inibiscono le cause scatenanti.

Prima delle tipologie di intervento da attuare — tenute in considerazione sia l'unicità dell'edificio oggetto di intervento sia la possibilità che nel tempo l'efficacia del trattamenti decada e si rendano necessari nuovi interventi — si possono descrivere sinteticamente definiti i *principi* con i quali orientare il piano di progetto:

- ° la *compatibilità* degli interventi, ossia la scelta di materiali che per composizione e natura non potrebbero creare problemi di *rigetto ex post* (fessurazioni, distacchi) tra i materiali d'integrazione e il supporto esistente, è stata un tema fondamentale per l'integrazione delle lacune più profonde delle finiture;

- ° l'*autenticità* e la *distinguibilità* sono stati principi necessari per le integrazioni cromatiche delle pareti (soprattutto lungo i bordi degli affreschi esistenti) e nel trattamento di alcuni elementi di integrazione (come le copertine in pietra esterne);

- ° si è ricercata la *reversibilità* degli interventi, unita alla durata e al minimo intervento, per i materiali e le tecniche adottate nelle integrazioni cromatiche dell'apparato decorativo ad affresco.

L'analisi del rilievo fotografico compiuto negli anni '80 ha permesso di definire la situazione *pregressa*, soprattutto per quanto riguarda il rivestimento cementizio. Si sono adottati interventi più mirati e più *decisi* in casi (come il rifacimento della battuta fra serramento e muratura delle finestre, lo smontaggio dei serramenti o gli interventi sul terrazzo scoperto esterno) che senza interventi avrebbero potuto causare il protrarsi in futuro di fenomeni di degrado.

#### 6.4.1.1 La questione degli intonaci

Emerge chiaramente che uno dei principali fenomeni da trattare è quello delle lacune e delle mancanze degli intonaci.

Oltre alla filosofia di intervento già trattata, di particolar conto è la scelta dei materiali da utilizzare:

*«La compatibilità tra i vari tipi di intonaco e i supporti si misura nel confronto tra le relative proprietà fisiche, chimiche e meccaniche, in particolare controllando il coefficiente di dilatazione termica ed il grado di porosità. Questi due valori sono in funzione della resistenza meccanica dell'intonaco e del suo modulo elastico. [...] Qualsiasi variazione dimensionale di uno strato rispetto all'altro (p. es. indotta durante la maturazione dell'intonaco, oppure per ritiro o dilatazione per variazione termica), in presenza di moduli elastici e resistenze meccaniche sensibilmente differenti, può provocare indesiderati effetti negativi con stati fessurativi e distacchi».*<sup>36</sup>

Nel piano di progetto si è quindi deciso di adottare, in sostituzione degli intonaci cementizi o a base di calce idrauliche caratterizzati da elevata resistenza meccanica, fragilità e bassa porosità — che non facilitano «l'evaporazione dell'umidità fisiologica provocando l'insorgere di fessurazioni, conseguenti infiltrazioni d'acqua, efflorescenze saline e distacchi»<sup>37</sup> — intonaci a base di calce aerea, più porosi ed elastici e dotati di coefficienti di dilatazione termica più simili a quelli delle murature tradizionali.

Seconda questione è quella della compatibilità tra i diversi strati delle nuove finiture e tra il supporto e finitura. Particolare attenzione è stata posta, nelle indagini preliminari, nelle verifiche di compatibilità, le quali «anche attraverso specifiche indagini mineralogico-petrografiche, dovranno condurre alla formulazione di malte di integrazione che abbiano caratteristiche tecnologiche (tipo di legante, tipo e granulometria dell'aggregato, rapporto aggregato/legante) il più possibile simile agli intonaci esistenti»<sup>38</sup>, e nelle operazioni di preparazione dei supporti.

#### 6.4.1.2 Le lacune

La lacuna è definita nelle Raccomandazioni Normal come «caduta o perdita di parti di un dipinto murale, con messa in luce degli strati di intonaco più interni o del supporto.» Sulle murature degli ambienti sono presenti lacune di estesa entità, soprattutto nella parte superiore più vicina alle coperture.

La scelta dei materiali da utilizzare è già stata indicata nel precedente paragrafo. Si integreranno innanzitutto le lacune più profonde, quelle già soggette a fe-

---

<sup>36</sup> P. GASPAROLI, *Le superfici esterne degli edifici. Degradi, criteri di progetto, tecniche di manutenzione*, Alinea, Firenze 2002, pp. 267-268.

<sup>37</sup> *Ibid.*

<sup>38</sup> *Ibid.*

nomeni evidenti di distacco e che senza interventi mirati e specifici rischierebbero di aggravare l'adesione degli strati d'intonaco ai supporti.

#### 6.4.1.3 I distacchi

Il rivestimento delle murature è intonaco a base cementizia, realizzato nei recenti interventi sull'edificio. I *quesiti* posti sono stati i seguenti: *la rimozione degli strati in avanzato stato di distacco potrebbe creare lacune negli strati sottostanti? Nel rifacimento dell'attacco serramento/davanzale potrebbe comunque essere necessario rimuovere gli strati soprastanti?*

Dati lo spessore, la qualità e le condizioni di conservazione, ed escluse altre tipologie di intervento ipotizzabili come poco efficaci, il trattamento dei distacchi dei soli rivestimenti cementizi sarà quindi il discialbo manuale, con particolare attenzione a non rimuovere eventuali strati sottostanti più coesi al supporto.

#### 6.4.1.4 I serramenti

Elemento importante per la risoluzione dei fenomeni di degrado è la *battuta* fra i serramenti e le murature.

L'entrata dell'acqua piovana, non avendo potuto rivelare *distinzioni* cromatiche sui telai fissi dovute al dilavamento, può presumibilmente avvenire tra i davanzali e i serramenti. Il seppur *invasivo* smontaggio completo dei serramenti (e la loro eventuale sostituzione), necessario per il consolidamento delle eventuali fessurazioni createsi tra montanti e traverse, potrebbe rivelarsi risolutivo per la sistemazione delle murature e per il miglioramento e l'adeguamento della tenuta all'acqua piovana tra battenti e telai fissi.

Dall'analisi delle cause e dei fenomeni di degrado si possono qui richiamare brevemente cause e scopi. Ovviamente si tratta di un primo piano di progetto: dovrà infatti essere soggetto alle modifiche, alle sostituzioni o alle integrazioni di nuove "voci" in caso di diverse condizioni rilevate in cantiere.

Primo scopo degli interventi di conservazione e di restauro è l'eliminazione della causa di degrado, in maniera tale da non permettere la riproposizione dei fenomeni.

Per la redazione dell'elenco riportato si sono utilizzati, come riferimenti per la redazione delle voci:

- ° *Prezzario Restauro dei beni artistici*, DEI. Tipografia del Genio Civile, Roma 2010;
- ° *Listino dei prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzione*, Comune di Milano. Area Territorio, Direzione centrale OO.PP. e centrale unica appalti, Direzione centrale tecnica, 2012.

### 6.4.2 Prima fase

Al primo *step* appartengono le opere preliminari che crediamo debbano (e possano) essere previste per tutti gli interventi di conservazione con costi relativamente contenuti. Sono necessarie al controllo e alla verifica delle cause di degrado *facilmente* riconoscibili, realizzabili con strumenti “semplici” fin dall’inizio del piano di intervento.

#### **Interni**

<b>I1.1</b>	Sopralluogo per l’analisi degli elementi di copertura
-------------	---

Dal rilievo visivo effettuato dalla quota di pavimento e dai rilievi termografici realizzati il 02 ottobre 2015 si sono riscontrati segni dell’entrata localizzata dell’acqua piovana dalla copertura nello *spigolo* nord–ovest.

La verifica deve riguardare:

- la tenuta all’acqua del pacchetto di copertura, in particolar modo in corrispondenza dei muri di divisione fra gli ambienti, rilevando eventuali mancanze di elementi nello spessore della copertura e ricercando gli effetti di presumibili entrate di acqua piovana.
- su tutto il perimetro, lo stato di manutenzione degli elementi di deflusso e smaltimento delle acque meteoriche (pluviali, canali di gronda, pozzetti di ispezione), rilevandone il grado di funzionamento.

<b>I1.2</b>	Verifica della tenuta all’acqua e dello spessore delle vetrate nei serramenti perimetrali per l’accertamento della presenza di “doppi vetri”
-------------	--

Durante le operazioni di rilievo non è stato possibile rilevare lo spessore delle vetrate dei serramenti perimetrali: per spessore del telaio ligneo e tipologia di serramento, si può presumere che i serramenti abbiano pannelli vetrati a *vetro singolo*.

Per la migliore definizione dei successivi interventi sull’*efficienza energetica* dell’edificio, la verifica deve consistere nel rilievo dello spessore dei pannelli vetrati di tutti i serramenti.

<b>I1.3</b>	Prelievo di campioni negli strati di finitura interna delle murature per la definizione degli strati e analisi stratigrafica in laboratorio al microscopico ottico e stereoscopico (ai sensi delle Raccomandazioni NorMal 3/80)
-------------	---

#### Obiettivi

Esecuzione di indagini stratigrafiche necessarie a consentire la definizione del-

le sequenze degli strati e la configurazione delle vesti cromatiche assunte dall'edificio nel tempo. Si vuole verificare, sulla base della documentazione fotografica degli ultimi interventi di conservazione, l'eventuale presenza, al di sotto dell'intonaco cementizio più recente, di strati decorativi *pregevoli*.

Protocollo operativo (Raccomandazioni UNI NorMal 3/80)

Mediante l'utilizzo di un bisturi, si eseguiranno dei sondaggi campione, per stabilire le aree tendenzialmente più ricche di informazioni e per definire, in linea di massima, il numero degli strati presenti.

Si dovrà predisporre un perimetro di riferimento di 7 cm circa di altezza e di lunghezza proporzionale al numero degli strati presunti. I prelievi saranno effettuati in superficie e in profondità: nel primo caso si farà uso di spugne *wi-shab*, pennelli a setola morbida, bisturi e microscalpelli, rispettivamente per materiale polverulento, incoerente e coerente; nel secondo caso si ricorrerà a una carotatrice a rotazione con punta a ghiera metallica a secco. I campioni in profondità dovranno essere prelevati nella stessa posizione in cui sono stati prelevati i campioni superficiali, o in posizioni molto prossime.

I campionamenti dovranno essere eseguiti:

- incidendo a partire da sinistra il lato destro del primo riquadro di 7x7 cm, conservato per documentare lo stato di fatto;
- il secondo riquadro sarà trattato con pulitura a secco con gomme *wi-shab*;
- si proseguirà la stratigrafia definendo un terzo riquadro, provvedendo all'asportazione del primo strato fino alla messa in luce dello strato sottostante;
- si proseguirà infine fino alla messa in luce di tutti gli strati sottostanti il primo, sia per quanto riguarda la decorazione sia per quanto riguarda gli strati di intonaco, provvedendo alla numerazione dallo strato più "profondo" degli strati identificabili.

La documentazione fotografica dovrà riguardare la zona interessata prima e dopo le operazioni di prelievo, da una distanza sufficientemente ravvicinata e con la minima distorsione prospettica possibile. Si procederà eseguendo un minimo di tre scatti: il primo per inquadrare complessivamente l'area oggetto di analisi, il secondo per inquadrare un intorno significativo dell'area di studio; il terzo per evidenziare le caratteristiche superficiali del manufatto.

I campioni prelevati dovranno essere riposti in contenitori di materiale inerte, a chiusura ermetica, preventivamente pesati e contrassegnati con la stessa sigla corrispondente al prelievo. Sui campioni dovrà essere effettuata, nel più breve tempo possibile, una pesatura per valutare il contenuto di acqua *libera* presente nel campione al momento del prelievo.

A conclusione dell'indagine sarà redatta una relazione illustrativa nella quale si annoteranno per ogni tassello stratigrafico la successione delle cromie e dei livelli, le probabili relazioni tra le diverse unità stratigrafiche, le possibili relazioni temporali *istituibili* con le strutture murarie e i relativi avvicendamenti subiti dal manufatto nel tempo, e le probabili relazioni tra i risultati dell'indagine e le informazioni storiche desumibili dalla ricerca di archivio.



Elenco della strumentazione

spugne *wishab*; bisturi; pennelli a setola morbida; micro-scalpelli; carotatrice a rotazione con punta a ghiera metallica; macchina fotografica.

<b>II.4</b>	Prelievo di campioni delle efflorescenze saline per l'analisi della composizione chimica tramite cromatografia ionica (ai sensi delle Raccomandazioni NorMal 3/80)
-------------	--

Prelievo di campioni delle efflorescenze saline per determinarne la composizione chimica.

Protocollo operativo (Raccomandazioni UNI NorMal 3/80)

I prelievi saranno effettuati in superficie, facendo uso di pennelli a setola morbida o di bisturi. Ogni prelievo sarà delimitato e numerato con numeri crescenti.

Dovrà essere redatta un'adeguata documentazione fotografica, sia della zona interessata prima e dopo le operazioni di prelievo, sia in dettaglio e "in generale", da una distanza sufficientemente ravvicinata e con la minima distorsione prospettica possibile.

I campioni prelevati dovranno essere riposti in contenitori di materiale inerte, a chiusura ermetica, preventivamente pesati e contrassegnati con la stessa sigla corrispondente al prelievo.

Esecuzione di cromatografia ionica (ai sensi della norma UNI 11087): limitando la ricerca a una serie di anioni e cationi significativi per l'individuazione di specie dannose, nonché a una conduttimetria sulle stesse polveri disperse in acqua demineralizzata.

Elenco della strumentazione

Bisturi; pennelli a setola morbida; macchina fotografica.

<b>II.5</b>	Verifica delle condizioni di "movimentazione" di tutti i serramenti perimetrali
-------------	---

Una semplice indagine da effettuare senza l'utilizzo di strumentazione specifica è quella della verifica delle condizioni di movimentazione dei serramenti. Dovranno essere verificate e annotate: la *facilità* di chiusura e di apertura delle ante mobili; eventuali problemi alle stesse, ricercandone e annotandone le cause; lo stato di conservazione degli elementi di movimentazione (come cardini metallici), annotando l'eventuale mancanza di elementi di chiusura e serratura; il generale stato di conservazione delle ante mobili.

Dovranno essere inoltre individuate le zone eventualmente attaccate dagli insetti o funghi: se necessario si dovrà ricorrere all'uso di una lente d'ingrandimento per osservare gli eventuali fori di sfarfallamento e il rosime

riscontrati (elementi in grado di rilevare la specie d'insetto e se l'attacco è ancora attivo). Attraverso un igrometro elettrico da legno dovrà essere misurato il contenuto d'umidità in modo da determinare se sia in atto un attacco fungicida.

<b>I1.6</b>	Analisi al microscopio ottico e stereoscopico della composizione chimica delle efflorescenze saline prelevate
<b>I1.7</b>	Analisi al microscopio ottico e stereoscopico della composizione chimica e stratigrafica dei campionamenti degli strati di finitura

I prelievi di cui alle voci I1.3 e I1.4 saranno analizzati in laboratorio per la caratterizzazione mineralogica–petrografica dei materiali lapidei e per l'identificazione dei prodotti di alterazione. Ove possibile, dovranno essere determinati i principali parametri fisici, quali il peso specifico, il peso apparente, la porosità, la distribuzione del diametro dei pori e la velocità di assorbimento dell'acqua.

Le metodologie di analisi potranno essere:

- l'analisi al microscopio stereoscopico, in superficie e in sezione trasversale, dei vari strati d'intonaco con il fine di identificare la quantità dell'inerte, del legante e dei componenti accessori (pigmenti ed additivi) che compongono l'impasto;
- l'analisi granulometrica eseguita con setacciatura del campione disgregato con idoneo numero di vagli posti su vibratore meccanico;
- l'analisi mineralogica eseguita per diffrazione ai raggi X su frammenti di intonaco macinati;
- l'analisi mineralogica–petrografica su sezioni sottili al microscopio polarizzatore;
- l'analisi al microscopio ottico al fine di identificare leganti e pigmenti nei vari strati di intonaco;
- l'analisi della porosità totale e della distribuzione del volume dei pori eseguita tramite porosimetro a mercurio completo di unità per macropori.

A conclusione dell'indagine dovrà essere redatta una relazione illustrativa nella quale si annoteranno per ogni campione prelevato la successione delle cromie e dei livelli, le probabili relazioni tra le diverse unità stratigrafiche, le possibili relazioni temporali *istituibili* con le strutture murarie e i relativi avvicendamenti subiti dal manufatto nel tempo; le probabili relazioni tra i risultati dell'indagine e le informazioni storiche desumibili della ricerca d'archivio.

<b>I1.8</b>	Documentazione fotografica
-------------	----------------------------

La documentazione dovrà costituire un mezzo efficace di monitoraggio dell'andamento del cantiere, anche nei suoi aspetti operativi più minuti. L'obiettivo dovrà essere la costituzione di uno strumento di analisi continua, per conservare una serie di dati utilizzabili, durante e dopo i lavori. Si potranno così confrontare i risultati ottenuti con metodiche dissimili su uno stesso ogget-

to o con procedimenti eguali su manufatti diversi, e osservare il comportamento delle superfici e dei materiali trattati. Funzione fondamentale sarà la raccolta delle informazioni durante le opere di rimozione e di smontaggio: in tali circostanze infatti si potranno documentare gli strati più profondi e *nascosti*.

Salvo imprevisti, si dovranno evitare improvvisazioni affidando il progetto di documentazione ad un piano d'intervento comprendente l'elenco degli eventi da registrare (generalmente e di dettaglio), l'approntamento dell'apparecchiatura necessaria (con l'eventuale predisposizione di telecamere digitali per prese continue di scene in movimento), la redazione di schede per le necessarie annotazioni e la catalogazione e classificazione dei documenti fotografici.

Le prese andranno eseguite: su uno stesso oggetto, prima, durante e dopo le lavorazioni, con medesima inquadratura, stessa distanza di scatto, identica fotocamera e obiettivo; in ogni inquadratura dovrà essere compreso un segnale di riferimento alle dimensioni dell'oggetto fotografato; punti di vista e rettangoli di copertura andranno annotati graficamente con la massima cura, riportando in nota eventuali osservazioni e commenti.

---

**I1.9** | Resoconti, annotazioni e diario dei lavori

---

L'esecuzione dei restauri, per quanto estesi e dettagliati negli elaborati di progetto, non saranno generalmente in grado di prevedere tutte le vicende tecniche ed esecutive che si concretizzeranno nel cantiere. Le procedure di intervento, definite in via preventiva, potrebbero infatti rilevare all'atto esecutivo aspetti inattesi oppure effetti collaterali insospettati che potrebbero suggerire variazioni più o meno rilevanti del programma di lavoro. Soluzione è quella di documentare adeguatamente la vita e le vicende del cantiere e soprattutto registrare quotidianamente l'andamento dei lavori, tramite annotazioni verbali, schizzi e altre forme di documentazione.

È opportuno che il diario dei lavori sia un documento autonomo rispetto agli altri facenti parte della gestione amministrativa e contabile del cantiere. Il diario dovrà essere composto da un fascicolo di schede per le annotazioni e gli schizzi, e dovrà essere compilato quotidianamente dal Direttore dei Lavori.

Alcuni possibili argomenti da trattare saranno: le rimozioni e le demolizioni di parti murarie, infissi, componenti impiantistiche, di strati pavimentali o di rivestimento; le prove eseguite sulle aree scelte come campioni, in materia di pulitura, consolidamento, protezione, integrazione, sia quelli condotti *in situ* sia quelli effettuati in laboratorio; le varianti in corso d'opera; i materiali impiegati negli interventi, le macchine e gli strumenti utilizzati; le condizioni climatiche rilevate al momento degli interventi (temperatura, umidità, illuminazione); gli imprevisti operativi; le visite in cantiere di specialisti, consulenti o esperti consultati; le valutazioni espresse, anche in contraddittorio, dal Direttore dei Lavori, l'Impresa e gli operatori del cantiere.

<b>Esterni</b>	
<b>E1.1</b>	Prelievo di campioni del terreno a contatto con le murature per la loro analisi in laboratorio

I campioni degli strati di terreno costituenti il terrazzo scoperto posto sul lato nord dovranno essere prelevati mediante carotaggi. Le *carote* dovranno avere diametro compreso fra 100 e 200 mm, prelevate direttamente in sito *a mezzo opportuna* carotatrice.

In laboratorio dovranno essere analizzate per determinarne: il contenuto umido, il peso specifico, la struttura granulometrica mediante vagliatura, il contenuto di grumi, argilla e particelle friabili, e la permeabilità.

<b>E1.2</b>	Verifica del deflusso delle acque meteoriche delle coperture e degli elementi (pozzetti, griglie) a terra
-------------	---

Le verifiche (periodiche) devono anzitutto riguardare: la continuità e la stabilità delle reti e dei loro elementi; l'integrità e lo stato di conservazione degli elementi che compongono le reti; la stabilità, la corretta posizione, la pulizia e l'efficienza degli elementi a terra per la raccolta e il deflusso delle acque meteoriche.

Le verifiche possono essere compiute con una *semplice* analisi visiva, utilizzando comuni strumenti di controllo o eseguendo prove empiriche per controllare la tenuta delle reti. Ogni ispezione tesa ad accertare la presenza di danni o di fenomeni di degrado, e di dissesto allo stadio iniziale, nonché ogni intervento manutentivo, deve essere eseguito in condizioni di assoluta sicurezza per gli operatori e per il manufatto stesso.

I possibili rimedi possono consistere in: riduzione della deformazione di pezzi ammalorati; rimozione degli elementi deformati o degradati in modo irrecuperabile; ancoraggio degli elementi esistenti sconnessi, con dispositivi e mezzi idonei rispetto ai materiali e ai pezzi utilizzati; pulitura dei collettori, rimozione dei depositi ed eliminazione dell'eventuale vegetazione infestante.

### 6.4.3 Seconda fase

Alla seconda fase appartengono gli interventi volti a risolvere e interrompere i fenomeni di degrado risolvibili senza intervenire direttamente sulle strutture murarie.

#### **Interni**

<b>I2.1</b>	Verifica, riparazione ed eventuale rifacimento delle parti ammalorate delle coperture
-------------	---

Le opere sulle coperture dovranno comprendere tutte le attività di controllo tese ad accertare lo stato di conservazione e la loro efficienza. Per loro natura, i manti di copertura, gli impalcati e le intere strutture che li sostengono, costituiti da elementi separati (distinti con la presenza di numerosi giunti d'unione) e variabili per tenuta e saldezza, sono particolarmente vulnerabili. Possono inoltre essere interessati da movimenti propri o delle strutture di supporto, con conseguenti rischi di deformazione e di sconnessione dei loro elementi costitutivi.

Le verifiche (periodiche) devono anzitutto riguardare: l'integrità e lo stato di conservazione degli elementi delle strutture portanti del tetto; le condizioni microclimatiche degli spazi *sottotetto*, per accertare l'esistenza di fattori favorevoli all'innescio di processi di biodeterioramento di eventuali componenti lignee.

Le verifiche possono essere compiute con una *semplice* analisi visiva, utilizzando comuni strumenti di controllo o eseguendo prove empiriche per controllare la tenuta del manto e degli strati sottostanti. Ogni ispezione tesa ad accertare la presenza di danni o di fenomeni di degrado, e di dissesto allo stadio iniziale, nonché ogni intervento manutentivo, deve essere eseguito in condizioni di assoluta sicurezza per gli operatori e per il manufatto stesso.

I possibili rimedi possono consistere in:

- all'intradosso: le riparazioni puntuali del tavolato e dei listelli che sorreggono il manto, se le strutture sottostanti sono sane; la riparazione di singoli elementi spezzati o di giunzioni inefficienti o allentate; la sostituzione di singoli elementi degradati e irrecuperabili; l'inserimento di nuovi elementi di analogo materiale che affianchino, sostengano o riducano la luce libera di inflessione di elementi sani ma eccessivamente deformati.

<b>I2.2</b>	Smontaggio dei serramenti perimetrali e tamponamento dei vani aperti con materiale plastico
-------------	---

Si può considerare necessario lo smontaggio dei serramenti perimetrali per la sistemazione dell'attacco sulle murature di battuta, e per la successiva sistemazione e incollaggio degli elementi lignei dei battenti. Dovranno essere preventivamente rimossi gli elementi metallici di movimentazione.

I vani rimasti *aperti* dovranno essere tamponati con materiale plastico, per evitare l'entrata dell'acqua piovana e per la protezione dei telai fissi mantenuti. Gli elementi smontati dovranno essere ricoverati in luoghi sicuri e protetti, per la temporanea custodia e per l'attuazione delle opere di conservazione e di restauro. Le operazioni andranno realizzate nei periodi dell'anno dove minore è la probabilità di precipitazioni atmosferiche e condizioni ambientali esterne ottimali.

Si dovrà porre inoltre particolare attenzione durante le operazioni di smontaggio agli elementi di movimentazione e di aggancio in corrispondenza dell'attacco dei battenti con i telai fissi. Dovranno infine essere messi in atto tutti gli accorgimenti per evitare il danneggiamento degli elementi durante l'installazione delle opere provvisorie e durante la realizzazione di tutte le operazioni di conservazione.

<b>I2.3</b>	Rimozione delle canaline <i>fuori traccia</i> in materiale plastico, dell'impiantistica, delle "scatolette", delle placchette metalliche, dei corpi illuminanti dell'impianto elettrico e del <i>fan coil</i> e delle zanche metalliche dell'impianto di riscaldamento
-------------	--

Per l'adeguamento dell'impianto elettrico e dell'impianto di riscaldamento dovrà essere effettuata la rimozione manuale di tutti gli elementi dell'impianto elettrico (come canaline *fuori traccia* in materiale plastico, "scatolette", placchette metalliche e corpi illuminanti) e dell'impianto di riscaldamento (*fan coil* e le relative zanche metalliche) posti nelle murature perimetrali ed interne. Non dovranno comunque essere rimosse eventuali tubazioni e canaline *sotto* traccia nelle murature. Dovranno essere compresi i piani di lavoro, le opere provvisorie e di protezione, la movimentazione manuale nell'ambito di cantiere e il trasporto del materiale all'esterno dell'edificio.

Si dovranno realizzare inoltre tutte le opere necessarie per non danneggiare le murature, le pavimentazioni e i serramenti esistenti.

<b>I2.4</b>	Interventi di manutenzione sui serramenti in legno (finestre e porta d'ingresso lato ovest) e loro rimontaggio
-------------	--

Gli interventi di manutenzione sui serramenti in legno rimossi dalle murature riguardano diversi tipi di operazioni:

- carteggiatura manuale delle finiture esterne, tramite discialbo manuale degli eventuali strati di rivestimento di finitura esterna in fase di distacco. La rimozione del residuo primo strato di vernice presente sugli elementi dovrà essere eseguita a secco con carte abrasive, impiegando prima le carte di grana più grossa e procedendo poi con le carte di grana più fina. Tramite una spazzola a setole morbide si dovrà infine rimuovere la polvere creata durante le precedenti operazioni e i residui ancora eventualmente presenti.
- Stuccatura delle mancanze di limitata entità (in termini di estensione e di

profondità), come piccole fessure, discontinuità tra i giunti, lacune superficiali di dimensioni limitate, fori lasciati da chiodi, *buchi* di sfarfallamento dei tarli, vuoti lasciati dai nodi. Le superfici dovranno essere accuratamente pulite, ed eventualmente sgrassate o rese ruvide o scabre. Sarà da verificare che sulle superfici non vi siano residui strati di cera, di paraffina o di altri protettivi.

Lo stucco dovrà essere applicato tramite spatole metalliche o di altro materiale (legno, plastica), di diverse dimensioni, in ragione della quantità di prodotto da stendere, della forma ed estensione della lacuna da colmare. Andrà esercitata una leggera pressione sulla pasta durante la stesura per facilitarne l'adesione al substrato. Per ovviare al problema del ritiro e per consentire ulteriori lavorazioni a secco, tra le quali la levigatura della superficie della stuccatura, è opportuno impiegare una quantità di pasta leggermente eccedente il volume da colmare. La pasta sarà costituita da olio di lino unito a polvere di legno, oppure sarà costituita da polimeri (resine epossidiche, resine poliesteri, ecc...) utilizzati come leganti.

L'operazione non andrà attuata per risarcire mancanze molto vaste, e soprattutto se estese in profondità, a causa del ritiro di cui sono soggetti i prodotti impiegati comunemente per questo tipo di operazione: il ritiro potrebbe infatti indurre tensioni all'interno del manufatto e provocare distacchi e lesioni.

Ad essiccazione avvenuta, è possibile procedere alla levigatura della superficie superiore della stuccatura, utilizzando carta smeriglio fine o pietra pomice, e alla finitura.

- Incollaggio dei montanti e delle traverse: oltre alle integrazioni delle piccole mancanze del materiale, potrà rendersi necessario l'incollaggio dei montanti e delle traverse dei telai fissi e delle bacchette fermavetro, in presenza di eventuali soluzioni di continuità in corrispondenza dei giunti. Sarà necessaria, prima delle operazioni di incollaggio, la verifica dello stato interno dei materiali e delle connessioni per constatare l'eventuale presenza di marcescenze o difetti del legno, evitando l'utilizzo di carpenteria metallica (come chiodi o viti).

- Integrazione di un pannello vetrato nella finestra sul lato ovest, delle dimensioni di 40 x 50 cm circa (dimensioni da verificare in fase di intervento). Data l'esiguo spessore della bacchetta fermavetro dovranno essere realizzati pannelli in vetro di limitato spessore (inferiore a 5 mm); date le caratteristiche degli altri pannelli è da escludere l'utilizzo di vetri multistrato con camera d'aria o l'apposizione di membrane o pellicole protettive.

- Trattamento con prodotti vernicianti e protettivi delle *facce* esterne: La salvaguardia del legno dall'attacco di funghi o insetti dovrà garantire la buona conservazione del materiale nel tempo. I protettivi da utilizzare potranno essere di vario tipo ed essere impiegati sulla base della tipologia, dell'esposizione e del grado di utilizzo del manufatto da proteggere. Saranno in ogni caso da evitare applicazioni di prodotto in forti spessori, in quanto lo scopo dovrà essere quello di proteggere il legno e non isolarlo dall'ambiente.

Previa la preparazione del supporto, le operazioni consisteranno

nell'impregnamento con olio di lino cotto (da effettuare prima delle eventuali stuccature, senza aggiungere essiccanti, coloranti o altre sostanze di qualsiasi natura e specie) effettuato esclusivamente a pennello. L'olio dovrà essere dosato con ogni cura per evitare sia la scarsa adesione in difetto d'olio, sia una pellicola troppo molle per sopportare i successivi trattamenti in caso di eccesso d'olio. Eventuali eccessi di prodotto impregnate dovranno essere rimossi con l'utilizzo di un panno morbido.

Le successive operazioni di trattamento con prodotti vernicianti non dovranno essere applicati se non prima che siano trascorsi almeno trenta giorni dall'impregnamento con olio di lino cotto; l'applicazione dovrà essere fatta con temperatura compresa fra i 5°C e i 35°C e con un'umidità relativa non superiore al 70%, operando gli opportuni accorgimenti protettivi per superfici esposte al sole e al vento. Il trattamento con prodotti vernicianti dovrà essere realizzato con resine sintetiche monocomponenti stese a pennello, previa la stesura di una mano di pittura opaca di fondo. La verniciatura dovrà essere effettuata a tre mani: la prima dovrà essere applicata quando il supporto sarà perfettamente asciutto e non prima che siano trascorse almeno 24 ore dall'applicazione della mano di fondo. Le tre mani dovranno essere applicate a distanza di almeno 24 ore una dall'altra.

- Integrazione degli elementi metallici mancanti di serratura: dovrà essere preliminarmente verificato lo stato dei materiali e delle connessioni per constatare l'eventuale presenza di difetti dei materiali. I nuovi materiali dovranno riprendere le caratteristiche di quelli presenti, ma comunque permettendo la *riconoscibilità* del nuovo intervento.

- Rimontaggio dei serramenti sulle murature, delle quali dovranno essere verificate la tenuta all'acqua, l'eventuale presenza di mancanze o di lacune in dimensioni tali da comprometterne la stabilità e l'integrità, e da dover essere integrate con materiali compatibili con il supporto.

<b>I2.5</b> 1C.21.100	Sul lato sud, posa di porta in pvc antiurto, ad alta resistenza. Telaio armato con profilati in acciaio, sezione pluricamera, angoli termosaldati, finitura superficiale liscia. Comprese tutte le necessarie ferramenta con maniglia, e comando a doppio effetto ove opportuno. misurazione: esterno telaio; misura minima: 1,00 m <sup>2</sup> . Devono essere prodotte le documentazioni che certificano la rispondenza alle seguenti norme: UNI EN 42, classe A1 di permeabilità all'aria; UNI EN 86, classe E4 di tenuta all'acqua; UNI EN 77 classe V3 di resistenza al carico del vento. Dovranno essere certificati l'isolamento termico e il potere fonoisolante.	al m <sup>2</sup>	<b>€220,64</b>
<b>I2.6</b> 1C.01.090	Scialbatura manuale degli intonaci cementizi		

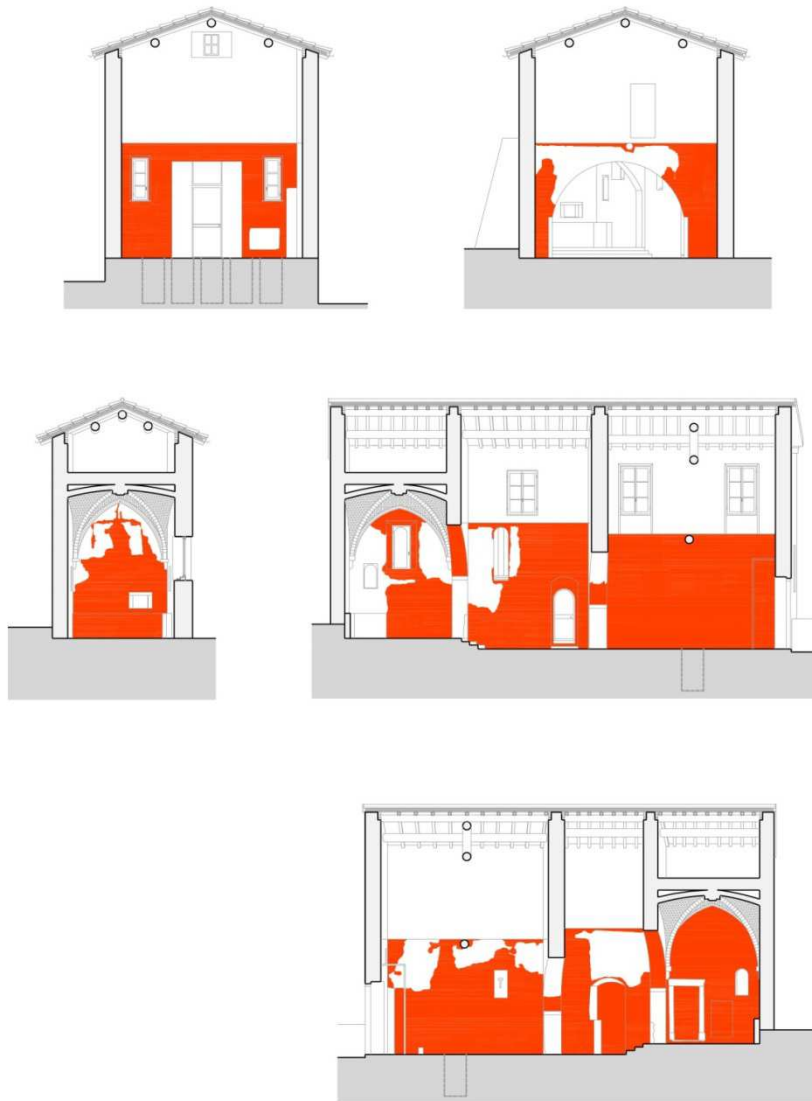
La scialbatura e la rimozione degli intonaci cementizi (da realizzare dopo aver



valutato l'eventuale presenza di rivestimenti *pregevoli* sottostanti, eventuale che può ritenersi improbabile) dovrà essere effettuata in due fasi:

- la verifica di stabilità degli intonaci con battitura e delimitazione con segno colorato delle zone da rimuovere;
- la rimozione degli intonaci fino *al vivo* della muratura, compresa la spazzolatura finale, la movimentazione delle macerie nell'ambito del cantiere, il carico e il trasporto fuori dall'edificio. Il supporto murario dovrà essere infine pulito a fondo mediante spazzole di saggina per l'eliminazione degli eventuali residui pulverulenti.

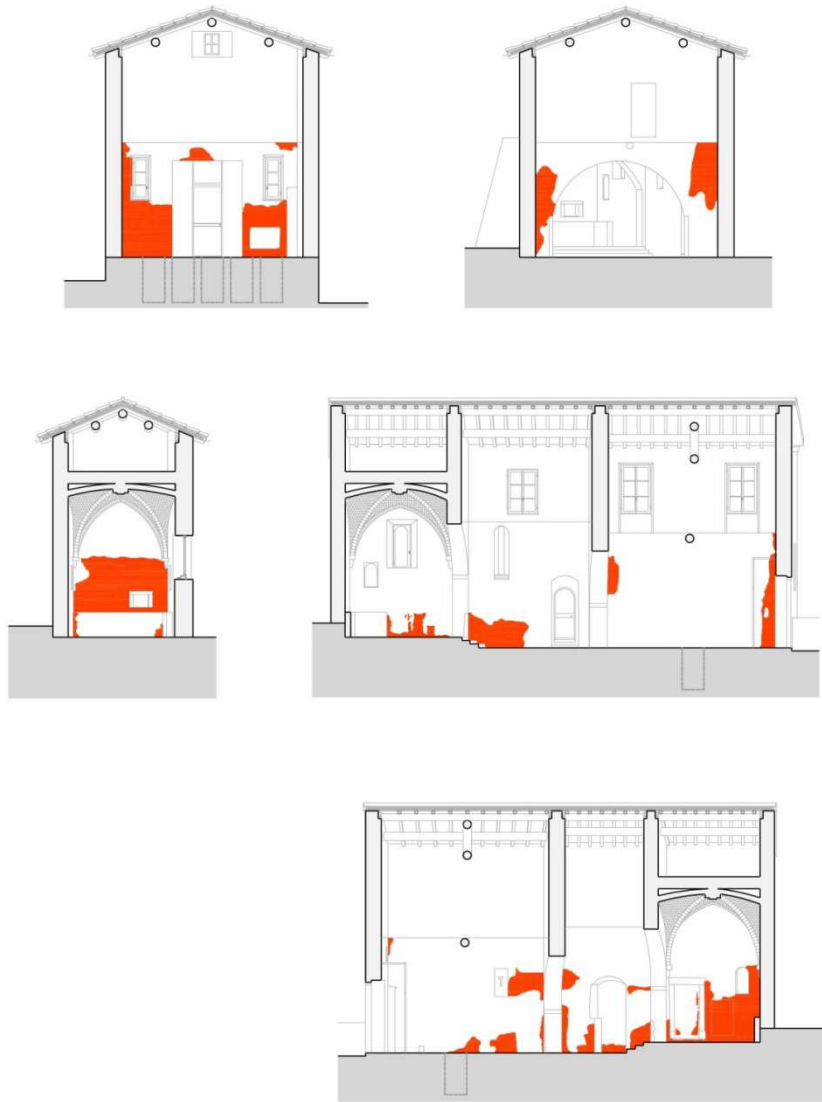
L'asportazione totale degli intonaci cementizi realizzati durante le ultime campagne di conservazione dell'edificio dovrà essere realizzata rimuovendo accuratamente dalle superfici, per strati successivi, tutto lo spessore dell'intonaco fino *a vivo* della muratura senza intaccare il supporto murario e le aree circostanti. L'azione dovrà quindi essere condotta dall'alto verso il basso rimuovendo porzioni di intonaco di limitata estensione, utilizzando mezzi manuali.



	al m <sup>2</sup>	<b>€15,41</b>
	m <sup>2</sup>	<b>145,00</b>

**I2.7**  
025041.b

Paramenti murari — Estrazione di sali solubili, anche come residui delle puliture precedentemente adottate, mediante l'applicazione di acqua demineralizzata in sospensione con acqua assorbente, compresse di sepiolite o pasta di cellulosa, su tutti i tipi di paramento murario: presenza di sostanze assorbibili in media quantità (più cicli di applicazione).



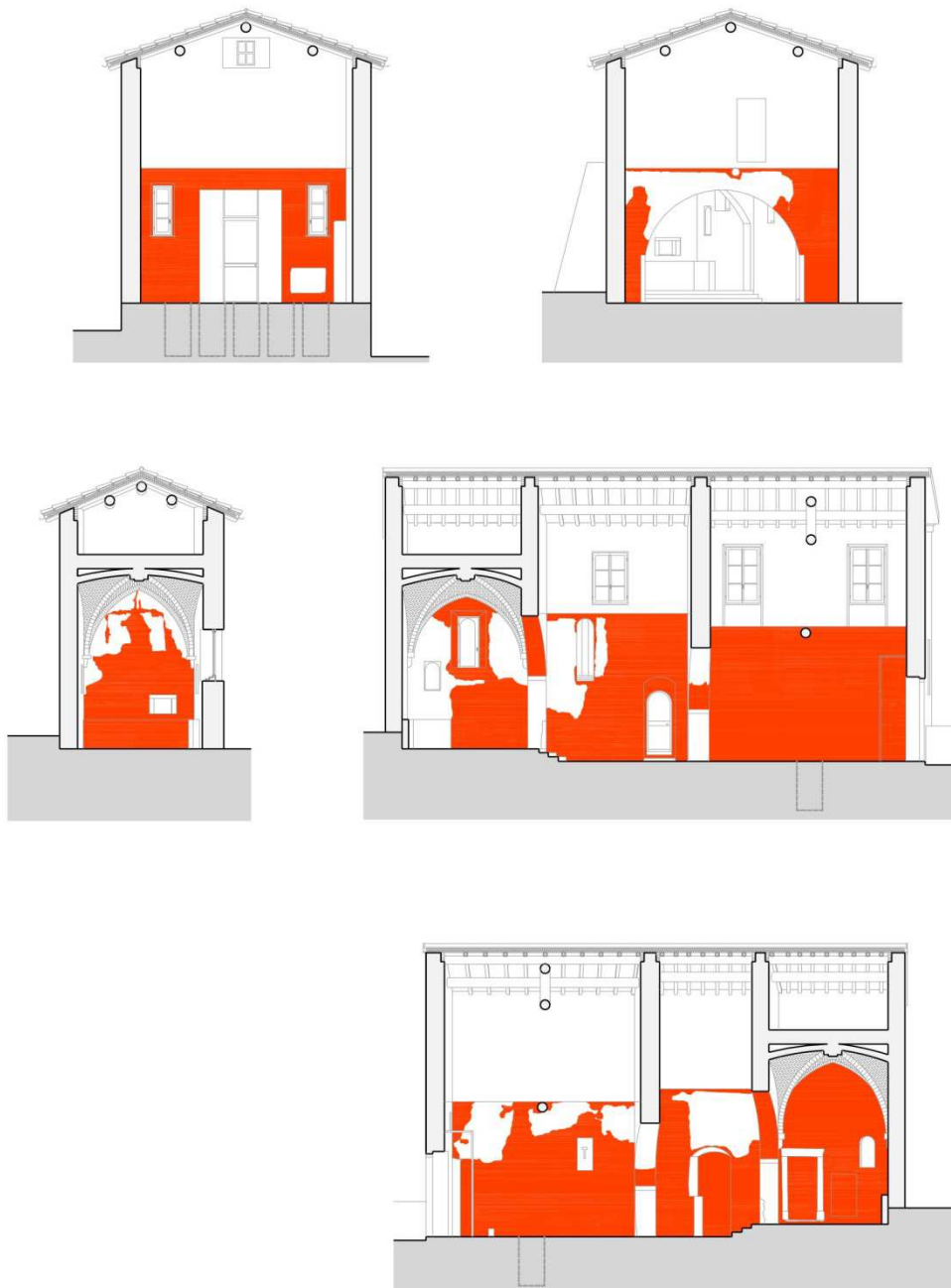
---

al m <sup>2</sup>	<b>€123,16</b>
m <sup>2</sup>	<b>34,00</b>

---

**I2.8**  
1C.07.220

Realizzazione di intonaco completo per interni ad esecuzione manuale, con finitura a civile fine, su superfici orizzontali e verticali, in ambienti di qualsiasi dimensione, costituito da rinzaffo, intonaco rustico con premiscelato a base di leganti aerei, ed arricciatura eseguita con rasante a base di calce aerea, inerti selezionati, additivi.



al m <sup>2</sup>	<b>€23,53</b>
m <sup>2</sup>	<b>145,00</b>

Esterni	
E2.1	Verifica, riparazione ed eventuale rifacimento delle opere di smaltimento delle acque meteoriche delle coperture

Le verifiche (periodiche) dovranno riguardare la continuità e la stabilità del manto; la sua tenuta all'acqua, all'aria e al calore, soprattutto in corrispondenza delle sue connessioni interne e di quelle con le strutture murarie sottostanti e con gli elementi che ne interrompono la continuità (come comignoli, sfiati, ecc...); l'integrità e lo stato di conservazione degli elementi che compongono il manto; la stabilità, la corretta posizione, la pulizia e l'efficienza dei canali di gronda, dei pluviali, e in genere delle opere di lattoneria per la raccolta e il deflusso delle acque meteoriche.

Le verifiche potranno essere compiute con una *semplice* analisi visiva, utilizzando comuni strumenti di controllo o eseguendo prove empiriche per controllare la tenuta del manto e degli strati sottostanti. Ogni ispezione tesa ad accertare la presenza di danni o di fenomeni di degrado, e di dissesto allo stadio iniziale, nonché ogni intervento manutentivo, dovrà essere eseguito in condizioni di assoluta sicurezza per gli operatori e per il manufatto stesso.

I possibili rimedi potranno consistere in:

- all'estradosso: le riparazioni puntuali del manto di copertura; il riposizionamento ed eventualmente il fissaggio o il nuovo ancoraggio, degli elementi sconnessi, se sani, senza procedere alla sua rimozione e sostituzione integrale; la sostituzione degli elementi fratturati, o irrecuperabili, con altri di analoghe caratteristiche tecnologiche; l'eventuale posa in opera provvisoria, all'estradosso della copertura, di elementi atti ad impedire l'infiltrazione delle acque meteoriche nel tetto; la rimozione di depositi ed eliminazione della vegetazione infestante.

- Sulle opere di lattoneria: riduzione della deformazione di pezzi sollevati o distorti; rimozione degli elementi deformati o degradati in modo irrecuperabile; sostituzione degli elementi rimossi o inserimento di nuovi pezzi a integrazione di quelli esistenti, previa pulitura e preparazione dei supporti; ancoraggio al supporto degli elementi esistenti sconnessi o di quelli nuovi, con dispositivi e mezzi idonei rispetto ai materiali e ai pezzi utilizzati; pulitura dei canali, rimozione dei depositi ed eliminazione della eventuale vegetazione infestante.

#### 6.4.4 Terza fase

Alla terza fase appartengono gli interventi atti a interrompere le cause di *grave* e più evidente degrado, come la risalita capillare (le cui fonti di provenienza dell'acqua sono state identificate e analizzate nelle precedenti fasi d'intervento), gli interventi diretti sui *ponti termici* e la condensazione superficiale.

Gli interventi proposti e la loro *effettiva* realizzazione saranno da relazionare alle considerazioni dedotte dalle indagini compiute nella prima fase.

#### **Esterni**

<b>E3.1</b>	Demolizione del rivestimento superficiale del terrazzo scoperto in calcestruzzo e realizzazione di drenaggio del terreno sottostante
-------------	--

Il rivestimento superficiale del terrazzo scoperto, realizzato recentemente in materiale cementizio, si può considerare (a causa del suo stato di conservazione ormai *compromesso*) rimovibile, sostituibile con nuovi materiali e integrabile con una più adeguata rete di smaltimento delle acque meteoriche. Gli strati sottostanti sono probabilmente imbevuti d'acqua (tanto che l'acqua meteorica difficilmente attraversa lo strato superficiale, permanendovi), e pertanto si potrà prevedere la realizzazione di uno sistema di drenaggio atto all'eliminazione dell'acqua proveniente "dall'alto" ed eventualmente contenuta nel terreno.

La demolizione dello strato superficiale in materiale cementizio dovrà essere eseguita con l'ausilio di qualsiasi mezzo meccanico o manuale.

La rete di drenaggio sarà invece costituita con le tecniche e i materiali utilizzati per la realizzazione del drenaggio perimetrale (v. voce E3.2), permettendo l'eliminazione dell'acqua contenuta nel terreno e il suo allontanamento dalle murature dell'edificio.

<b>E3.2</b>	Realizzazione di drenaggi perimetrali
-------------	---------------------------------------

La tecnica prevede «*la captazione e la deviazione lontano da un edificio delle acque ruscellanti e delle acque sotterranee provenienti dalle aree circostanti*»<sup>39</sup> mediante la creazione di compluvi, linee a quote più basse che diventano "percorsi preferenziali" dell'acqua per gravità: l'acqua «*penetra all'interno di una fossa nel terreno costituita da materiale drenante ed è convogliata in un tubo di scarico posto sul fondo dello scavo*»<sup>40</sup>

La realizzazione del pozzo di drenaggio perimetrale sarà costituita da diverse operazioni:

- lo scavo a sezione obbligata del terreno, ad una distanza dipendente dalla natura del terreno e compresa fra 50 e 200 cm; la larghezza, compresa fra 40 e 150 cm, varia in funzione della quantità d'acqua da captare. La profondità dello

<sup>39</sup> L. NAPOLEONE, *op. cit.*, p. 834.

<sup>40</sup> *Ibid.*

- scavo dovrà essere tale da arrivare almeno alla linea di base del muro;
- il pozzo drenante sarà costituito da diversi strati: un basamento livellato e impermeabile in *magrone* di calcestruzzo, con pendenza compresa fra il 2% e il 4% (sul quale dovrà essere *allettato* il tubo di drenaggio); un primo strato di ciottoli di grosse dimensioni (15–20 cm di diametro); strati successivi di pezzatura progressivamente decrescente all'aumentare della quota; uno strato finale di sabbia. «È di fondamentale importanza la corretta e graduale progressione della granulometria, in modo che ogni strato sia da sostegno per il soprastante; un salto brusco nella pezzatura permetterebbe alle particelle degli strati superiori più fini di intasare gli strati inferiori riducendone la permeabilità»<sup>41</sup>, interponendo se necessario un foglio di tessuto non tessuto fra i diversi strati;
  - al fondo del pozzo dovrà essere posto un tubo di drenaggio in polietilene ad alta densità corrugato e flessibile, con diametro esterno di 20 cm e diametro interno di 17,5 cm. Il tubo è rivestito esternamente con un foglio di geotessile tessuto non tessuto;
  - tra il pozzo drenante e le murature interrato dovrà essere realizzato uno strato impermeabile realizzato da un rivestimento murario in intonaco a base di calce idraulica, uno strato impermeabilizzante autoadesivo e rimovibile, e un paramento in elementi di laterizio. Questo strato, atto a proteggere le murature dell'edificio, dovrà essere realizzato in maniera particolarmente accurata;
  - il pozzo sarà infine rivestito in superficie dal materiale impermeabilizzate (v. voce E3.4) e dalla finitura in pietra (v. voce E3.5).

---

<b>E3.3</b>	<i>Taglio chimico della muratura</i>
-------------	--------------------------------------

---

La tecnica prevede «*lo sbarramento fisico continuo orizzontale e/o verticale della risalita capillare di acqua all'interno di una parete mediante l'interruzione del flusso realizzata attraverso l'occlusione di pori e capillari e/o mediante la riduzione del loro potere di assorbimento.*»<sup>42</sup>

A seconda della gravità del fenomeno, delle caratteristiche dimensionali e strutturali della muratura, del suo stato di conservazione e del suo potere di assorbimento è possibile intervenire in diversi modi.

I materiali utilizzabili possono essere suddivisi in *formulati con effetto occludente* (resine poliuretatiche, resine epossidiche, silicati, gel acril-ammidici, paraffine, cementi osmotici) o in *formulati con effetto idrofobizzante* (derivati organici e inorganici del silicio di origine sintetica). Tra i primi ad esempio le *resine epossidiche* sono caratterizzate da buone proprietà meccaniche e una buona adesione ai supporti, anche se la loro elevata viscosità potrebbe compromettere la profonda penetrazione; presentano altre caratteristiche come un'ottima capacità di indurimento anche a basse temperature, assorbimento a volte anche capillare, e quindi un'ottima saturazione delle superfici di contatto e ritiri poco

---

<sup>41</sup> Ivi, p. 836.

<sup>42</sup> Ivi, p. 818.

rilevanti. I *silicati* favoriscono la formulazione di sali, i *gel acril-ammidici*, se immessi a bassa pressione, sono caratterizzati da buona penetrazione, mentre i *cementi osmotici*, utilizzati prevalentemente nelle pareti di calcestruzzo, sono ottenute dalla miscela di cementi, sabbia di quarzo, additivi chimici organici o inorganici. Tra i secondi invece ad esempio le *resine siliconiche* formano uno strato idrorepellente sulla superficie dei capillari evitando così la suzione dell'acqua, mentre un'ampia bibliografia è dedicata all'utilizzo in campo degli altri formulati, come i *siliconi*, i *silani*, i *silossani*, i *siliconati*, gli *stereati* e le *microemulsioni di siliconi*. «*Si sono ottenuti buoni risultati impiegando in modo combinato siliconati e silicati anche in murature di notevole spessore. Questi formulati polimerizzano in presenza d'acqua, favorendo un rapido funzionamento della barriera ed evitando che agenti esterni ne diminuiscono l'efficacia nel tempo*»<sup>43</sup>. In generale le caratteristiche principali di questi formulati sono una bassa viscosità, per favorire la penetrazione del liquido all'interno del muro, buon potere bagnante, bassa velocità di polimerizzazione, per consentire l'uniforme distribuzione interna, basso contenuto di solventi, basso modulo elastico e compatibilità chimico-fisica con i materiali con cui viene in contatto. I requisiti dei formulati sono quelli riportati nelle *Raccomandazioni Normal 20/85*.

A seconda invece delle tecniche di immissione il materiale può essere *inserito* tramite *iniezioni a pressione*, tramite *impregnazioni a lenta diffusione* (o *tipodiffusione*), tramite *sistemi di trasfusione per paraffine pure* o tramite *iniezioni sotto-vuoto*. Le prime sono realizzate tramite l'utilizzo di pompe collegate a tubi flessibili a più iniettori da inserire nella muratura, con pressioni comprese generalmente tra 1 e 4-5 atm (a seconda del tipo di materiale costituente la muratura); le seconde avvengono invece per mezzo di spugne sature di formulato messe a contatto con le pareti dei fori, sfruttando lo stesso principio fisico che permettono l'impregnazione d'acqua del materiale; nei terzi sono utilizzate resistenze elettriche corazzate inserite nei fori sigillati, collegate a centraline a bassa tensione che riscaldano la muratura fino a 80°C, nella quale infine viene immessa della cera fusa; le ultime sfruttano l'eliminazione dei gas esistenti nel materiale mediante l'applicazione di una pressione negativa.

Come per le altre tecniche di intercettazione dell'acqua da risalita capillare, questa metodologia presenta pregi e difetti che andranno attentamente valutati in fase di esecuzione dell'intervento anche sulla base dei risultati delle analisi preliminari. Tra i pregi ad esempio quello di «*non interferire con le funzioni d'uso degli edifici, in qualsiasi periodo dell'anno. [...] La realizzazione di una barriera non arreca cambiamenti statici alla struttura e non esistono controindicazioni per il suo impiego su pareti lesionate, sconnesse e non compatte*»<sup>44</sup> Il difetto principale e più importante riguarda invece la penetrazione del materiale: «*Generalmente si rileverà difficile verificare se il materiale trasfuso abbia realmente impregnato, in modo omogeneo e tale da renderlo idrofobo, l'intero*

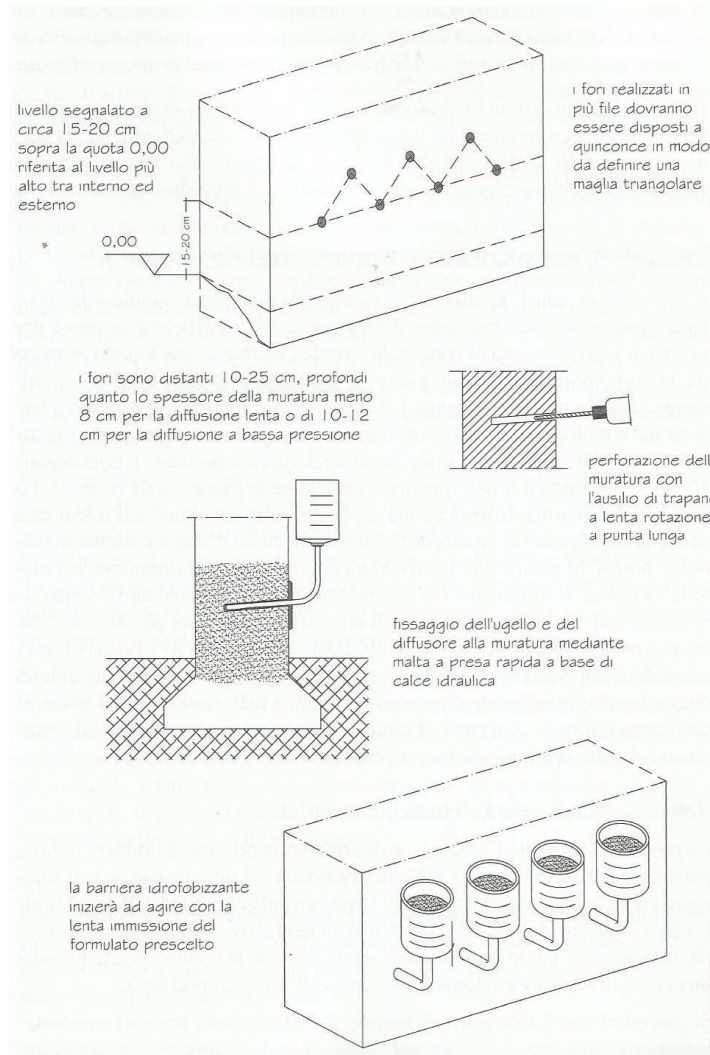
---

<sup>43</sup> Ivi, p. 820.

<sup>44</sup> Ivi, p. 818.



strato orizzontale di muratura oggetto di intervento; in ogni caso sarà da tenere presente che la sola riduzione, anche elevata della sezione assorbente, non impedirà all'acqua di risalire attraverso la strozzatura. Pertanto o l'intercettazione dell'umidità da risalita capillare sarà ottenuta al 100% della sua sezione orizzontale o, nel tempo, potranno apparire di nuovo patologie legate all'umidità, anche se rallentate ed in misura inferiore»<sup>45</sup>. La scelta del materiale e della tecnica da utilizzare sarà da valutare sulla base delle cause e delle concause dell'umidità, della tipologia costruttiva delle murature, della misura di assorbimento d'acqua, del valore di pH delle murature e della localizzazione e tipologia di sali presenti.



**Figura 42.** Formazione di barriera chimica idrofobizzante, da S. FRANCESCHI, L. GERMANI, *op. cit.*, p. 261.

<sup>45</sup> S. FRANCESCHI, L. GERMANI, *Manuale operativo per il restauro architettonico. Metodologie di intervento per il restauro e la conservazione del patrimonio storico*, DEI. Tipografia del Genio Civile, Roma 2005, pp. 261-262.

In tutti i casi saranno necessarie alcune operazioni:

- indagini preventive;
- eliminazione dell'intonaco (se rimovibile) su entrambe le facce, per un'altezza di 10 cm sopra la linea della barriera, o pulitura e consolidamento dell'intonaco (se non rimovibili); pulitura delle murature, eventuale desalinazione e verifica di eventuali impianti sottotraccia;
- esecuzione dei fori d'immissione, inserimento e sigillatura dei trasfusori o degli ugelli di iniezione, realizzazione di uno strato di intonaco per evitare la fuoriuscita di materiale (v. Fig. 43);
- pulitura del formulato in eccesso, estrazione degli iniettori, sigillatura con stucco e realizzazione dell'intonaco.

<b>E3.4</b> 1C.08.100 1U.04.110	Massetto di sottofondo e impermeabilizzazione del terrazzo scoperto sul lato nord
---------------------------------------	---

Per la posa della nuova pavimentazione esterna del terrazzo scoperto posto sul lato nord dovrà essere realizzato un massetto di sottofondo alleggerito con argilla espansa, con impasto a 250 kg di cemento 32,5 R per m<sup>3</sup> di argilla espansa granulometrica 3–8 mm, con superficie tirata a frattazzo fine, dello spessore di 8 cm.

Tra il massetto e la nuova pavimentazione in pietra dovrà essere inoltre posata una membrana impermeabile cuspidata in polietilene ad alta densità (HDPE), accoppiata ad un geotessile non tessuto in polipropilene.

al m <sup>2</sup>	<b>€38,19</b>
-------------------	---------------

<b>E3.5</b> 1C.16.050	Realizzazione di nuova pavimentazione esterna in lastre di pietra di Varenna ed elementi in piastrelle in porfido.
--------------------------	--

La nuova pavimentazione sarà costituita da elementi in pietra di diverse dimensioni.

Le piastrelle dovranno avere lo spessore di 4–5 cm, di forma rettangolare o quadrata, posate su letto di malta di cemento con giunti sigillati con boiaccia di cemento colata, posate a disegno.

Le lastre saranno di forma rettangolare, pezzatura 15–20 cm e lunghezze libere, a coste martellate o tranciate, spessore 10–20 mm, posate a disegno, compresa la fornitura della malta di allettamento, la sigillatura dei giunti, la pulizia finale.

al m <sup>2</sup>	<b>€90,93</b>
-------------------	---------------

<b>E3.6</b>	Realizzazione della rete di scarico delle acque meteoriche <i>superficiali</i> del terrazzo scoperto sul lato nord
-------------	--

- La realizzazione della rete di smaltimento sarà costituita da diverse operazioni:
- scavo a sezione obbligata per la successiva posa delle tubazioni e dei pozzetti di ispezione;
  - realizzazione del piano di appoggio in magrone di calcestruzzo;
  - rete costituita da tubazioni in PVC con giunti a bicchiere ed anello elastomerico, secondo UNI EN 1446, colore rosso mattone RAL 8023. Temperatura massima permanente 40°, tubi con classe di rigidità SN 2 kN/m<sup>2</sup>, diametro esterno 250 mm, spessore 4,9 mm;
  - posa di pozzetti d'ispezione prefabbricati in calcestruzzo della dimensione interna di 30x30 cm, completi di griglia e le sigillature necessarie.

<p><b>E3.7</b> 1C.14.050 1C.17.650</p>	<p>Posa di <i>copertine</i> in pietra e di <i>scossaline</i> metalliche per la protezione delle strutture murarie e l'allontanamento delle acque meteoriche</p>
--	---

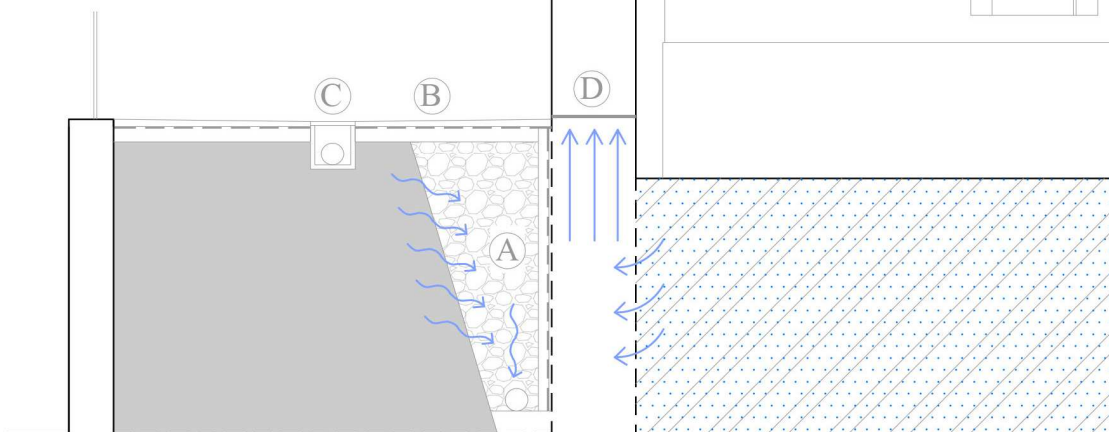
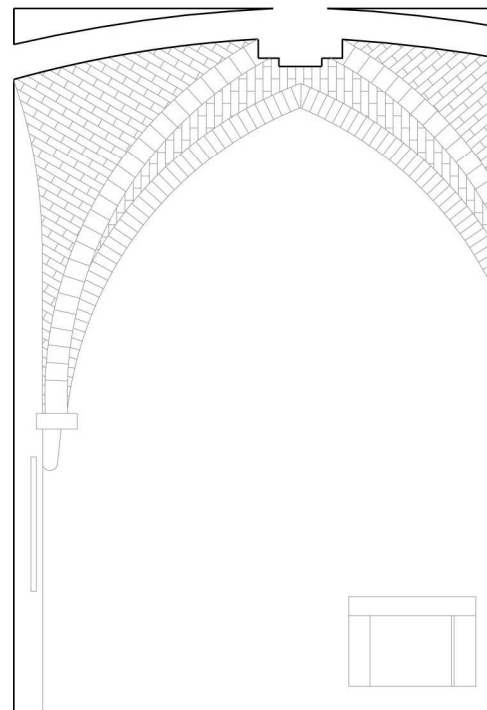
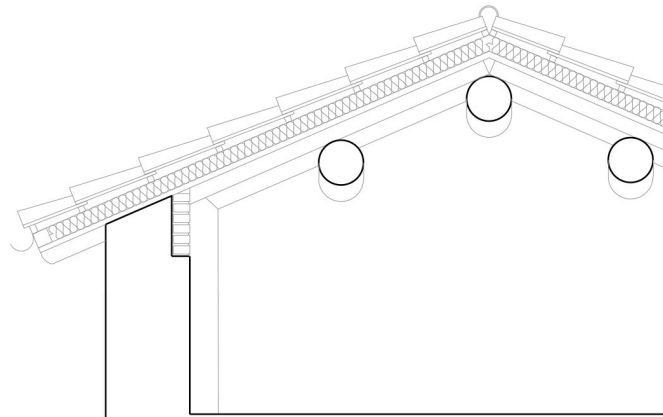
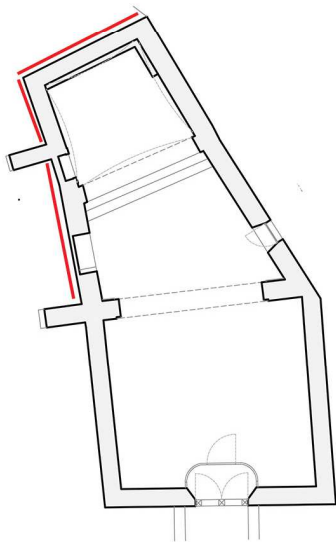
In prossimità degli spigoli di contatto fra le strutture esterne (contrafforti sul lato nord, *arcone* sul lato sud) e le murature perimetrali dell'edificio dovranno essere poste delle copertine in pietra di Varenna e di *scossaline* in rame atte a proteggere le superfici dal dilavamento delle acque meteoriche e inibendo il loro raffreddamento.

Le copertine saranno costituite da elementi di spessore 3 cm con gocciolatoi, stesi tramite idonei collanti.

scossaline, al kg	<b>€11,97</b>
copertine, al m	<b>€78,85</b>



- A. *Pozzo drenante*
- B. *Pavimentazione in pietra*
- C. *Rete di smaltimento delle acque meteoriche*
- D. *Barriera fisica/chimica della muratura*



### 6.4.5 Quarta fase

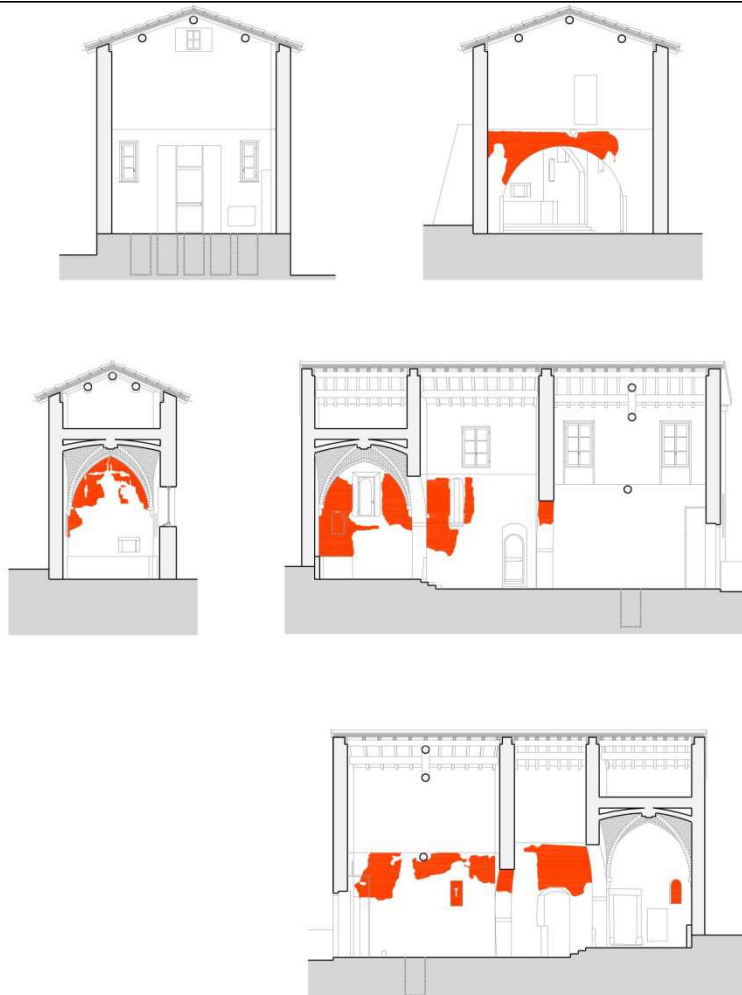
Alla quarta e ultima fase appartengono infine le operazioni inerenti le finiture murarie interne, da realizzare all'avvenuto consolidamento degli interventi precedenti e della verifica della loro effettiva efficacia.

#### **Interni**

#### Operazioni preliminari

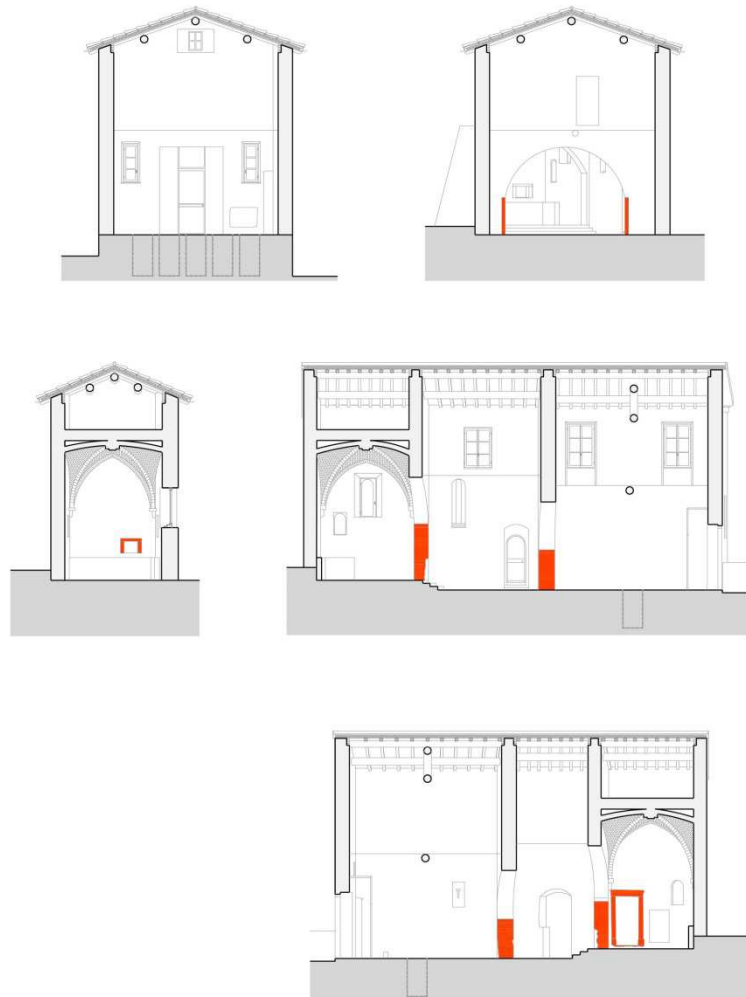
**I4.1**  
045024.a

Affreschi — Rimozione di depositi superficiali parzialmente coerenti a mezzo di spugne sintetiche o pani di gomma su affreschi e tempere, da valutare al m<sup>2</sup> sui m<sup>2</sup> effettivamente interessati dal fenomeno: situazioni di buona adesione e coesione della pellicola pittorica.



al m <sup>2</sup>	€24,91
m <sup>2</sup>	32,50

<b>I4.2</b> 045024.a	Elementi in pietra — Rimozione di depositi superficiali incoerenti a secco con pennellesse, spazzole e aspiratori; inclusi gli oneri relativi alla protezione delle superfici circostanti, per tutti i tipi di pietra situati in ambienti interni: per superfici mediamente lavorate
-------------------------	--



	al m <sup>2</sup>	<b>€11,57</b>
	m <sup>2</sup>	<b>7,50</b>

<b>I4.3</b> 1C.01.090	Intonaci — scialbatura degli intonaci realizzati nella fase 2 (v. voce I2.7) eventualmente oggetto di fenomeni di degrado (da valutare in fase esecutiva)
	al m <sup>2</sup>   <b>€15,41</b>

### Preconsolidamento

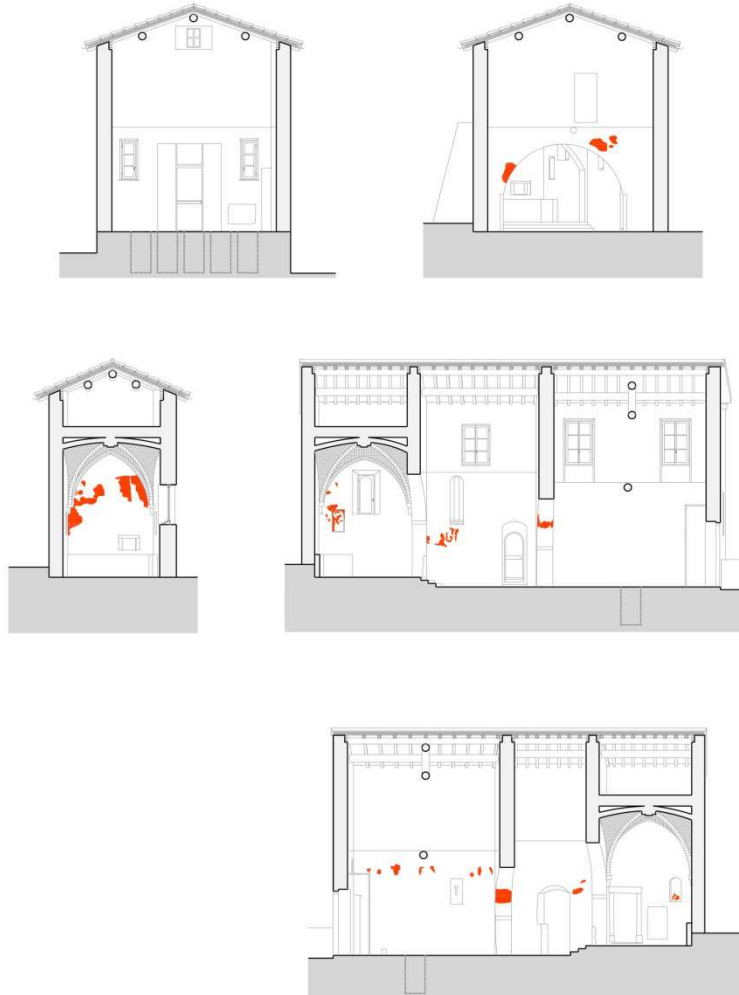
Il preconsolidamento consiste «*nel ristabilimento preventivo delle proprietà di compattezza di quelle porzioni di materiale disgregato o polverizzato, già visibili in fase di progetto o individuate dopo la prima asportazione di depositi superficiali, che potrebbero essere danneggiate durante i successivi cicli di puli-*

tura.»<sup>46</sup> Generalmente questi interventi hanno la funzione di fornire la stabilità provvisoria a supporti particolarmente decoesi sui quali sono necessari interventi successivi di pulitura che non possono essere attuati a causa dello stato conservativo *precario* dei materiali.

In qualunque caso, prima della realizzazione delle seguenti operazioni dovranno essere realizzate delle campionature sulle superfici soggette, da catalogare e per ognuna delle quali indicare le metodologie e i materiali utilizzati nelle stesse.

**I4.4**  
045029.a

Affreschi — Ristabilimento parziale della adesione e della coesione (preconsolidamento) della pellicola pittorica propedeutico alle operazioni di consolidamento e pulitura nei casi di disgregazione e sollevamento della stessa, su graffiti, affreschi e tempere ed olio su muro, da valutare al m<sup>2</sup> sui m<sup>2</sup> di effettiva diffusione del fenomeno, con resine acriliche, gomme naturali o altro prodotto idoneo applicate: a pennello con carta giapponese o con siringhe.

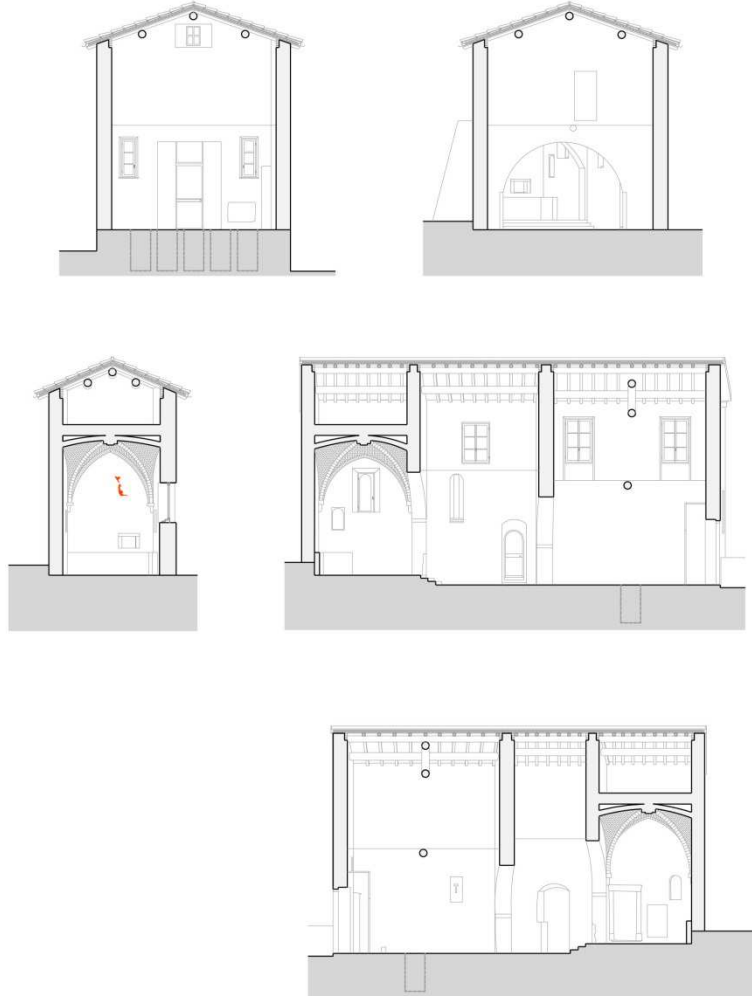


al m<sup>2</sup> | €139,48

<sup>46</sup> Ivi, p. 33.

m<sup>2</sup> |**4,50****I4.5**  
045030.b

Affreschi — Puntellatura provvisoria di parti d'intonaco in pericolo di caduta, per sostegno dello stesso durante le fasi di consolidamento o di rimozione di elementi metallici inidonei, da valutare a singola operazione per superfici tra 0,20 e 0,35 m<sup>2</sup> inclusi gli oneri relativi all'applicazione e rimozione di uno strato di velatino di garza, all'allestimento del puntello ed alla rimozione di colla dalla superficie: in pareti verticali.



cad.

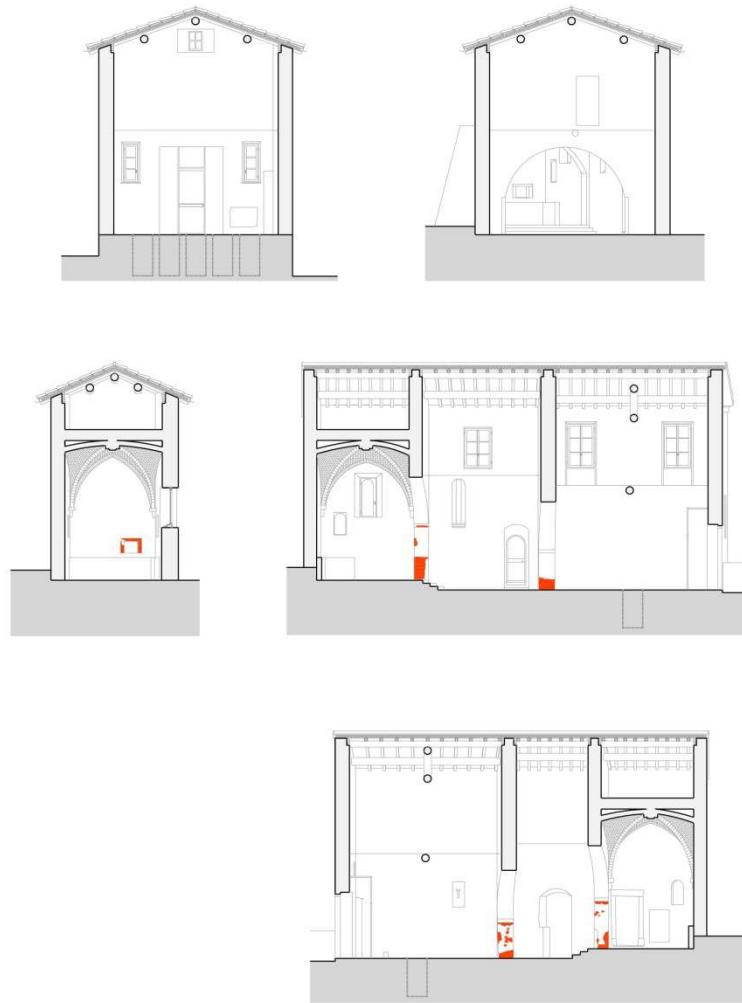
**€114,46**

nr

**1****I4.6**  
015023.b

Elementi in pietra — Ristabilimento parziale della coesione (pre-consolidamento) mediante impregnazione per mezzo di pennelli, siringhe, pipette, propedeutica alle operazioni di pulitura; inclusi gli oneri alla rimozione degli eccessi del prodotto consolidante, per una diffusione del fenomeno entro il dm<sup>2</sup>, su opere situate sia in ambienti interni sia ambienti esterni, da valutare a singolo intervento: nei casi di disgregazione, con silicato d'etile.





	cad.	€12,13
	nr (entro il dm <sup>2</sup> )	190

### Pulitura

Le operazioni di pulitura devono avere la funzione di «rimuovere la presenza di sostanze estranee patogene, causa di degrado, limitandosi alla loro asportazione. Il lato estetico non deve incidere sul risultato finale, l'intento della pulitura non deve essere quello di rendere "gradevole" l'aspetto della superficie ma, bensì, quello di sanare uno stato di fatto alterato.»<sup>47</sup>

Il tipo di pulitura è relazionato al tipo di deposito presente sulla superficie: «La rimozione dei depositi incoerenti sul materiale che [...] non intaccano la natura chimica del materiale, potrà essere eseguita ricorrendo a dei sistemi meccanici semplici, facili da applicare; [...] nel caso in cui si debbano asportare depositi solidarizzati con il materiale, sarà conveniente ricorrere a dei cicli di

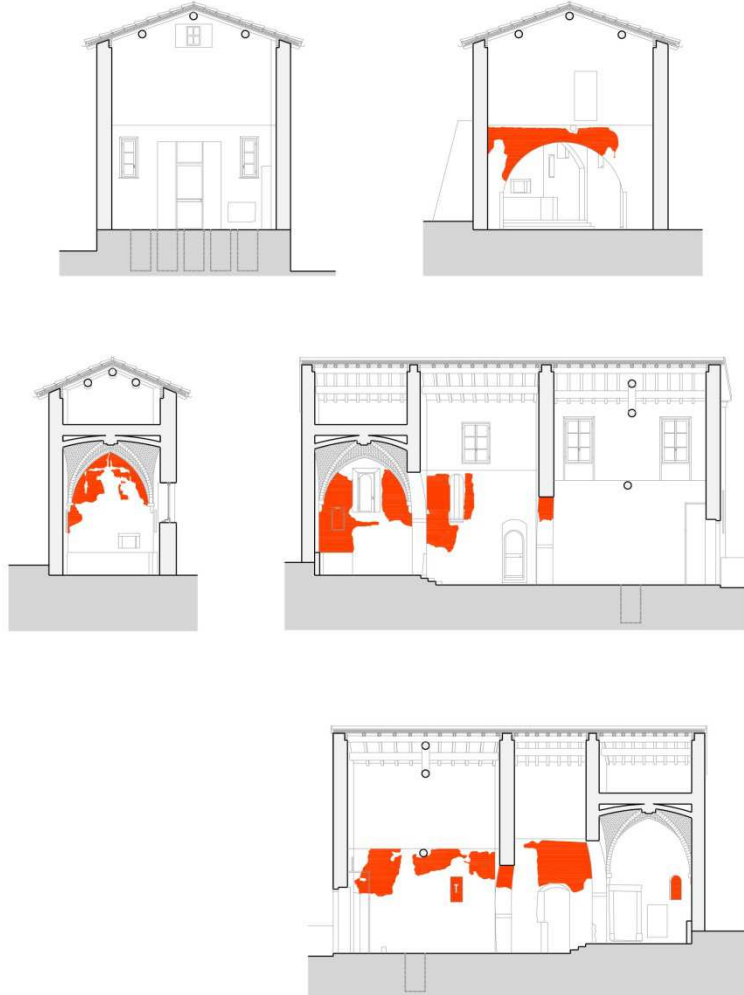
<sup>47</sup> Ivi, p. 61.

*pulitura più consistenti»<sup>48</sup> (come impacchi, apparecchi aeroabrasivi, sabbiatura controllata, ecc...).*

Come per il preconsolidamento, dovranno essere attuate una serie di operazioni preliminari atte a garantire l'efficacia degli interventi, come l'analisi puntuale della consistenza dei materiali da pulire, l'analisi dei prodotti da reazione, l'esecuzione delle prove prescelte su campioni di materiale e l'analisi dei risultati ottenuti sulla superficie campione preliminare all'estensione della pulitura alle intere strutture murarie.

**I4.7**  
045058.b

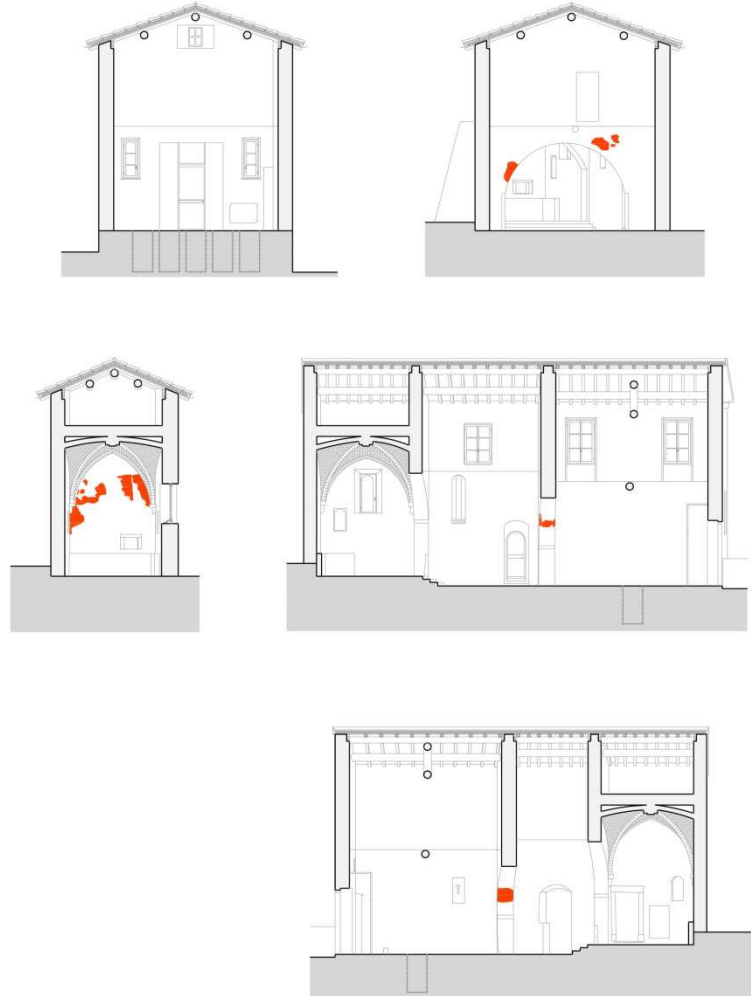
Affreschi — Rimozione di depositi superficiali parzialmente coerenti quali polvere depositata, fissativi alterati e sostanze di varia natura sovrammessi al dipinto, da valutare al m<sup>2</sup> sui m<sup>2</sup> effettivamente interessati al fenomeno, inclusi gli oneri relativi alla preparazione dei materiali, ai saggi per la scelta della soluzione e dei tempi di applicazione idonei ed esclusi gli oneri riguardanti la fase di estrazione dei sali residui della pittura: nei casi di depositi con scarsa coerenza ed aderenza, mediante applicazione di carta assorbente imbevuta con miscela di sali inorganici: su affreschi.



<sup>48</sup> Ivi, p. 63.

	al m <sup>2</sup>	<b>€282,54</b>
	m <sup>2</sup>	<b>32,50</b>

<b>I4.8</b> 045070.b	Affreschi — Risciacquo con acqua distillata ed applicazione di materiale assorbente per la rimozione di polvere parzialmente aderente al dipinto, estrazione dei sali solubili e di residui sali organici utilizzati per le operazioni di pulitura, da valutare al m <sup>2</sup> sui m <sup>2</sup> effettivamente interessati al fenomeno, con: compresse di polpa di cellulosa, su affreschi e graffiti.
-------------------------	---



	al m <sup>2</sup>	<b>€94,51</b>
	m <sup>2</sup>	<b>3,50</b>

<b>I4.9</b> 025041.b	Paramento murario — Estrazione di sali solubili, anche come residui delle puliture precedentemente adottate, mediante applicazione acqua demineralizzata in sospensione con acqua assorbente, compresse di sepiolite o pasta di cellulosa, su tutti i tipi di paramento murario: presenza di sostanze assorbibili in media quantità (più cicli di applicazione). [da verificare in fase esecutiva]
-------------------------	--

al m<sup>2</sup> |

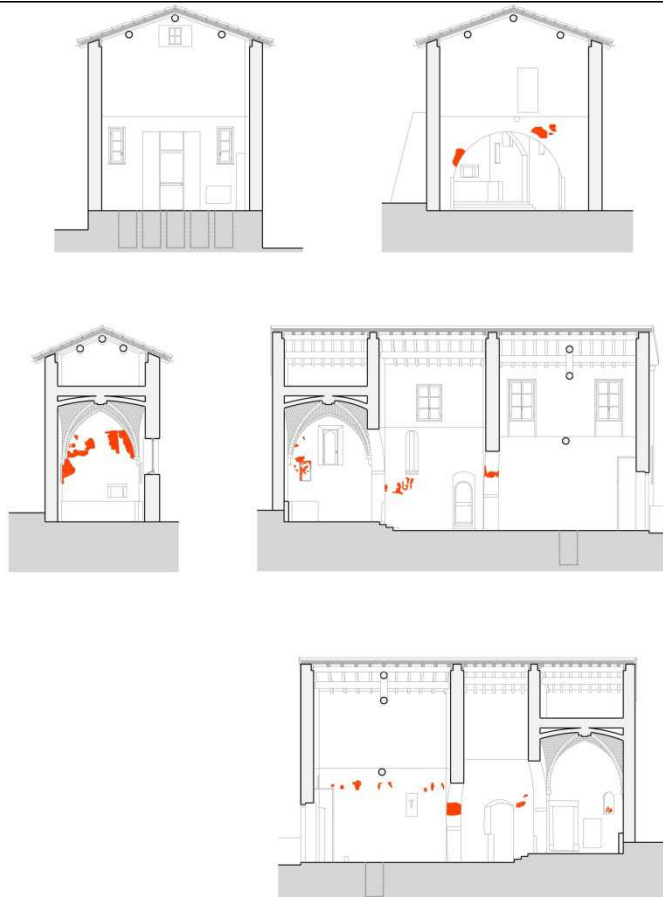
€123,16

**Consolidamenti**

L'operazione di consolidamento «*si concretizza impregnando il materiale in profondità, al fine di evitare la formazione di uno strato superficiale resistente sovrapposto a uno degradato, con sostanze di varia natura (organiche e/o inorganiche). [...] È opportuno ricordare che la sostanza consolidante deve essere compatibile con la natura del materiale. [...] Il materiale introdotto non deve saturare completamente i pori così da non alterare i valori di permeabilità al vapore propri del materiale.*»<sup>49</sup>

**I4.10**  
045031.a

Affreschi — Ristabilimento della coesione della pellicola pittorica, nei casi di disgregazione–polverizzazione, mediante applicazione di prodotto consolidante, da valutare al m<sup>2</sup> inclusi gli oneri relativi alla preparazione del prodotto, alla verifica dei risultati ed alla rimozione degli eccessi del prodotto applicato, con resine acriliche in emulsione a bassa concentrazione applicata a pennello con carta giapponese e successiva pressione a spatola, su graffiti, affreschi e tempera, per una diffusione del fenomeno: tra il 50% ed il 100% in un m<sup>2</sup>, da valutare al m<sup>2</sup>.

al m<sup>2</sup> |

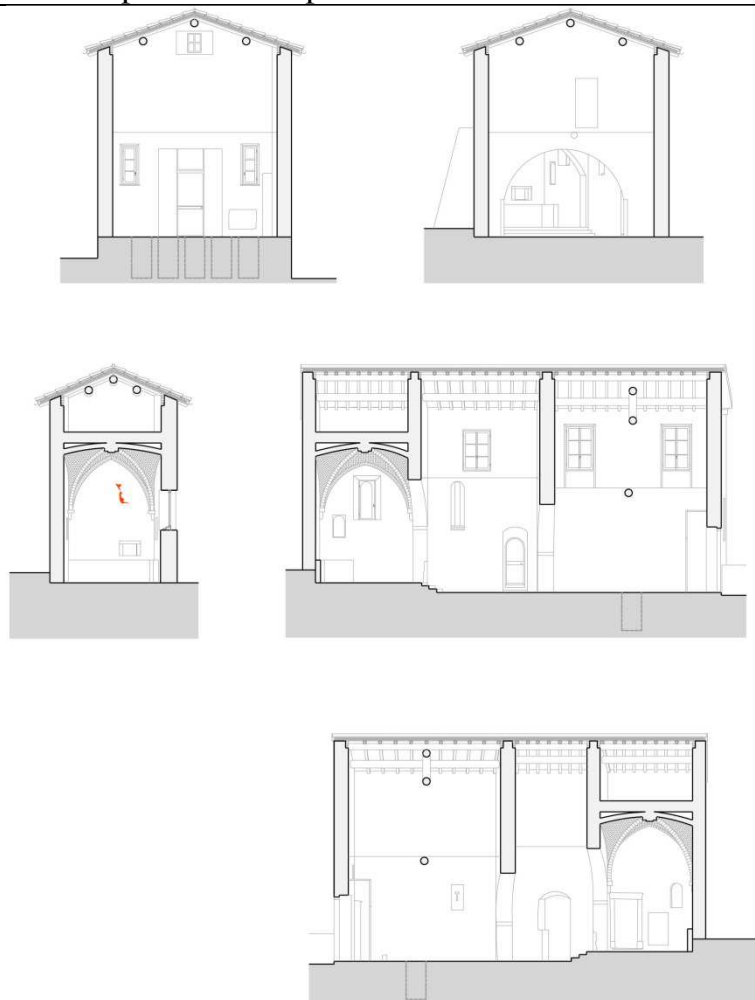
€292,50

<sup>49</sup> Ivi, pp. 165–166.

m<sup>2</sup> | **4,50**

**I4.11**  
045043.a

Affreschi — Ristabilimento dell'adesione tra supporto murario ed intonaco mediante iniezioni di adesivi riempitivi e puntellatura provvisoria, inclusi gli oneri relativi alla velinatura di parti in pericolo di caduta, alla preparazione del prodotto, alla stuccatura delle crepe anche di piccola entità, successiva rimozione della velinatura ed eliminazione dell'eccesso di prodotto dalle superfici, per ciascun distacco di dimensioni entro i 25 dm<sup>2</sup>, su graffiti, affreschi, tempere ed olio su muro: con malta idraulica o malta pozzolanica o malta idraulica premiscelata per affreschi o resina acrilica in emulsione.



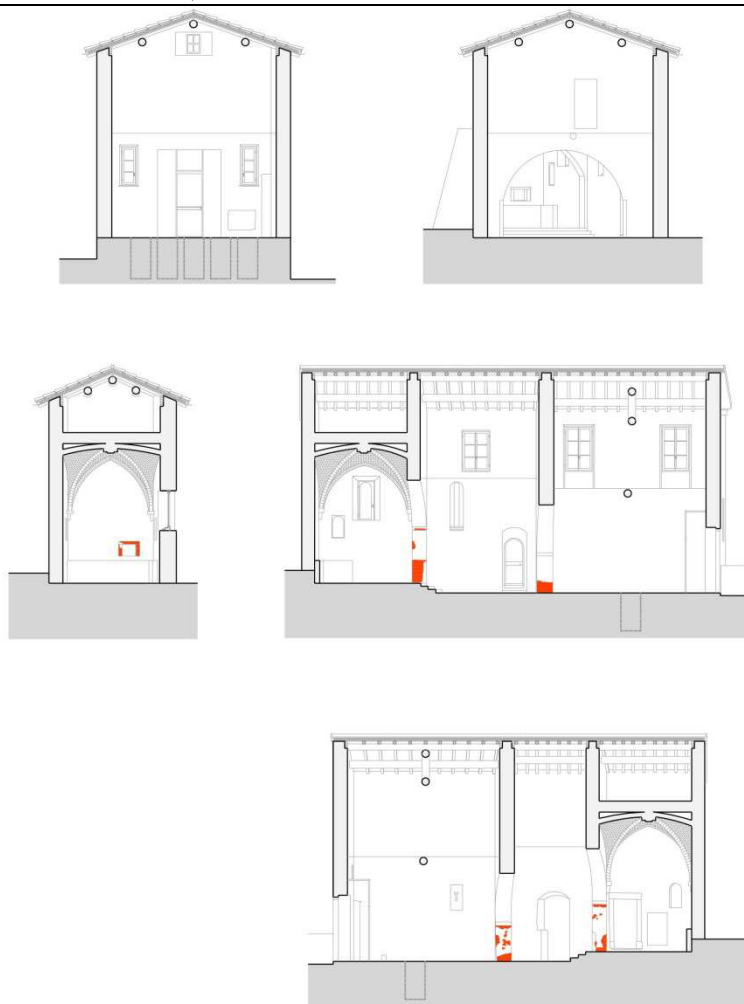
cad. | **€273,44**

nr (entro 25 dm<sup>2</sup>) | **1**

**I4.12**  
0150029.a

Elementi in pietra — Ristabilimento della coesione mediante impregnazione per mezzo di pennelli, siringhe, pipette, a seguito o durante le fasi della pulitura; inclusi gli oneri relativi alla rimozione degli eccessi del prodotto consolidante, su superfici mediamente e/o

molto lavorate situate sia in ambienti esterni sia in ambienti interni, con silicato di etile mediante applicazione fino a rifiuto: nei casi di disgregazione: per una diffusione del fenomeno tra il 50% e il 100% in un m<sup>2</sup>, da valutare al m<sup>2</sup>.



	al m <sup>2</sup>	<b>€258,78</b>
	m <sup>2</sup>	<b>1,90</b>

## 7. IL PROGETTO DI UN NUOVO ALLESTIMENTO MUSEALE

### 7.1 Un museo nella chiesa di San Nicolao

In Italia il *recupero* e l'utilizzo di edifici storici abbandonati come spazi museali costituisce una tradizione ormai consolidata (seppur perseguita con principi diversi nelle diverse fasi storiche), e ancora oggi il *museo* appare come la funzione più duttile e flessibile a questo scopo. Benché le istituzioni museali siano nate e si siano sviluppate a partire dal secondo dopoguerra, è interessante sottolineare l'età del patrimonio architettonico custodite: secondo i dati del censimento compiuto alla fine degli anni Novanta ad esempio,

*28 edifici sede di museo sono anteriori al XII secolo, 483 sono stati realizzati tra il XII e il XVI secolo, 544 tra il XVII e il XIX secolo. Ma se il 90% degli edifici museali è anteriore al XIX secolo, il 50% del totale dei musei, come istituzione, è stato fondato dopo il 1945. Eppure i musei costruiti ex-novo, in edifici appositamente progettati, in Italia sono pochissimi, rispetto a quelli ottenuti da una più o meno sostanziale trasformazione di edifici preesistenti<sup>1</sup>.*

Prima di esporre nel prossimo paragrafo alcuni casi-studio esemplari di musei ricavati in edifici storici, si possono stabilire alcuni principi progettuali da adottare come presupposti per un progetto di “riqualificazione funzionale” di San Nicolao.

Il primo è la necessità di avvicinare l'oggetto/edificio e il visitatore. All'inizio del XX secolo Walter Benjamin riconosceva nell'immagine culturale l'inavvicinabilità capace di costituirne l'*aura*, ossia la particolare atmosfera che affascina e ispira deferenza in colui che la ammira. Primo compito dell'architetto è quello di catturare l'attenzione di un pubblico-massa vorace ma superficiale e distratto da modalità di fruizione ben diverse da quelle di due secoli fa, non più attratto dall'*aura* ormai “disinnescata”: «Svalutata l'*aura* come motore d'attrazione, la distanza prodotta nello spazio irreal del museo sembra diventare all'improvviso solo un limite fisico alla comprensione e al coinvolgimento, da superare attraverso l'uso di mediatori di senso o di linguaggio e, sempre più spesso, per il tramite di espedienti scioccanti o imprevedibili coup de théâtre»<sup>2</sup>. Primo argine contro la distrazione è concedere al visitatore la possibilità di registrare una serie di segni che trasformino in personale un rito ormai divenuto collettivo.

---

<sup>1</sup> A. HUBNER e M. MULAZZANI, *Il museo italiano. La trasformazione di spazi storici in spazi espositivi. Attualità dell'esperienza museografica degli anni '50*, Lybra Immagine, Milano 1997, pp. 13–14.

<sup>2</sup> A. HUBNER, *Le ragioni del museo. Una lettura museografica delle collezioni dell'Università di Bologna*, Clueb, Bologna 1999, p. 80.

Il secondo tema è quello della *memoria* e del coinvolgimento sensoriale. L'esperienza museale del visitatore deve sedimentarsi nella sua memoria attraverso sensazioni, impressioni ed emozioni generate dai valori oggettivi dei materiali museali, innanzitutto percepiti tramite il movimento dinamico e, per citare Franco Albini, *l'esperienza fisica*: secondo obiettivo è quindi quello di «*invertire il senso angosciante e un po' cimiteriale*»<sup>3</sup> ancora oggi presente in molti musei. Riprendendo le considerazioni del filosofo americano John Dewey espresse nel suo *Art as Experience* del 1934, «*i movimenti esploratori sono un ingrediente essenziale affinché le informazioni, raccolte dai vari sistemi sensoriali, possano organizzarsi e fornire una rappresentazione biologicamente utile della realtà. Il visitatore di un museo, dunque, dovrebbe poter attivare nello spazio a sua disposizione gli stessi meccanismi di scoperta di un viaggiatore.*»<sup>4</sup>

Terzo tema è la necessità di far confrontare e fondere le tre *intelligenze* riconosciute dallo storico dell'arte inglese Michael Baxandall: quella di chi ha creato il manufatto (presente nel processo espositivo in virtù dello stesso manufatto), quella del curatore, «*che si appropria dei valori del manufatto per tradurli nell'ottica della sua propria cultura specialistica*»<sup>5</sup>, e quella del visitatore, che stabilisce il vero contatto tra le prime due tramite la mediazione dell'allestimento e della propria cultura. Mentre il museo ha a che fare con il passato, è rivolto a pochi ed è funzionale a ciò che contiene, le mostre sono legate al presente, concepite e realizzate in maniera attuale in funzione del pubblico.

Ultimo tema è il rapporto con l'opera e la sua individualità: «*La stessa sensibilità che impone all'architetto di riportare alla luce la "verità storica" dell'edificio si esprime nell'interpretazione dell'opera d'arte. [...] Per lo spazio del museo, il confronto con il passato si esprime quindi attraverso una serie di giudizi sull'opera storica, che motivano il recupero di valori originari come la scelta di svelarne le stratificazione più significative*»<sup>6</sup>.

Le ricerche e le sperimentazioni in campo museografico sono relativamente recenti. Fino ai primi decenni del XX secolo gli architetti chiamati a riconvertire edifici storici in musei limitavano il loro intervento al solo ambito decorativo: sebbene infatti gli edifici sui quali intervenire apparivano ben adatti allo scopo (volumi monumentali, molte pareti di grandi dimensioni, illuminazione naturale), non esisteva ancora una disciplina (la museologia appunto) capace di *disegnare il museo*, visto più come un edificio *spontaneo* dove preferire la concentrazione dei materiali e la loro conservazione all'entità *astratta* del pubblico.

Benché numerosi siano gli esempi di “nuovi musei” negli stati tedeschi e nella Francia del XIX secolo (Von Klenze a Monaco, Winckelmann a Berlino, Durand a Parigi) — nei quali, oltre alla struttura formale esterna e alla tipologia degli oggetti conservati, un'importanza sempre maggiore era ricoperta dal *percorso*, termine legato all'idea di viaggio e di scoperta — è il Novecento il “Secolo della

<sup>3</sup> Ivi, p. 83.

<sup>4</sup> Ivi, pp. 83–84.

<sup>5</sup> Ivi, p. 95.

<sup>6</sup> A. HUBNER e M. MULLAZZANI, *op. cit.*, p. 71.



*museografia*”, la disciplina che «*riconoscendo al museo una natura complessa, formata da tre elementi ben distinti e spesso in antagonismo tra loro, vale a dire collezione, edificio e pubblico, intendeva tenere conto di ciascun elemento [...] con la volontà dichiarata di mettere ordine e metodo nella pratica museale.*»<sup>7</sup> Le quattro regole per un nuovo programma museale redatte agli inizi degli anni Trenta del XX secolo da Henry van de Velde servirono appunto a definire i caratteri di un museo finalmente *pubblico* e ubicato in *qualche grande centro*:

1. *nel museo non è necessario, non più che in un interno privato, che tutto ciò che possiede questo museo sia esposto in maniera costante allo sguardo dei visitatori.*
2. *In ogni museo, non c'è che un piccolo numero di opere che conviene presentare al pubblico. Nella produzione di tutti i maestri c'è un certo numero di opere inferiori. Queste non competono al giudizio o all'educazione artistica del pubblico. Competono a quelli dello storico dell'arte, del critico.*
3. *Nel museo, ogni scuola nazionale avrà una sala — o più sale, secondo il caso — ove le opere fondamentali che possiede il museo saranno esposte permanentemente; le altre opere in possesso del museo saranno classificate in scaffali o conservate in annessi aperti a chiunque ne faccia domanda. [...]*
4. *Tramite un dispositivo ingegnoso che determinerà in ultima conseguenza il ritmo stesso della pianta del museo, il pubblico potrà recarsi nella sala dedicata a questa o quella scuola nazionale e, in casi speciali, a questo o quel maestro di una di tali scuole, senza dover passare per alcuna altra sala. L'accesso a queste sale sarà diretto attraverso corridoi o gallerie in comunicazione con una galleria circolare o con l'esterno*<sup>8</sup>.

Gli esempi esteri, come appunto van de Velde, Hendrik Berlage a L'Aja o El Lisisckij ad Hannover, appaiono lontani dalla realtà italiana, “intrappolata” tra la fine del XIX secolo e gli anni Trenta del secolo successivo in una saturazione innaturale di oggetti conservati (tanto che gli slogan futuristi proclamarono la morte del museo, tanto che secondo Filippo Tommaso Marinetti «*per troppo tempo l'Italia è stata un mercato di rigattieri. Noi vogliamo liberarla dagli innumerevoli musei che la coprono tutta di cimiteri innumerevoli*»). A parte rari casi, in Italia un “nuovo museo” non corrispondeva a un “museo nuovo”, e le sedi più opportune apparivano essere gli edifici storici: la loro musealizzazione «*si trovava a fare i conti non solo con un'idea moderna di museo, ma anche con una moderna idea di restauro*»<sup>9</sup>, a causa di condizioni museali (conservazione, illuminazione, coinvolgimento percettivo ed emotivo) difficilmente applicabili all'interno delle articolazioni originali di molti edifici antichi. È proprio in questo periodo che si può riconoscere la nascita in Italia del *museo interno* (così definito da Vittorio Gregotti), un particolare tipo di allestimento consistente ne «*l'adattamento di spazi storici alle innovazioni museografiche; una laboriosa ricerca di equilibrio tra edifici monumentali e nuove funzioni, tra antiche collezioni e nuovi fruitori*»<sup>10</sup>, simbolo della sintesi fra diversi temi — come il restauro, la conservazione, il ridisegno urbanistico e il *senso di continuità con la storia* (che come diceva

---

<sup>7</sup> Ivi, p. 44.

<sup>8</sup> Ivi, p. 48.

<sup>9</sup> Ivi, p. 55.

<sup>10</sup> Ivi, p. 13.

William Morris «*altro non è che un continuo mutamento e non è difficile vedere che siamo cambiati in maniera drastica; è con questi cambiamenti che abbiamo stabilito la nostra posizione come continuatori della storia*»).

Già nel 1934 però, sulle pagine di Casabella Elizabeth Moses ne *I musei viventi* sottolineava il nodo irrisolto del *far vivere il museo*, avvicinarlo al pubblico, renderlo strumento attivo per *l'educazione del gusto*<sup>11</sup>. La separazione «*fra architetti e mostre d'arte, mostre e musei, musei e pubblico è destinata, almeno in parte, a colmarsi nel secondo dopoguerra, in virtù di una peculiare miscela tra le urgenze del presente e l'apertura di più ampi orizzonti su cui proiettare una tradizione acquisita.*»<sup>12</sup>

## 7.2 Il museo interno e il rapporto con la tradizione negli anni Cinquanta italiani

Per poter comporre una *storia* della *scuola* compositiva museale in Italia e del rapporto con la “tradizione” è innegabile la necessità di analizzare l'importanza delle esperienze e degli *esperimenti* della seconda metà del Novecento.

Il secondo dopoguerra fu occasione per gli architetti italiani non solo per la ricostruzione materiale del paese ma anche politica, morale e sociale dopo vent'anni di distruzione. Particolare fortuna ebbero gli esperimenti nel campo degli allestimenti museali, opera di architetti come BBPR, Franco Albini, Carlo Scarpa: secondo Tafuri, negli anni Cinquanta

*alle frustrazioni sofferte dell'esperienza di progettazione dell'edilizia pubblica, la cultura architettonica italiana ha da contrapporre i successi ottenuti nel settore del design, e, ancor più, quelli ottenuti nel campo della museografia. [...] L'architettura del museo sembra riassumere, depurati da molte scorie contingenti, i temi principali dibattuti negli anni cinquanta: dal ruolo “civile” della forma a quello dell'incontro fra la memoria e il nuovo, al recupero di una rappresentatività legata ad occasioni privilegiate*<sup>13</sup>.

I temi e i principi sviluppati nei *musei* sembrano collegati a quello più generale della “rimarginazione delle ferite” post-belliche, a fronte delle quali, tramite «*l'inserimento di edifici nuovi in tessuti urbani ad alto contenuto storico — o piuttosto di costruire quartieri di edilizia economica popolare ai margini dei grandi centri abitati — gli architetti italiani s'impegnano in una cauta opera di adattamento*»<sup>14</sup> con una *frugalità* derivata dalla *congenita* cultura contadina e dall'indigenza di guerra.

Nel più stretto ambito museale, Giulio Carlo Argan sulle pagine di Casabella Continuità del 1955 si chiedeva «*perché le mostre attraggono il pubblico molto più dei musei? Evidentemente perché, nella mostra, la presentazione degli ogget-*

<sup>11</sup> E. MOSES, *I musei viventi*, Casabella n. 74, 1934, pp. 28–33.

<sup>12</sup> A. HUBNER e M. MULAZZANI, *op. cit.*, p. 62.

<sup>13</sup> M. TAFURI, *Storia dell'architettura italiana 1944–1985*, Einaudi, Torino 1986, p. 64.

<sup>14</sup> M. BIRAGHI, *Storia dell'architettura contemporanea II 1945–2008*, Einaudi, Torino 2008, p. 73.

ti è più vivace e stimolante, gli accostamenti più persuasivi, i confronti più stringenti, i problemi più chiaramente delineati.»<sup>15</sup> Il carattere temporaneo di questi nuovi “cantieri sperimentali” — nati e sviluppati a partire dal 1945 nella rassegna delle mostre monografiche di “ricognizione regionale” — consentì la prova sul campo di nuovi sistemi di esibizione, illuminazione e didattica, vere opere di attrazione per il pubblico.

Nella fortunata serie di quel decennio possono essere brevemente tratti alcuni casi-studio.

Franco Albini, oltre al Museo del Tesoro di San Lorenzo a Genova descritto nel successivo paragrafo, fu autore, sempre nella città ligure, di due allestimenti esemplari, Palazzo Bianco (1950–1951) e Palazzo Rosso (1952–1961). Nel primo, «*all'estremo rigore esplicito nella tecnica museografica si unisce una raffinata neutralità dell'arredo nei confronti delle opere esposte; tale però da lasciar trasparire in filigrana i segni interpolati, ridotti a rispettose glosse interlineari di frammenti di testo pazientemente ricostruiti*»<sup>16</sup>; l'opera museale albiniana — sviluppata tramite mostre come *L'evoluzione della bicicletta* alla Triennale di Milano del 1951, le sale dei *Tessuti genovesi del XVI secolo* e del *Miracolo della Scienza* a Palazzo Grassi a Venezia nel 1952, o il Salone d'Onore della X Triennale di Milano del 1954 — sono secondo Manfredo Tafuri «*capolavori di virtuosismo rappresentativo non alieni da suggestioni oniriche*».

In Palazzo Bianco «*Albini realizzò un allestimento di assoluta purezza, esaltato dalla geometria degli antichi pavimenti in ardesia ad intarsi di marmo bianco, conservati in quasi tutte le sale*»<sup>17</sup>, in un rigore trasferito anche nelle cornici dei quadri. Proprio nell'esibizione dei quadri ricade la novità dell'allestimento (oltre che nell'assenza di arredi fissi): appesi a tondini scorrevoli in guide di ferro o sospesi a piantane metalliche, le opere consentono la lettura della parete permettendone la leggibilità. Una novità che fece scalpore, soprattutto nell'esposizione del frammento marmoreo di Giovanni Pisano (lodata però da critici come Argan):

*Le differenti possibilità di lettura del gruppo e la mancanza di fonti sulla sua sistemazione originaria, condussero Albini a realizzare un supporto cilindrico in acciaio mobile e girevole, che permetteva non uno solo ma più punti di vista, selezionabili dal visitatore stesso che veniva in tal modo stimolato alla conquista della comprensione dell'opera. Il frammento di marmo fu montato su un sostegno telescopico, capace di un'escursione tra 50 e 150 cm circa da terra*<sup>18</sup>.

Altro protagonista, artefice di numerosi allestimenti e sistemazioni museali negli anni Cinquanta–Sessanta (tra i quali, la Galleria dell'Accademia, il Museo Correr e la Fondazione Querini Stampalia a Venezia, o la Gipsoteca Canoviana a Possagno), è Carlo Scarpa, la cui opera è il risultato dello «*sforzo di comporre*

<sup>15</sup> G.C. ARGAN, *Problemi di museografia*, Casabella continuità, n. 207, 1955, pp. 64–68.

<sup>16</sup> M. TAFURI, *op. cit.*, pp. 64–65.

<sup>17</sup> A. HUBNER e M. MULAZZANI, *op. cit.*, p. 98.

<sup>18</sup> *Ibidem*.

(*ma non certo di "omogeneizzare"*) un'infinità di frammenti di natura, epoche e materiali diversi.»<sup>19</sup> Suo intento consisteva nel liberare gli oggetti esposti dai nessi tradizionali, invitando il visitatore ad una lettura innovativa e *contraddittoria*, e Palazzo Abatellis a Palermo e il Museo Civico di Castelvecchio a Verona ne sono due esempi evidenti. In quest'ultimo caso è *magistrale* l'esposizione della statua equestre del Cangrande: per poter da un lato esporla all'esterno proteggendola comunque dalle intemperie e dall'altro renderla visibile da qualunque angolazione e distanza, Scarpa (dopo una serie di limitate demolizioni) progettò un alto piedistallo in calcestruzzo, orientando e disponendo gli elementi architettonici in base a quello della statua.

«Da un lato il "lasciar passare" di Albini, dall'altra la magistrale narratività di Scarpa: l'alternativa non dà ancora scandalo. Quest'ultimo esplose piuttosto nel 1956, quando si apre al pubblico il Museo del Castello di Milano, opera dei Bpr, che offre il fianco a una serrata polemica»<sup>20</sup>, rinvigorita due anni dopo in occasione di un'altra opera milanese del gruppo, la Torre Velasca. Per i BBPR, solamente la manipolazione rende storico un cantiere archeologico (un museo o una città): attraverso l'intervento dell'architetto — il progetto —

*la storia assume un volto: le molte eredità che nel progetto si incontrano daranno luogo a contaminazioni, a opere in qualche modo "sporche"; ma sarà quell'impurità a permettere il "gioco dei riconoscimenti". L'architettura, contaminandosi con gli antichi reperti, riconosce la legittimità della propria tradizione; quei reperti potranno di converso usare il "nuovo" come cartina di tornasole, come specchio da interrogare e da cui trarre un principium individuationis*<sup>21</sup>.

Nel Museo del Castello l'assunto è ben evidente nelle scenografie sempre presenti e nelle *polivalenti risonanze* fra pezzo esposto e macchina espositiva: il soggetto dell'allestimento appare maggiormente nel confronto e nella relazione fra memoria collettiva e memoria privata (dell'intellettuale). L'intenzione era quella «di introdurre una serie di pause — cui corrispondevano altrettanti microambienti costruiti intorno a singole opere. [...] A conclusione di un percorso rallentato da cambiamenti di direzione e scandito da una serie di stazioni, il visitatore scopriva la scultura michelangiolesca»<sup>22</sup> della Pietà Rondanini (oggi ricollocata nell'ospedale spagnolo), da un punto di vista laterale in uno spazio definito da una sorta di "paravento" in pietra serena. Allo stesso tempo la Torre Velasca, che costituì all'epoca un vero e proprio *scandalo*, è vista secondo alcuni come una «casa che consoli i segni del loro (degli architetti, NdA) straniamento, che li protegga dal futuro, che li rassicuri circa la validità delle loro istanze "moralistiche"»<sup>23</sup> all'interno del grande museo della città, mentre secondo lo stesso Rogers «il valore intenzionale di questa architettura è di riassumere culturalmente, e

<sup>19</sup> M. BIRAGHI, *op. cit.*, p. 85.

<sup>20</sup> M. TAFURI, *op. cit.*, p. 66.

<sup>21</sup> Ivi, p. 67.

<sup>22</sup> A. HUBNER e M. MULAZZANI, *op. cit.*, p. 138.

<sup>23</sup> M. TAFURI, *op. cit.*, p. 69.

*senza ricalcare il linguaggio di nessuno dei suoi edifici, l'atmosfera della città di Milano; l'ineffabile eppure percepibile caratteristica.»<sup>24</sup>*

### 7.3 Cinque esempi

Tra gli innumerevoli casi–studio se ne voglio esporre cinque, quattro italiani e uno estero, non tutti appartenenti agli anni Cinquanta ma nei quali possono comunque essere riconosciuti gli stessi principi ispiratori.

#### 7.3.1 *Il Museo del Tesoro di San Lorenzo a Genova (Franco Albini e Franca Helg, 1952–1954; GTRF Associati, 1996–2006)*

Progettato tra il 1952 e il 1954, il restauro e il riordinamento del patrimonio della Cattedrale di San Lorenzo a Genova è una delle opere più note di Franco Albini e di Franca Helg (in collaborazione, per l'allestimento, con Caterina Marcenaro), nonché una delle più armoniche soluzioni museografiche italiane. Secondo Manfredo Tafuri l'opera è l'apice dello “stile museale” dei due architetti:

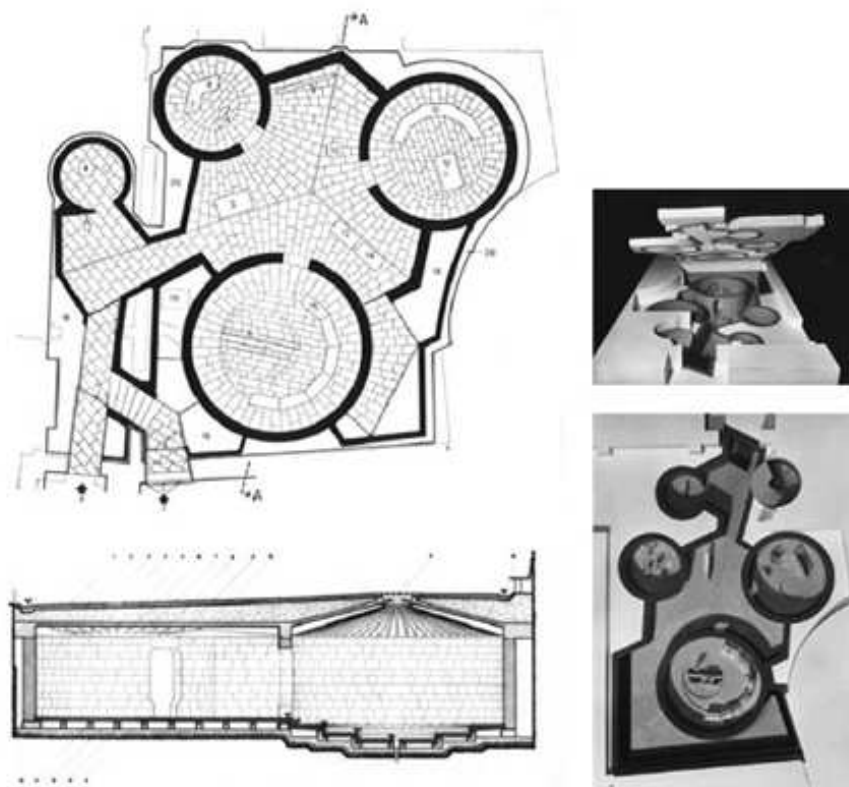
*Si tratta di un preciso programma allegorico [...]: al sacello del Santo Graal si unisce il ricordo del Tesoro di Atreo. L'esoterismo dei riferimenti è comunque sublimato da Albini. La dialettica degli spazi, la variata incidenza della luce, il colloquio fra la forma delle teche vitree e l'ambigua allusività degli organismi agganciati fra loro rendono omaggio a uno degli ingredienti più originali della poetica albiniana: una vena surreale tanto più sottile quanto più risolta in etimi tecnologicamente inappuntabili<sup>25</sup>.*

Il progetto del restauro del Tesoro, ricercato e voluto dalle amministrazioni cittadine fin dalla fine dell'Ottocento, e la sua nuova configurazione museale comprende diverse opere d'arte raccolte a partire dal XII secolo: il *Sacro Catino o Graal* (una coppa d'epoca romana del I secolo d.C.), reliquiari del XI–XIV secolo, alcuni oggetti legati al culto di Giovanni Battista (come l'Arca detta *Barbarossa*, o il *Piatto di San Giovanni*), una statua dell'Immacolata di Francesco Maria Schiaffino, l'Arca processionale del Corpus Domini del XVI secolo, i paliotti d'altare, due piviali del XV–XVI secolo.

---

<sup>24</sup> citato in M. BIRAGHI, *op. cit.*, p. 98.

<sup>25</sup> M. TAFURI, *op. cit.*, p. 65.



**Figura 43.** Pianta e sezione trasversale del Museo del Tesoro di San Lorenzo a Genova, soluzione definitiva.

Primo requisito progettuale era quello di rendere compatibile l'esposizione *si-cura* degli oggetti permettendo comunque il loro uso occasionale per le celebrazioni sacre, il secondo quello di avere uno schema *flessibile* — in grado di ospitare altri oggetti della collezione — e di grandezza proporzionata alle loro dimensioni. Tra le diverse alternative (il chiostro della Cattedrale, il matroneo interno), Albini decise di sviluppare il museo in una struttura ipogea di area ridotta (15 metri per 16) nel sottosuolo del cortile dell'Arcivescovado (vicino all'abside e alla sacrestia della Cattedrale), *sfruttando* il dislivello esistente tra la quota del pavimento della sacrestia e quella del cortile. «*La geometria della pianta non fu dunque una soluzione arbitraria, bensì la sintesi progettuale di esigenze complesse: l'immagine mitica del Tesoro di Atreo ben si sposava con la caratteristica delle pareti curve delle tholoi, capaci di offrire migliore resistenza a eventuali spinte di terra e sottomurazioni*»<sup>26</sup>.

La soluzione di tre camere circolari di diverso diametro fu scelta da Albini come schema planimetrico fin dai primi studi, con due ingressi — uno per il pubblico da piazza Matteotti attraverso una scala elicoidale (scelta «*motivata con la necessità di esperire il trapasso tra la luce dell'esterno, la penombra*

<sup>26</sup> Ivi, p. 103.

dell'androne e l'oscurità del museo sotterraneo»<sup>27</sup>), e uno per il clero direttamente dalla Cattedrale. L'ostracismo della Curia sul primo dei due ingressi fece però propendere Albini in favore della variante con due ingressi dall'interno della chiesa: quello per il pubblico è "spezzato" e avviene tramite una stretta scala ("l'accesso catacombale"), quello per il clero è invece "diretto" e senza dislivelli per facilitare il trasporto, in occorrenze particolari, delle opere più voluminose.

All'ingresso si pone subito frontalmente la piccola *tholos* per il catino del Sacro Graal, mentre le tre camere principali sono collegate tramite uno spazio centrale di forma esagonale la cui geometria è sottolineata sia dal pavimento in pietra scura, sia dai travetti di copertura in cemento di sezione variabile disposti radialmente intorno a oculi luminosi che coronano le camere. L'effetto

*è di grande suggestione, con riferimenti a figurazioni barocche, come il diffondersi della luce mistica dall'alto, o il richiamo formale agli ostensori dai fitti raggi d'argento diramanti dall'ostia. Barocca è anche "l'ideologia di coinvolgere l'immaginazione nella ricezione dell'immagine", con i rimandi al tesoro nascosto, al culto dei morti, ai mondi ultraterreni da sempre immaginati nel sottosuolo. Un gioco fascinoso [...], grazie al quale il piccolo occhio di luce che si apre nel cortile dell'arcivescovado si trasfigurava in una vera da pozzo, affacciandosi alla quale si sarebbe potuto vedere il tesoro ipogeo*<sup>28</sup>.

Nell'allestimento «*il dialogo fra l'eleganza tecnologica — ulteriore strumento di supremo distacco — e le forme esalta una dimensione irreali: la dimensione per l'esattezza, dell'astrazione come "immagine sospesa"*»<sup>29</sup> L'arredo è essenziale e modellato su ogni singolo oggetto (come le vetrine nel vano centrale per i piviali), con supporti e sostegni in profili di ferro verniciati di nero infissi direttamente nel pavimento; «*San Lorenzo vive di una armonia perfetta e assoluta tra spazio architettonico e opere in esso contenute*»<sup>30</sup>. La luce naturale dagli oculi in copertura è integrata da un doppio sistema di illuminazione artificiale composto da proiettori a incandescenza all'imposta di copertura e da apparecchi a fluorescenza nelle vetrine.

Dal 1996 al 2006 è stato condotto, ad opera degli architetti Giovanni Tortelli e Roberto Frassoni, un intervento sull'invecchiamento delle strutture e per adeguare gli impianti tecnologici alla vigente normativa.

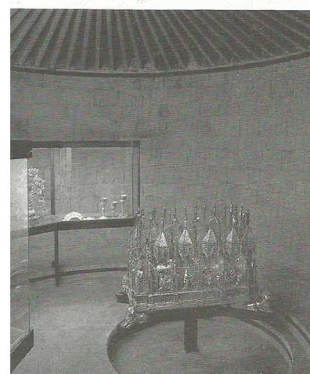
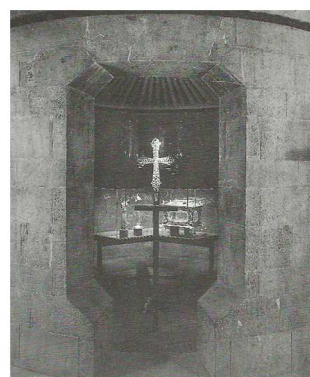
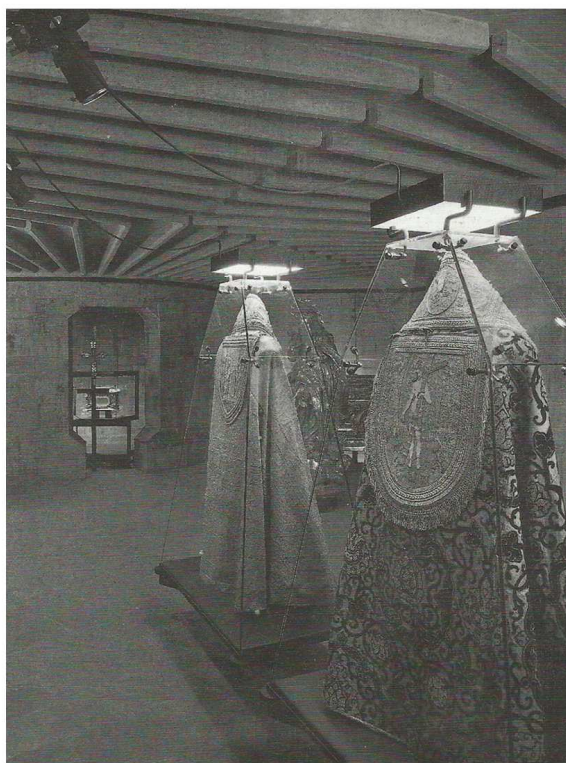
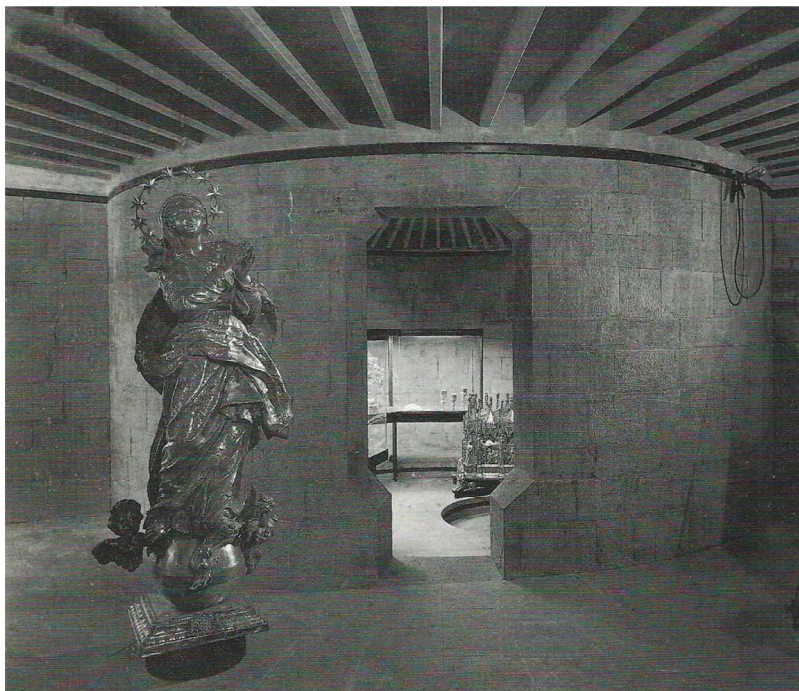
---

<sup>27</sup> Ivi, p. 105.

<sup>28</sup> *Ibidem*.

<sup>29</sup> M. TAFURI, *op. cit.*, p. 65.

<sup>30</sup> M. MULLAZZANI, *La tradizione italiana del "museo interno"*, in A. HUBER, *op. cit.*, pp. 84–85.



**Figura 44.** Museo del Tesoro di San Lorenzo, Genova (foto tratte da A. HUBER, *op. cit.*, pp. 102–107).



### 7.3.2 Il Kolumba Museum a Colonia (Peter Zumthor, 2003–2007)

*Sulla stampa quotidiana il museo diocesano di Colonia progettato da Peter Zumthor e inaugurato di recente è già celebrato come “l’Anti-Guggenheim”.*

*Per quanto semplicistica, come tutti gli slogan, questa definizione contiene qualche verità [...]. Non è tanto, o non solo, una questione di stili e di forme. È in gioco l’idea stessa di museo. Se a Bilbao, con la sua scultura al titanio, Gehry ha inaugurato un nuovo corso nell’architettura museale, concentrando l’attenzione sul foyer, quindi sugli spazi pubblici in rapporto con la città, mentre gli ambienti destinati alle collezioni, e le collezioni stesse, passavano in secondo piano [...], a Colonia Zumthor ha riportato l’enfasi sullo spazio espositivo e sul ruolo che l’architettura può svolgere nel preservare e accrescere l’aura dell’oggetto artistico<sup>31</sup>.*

Nel 1996 l’arcidiocesi di Colonia bandì un concorso per la realizzazione del nuovo Museo Diocesano, vinto l’anno seguente da Peter Zumthor.

La novità del progetto vincitore è costituita dalla sua natura di *contenitore* che, pur consentendo l’esposizione “a rotazione” di oggetti di diverse provenienze e caratteristiche, ha le qualità, formali e tecniche, di un museo permanente. La collezione del Museo è stata definita da Chiara Baglione sulle pagine di Casabella come *piuttosto inusuale*: accanto infatti alle preziose urne, ai cibori e alle opere di pittura e scultura antica sono esposti opere dell’arte devozionale popolare, dell’arte applicata e contemporanea e oggetti di design, in un allestimento “misto” dagli accostamenti insoliti. Secondo i curatori il Museo è (e, secondo noi, dev’essere) «*un luogo della lentezza, della concentrazione, della riflessione giocosa e creativa, che rende curiosi verso un universo che non si è mai visto così*»<sup>32</sup>.

«*Camminando verso il museo [...] s’intuisce subito che si a che fare con un luogo fuori dal comune, sembra fuggire dalla frenesia della città, ma al tempo stesso è perfettamente inserito nell’ambiente circostante*»<sup>33</sup>. Il tema-chiave appare la continuità e il rapporto tra *antico* e *moderno*, visibile non solo negli allestimenti ma anche nell’edificio nel suo complesso. L’area su cui sorge il Museo è caratterizzata dalle rovine di una chiesa gotica distrutta durante la Seconda Guerra mondiale e sulle quali Gottfried Böhm realizzò nel 1949 la cappella della *Madonna nelle macerie* e nel 1955 la cappella del Sacramento (oggi entrambe aggregate all’edificio). Il nuovo edificio si attesta (per volere degli ideatori del concorso) sui resti archeologici d’epoca romana rinvenuti negli anni Settanta, vicino ai quali Zumthor, come un nuovo architetto rinascimentale in continuità con la tradizione del *Weiterbauen* (“costruire in prossimità dell’antico”), ha previsto una grande *hall* delimitata da muri in mattoni. Zumthor «*succede ai costruttori del passato “senza spezzarne l’opera”*. Non il desiderio fine a se stesso di innovare o di inserire lo spazio museale nel vortice del consumo turistico di massa,

<sup>31</sup> C. BAGLIONE, *Un museo per contemplare*, Casabella n. 760, 11/2007, pp. 4–21.

<sup>32</sup> *Ibid.*

<sup>33</sup> M. DEL PRETE, *Kolumba Art Museum, Colonia. Il museo della contemplazione*, *Abitare la Terra* n. 32, 2012, p. 21.

*ma sono il rispetto verso il progetto originario e la ricerca coerente e filologica a guidare il suo paziente lavoro teso a ritrovare il tempo della storia e a creare continuità.»<sup>34</sup>*

Muri portanti di spessori rilevanti realizzati in mattoni “su misura” racchiudono e conservano i resti antichi in un unico edificio all'apparenza impenetrabile dall'esterno e accessibile solo dallo stretto passaggio d'ingresso affiancato da una parete in mattoni che nasconde il foyer dagli sguardi dell'esterno; «*al di là di questa parete si è accolti in uno spazio “altro”, isolato dal caos urbano: un ambiente aperto su una corte raccolta, delimitata da muri in calcestruzzo color sabbia, che ricordano quelli della cappella di Bruder Klaus nell'Eifel.»<sup>35</sup>* Le mura della chiesa antica proseguono in quelle dell'edificio nuovo, le antiche aperture sono ritessute nelle trame della muratura moderna, il profilo planimetrico originario ripreso nell'intreccio tra pietra e muratura.

Lo spazio principale comunica con i cosiddetti *kabinet* e questi con le torri, nei quali la differente percezione è data dallo scorrere del tempo e delle stagioni e protagonisti principali sono i dettagli (come i bassi gradini che staccano il pavimento dei *kabinet* da quello dello spazio principale, o il taglio sottile tra il pavimento dei terrazzi e le pareti) e la luce naturale penetrante da vetrate dall'alto. Nei muri sono invece ricavate le scale che collegano il piano terra della *promenade* archeologica con una pedana in legno rosso di andamento spezzato — nei quali l'ordine spaziale è dettato dai sottili pilastri in acciaio rivestiti dal cemento — con le sale al primo piano completamente prive di luce naturale, e con quelle del secondo illuminate invece da ampie vetrate da pavimento a soffitto e dalle quali si può *contemplare* la città, in un susseguirsi di spazi *aperti* e *chiusi*. Le pareti di questi spazi sono color grigio chiaro come i soffitti e i pavimenti ma con esposizioni e proporzioni differenti che riflettono e assorbono la luce in modo sempre diverso. «*Le fessure nel pavimento che attraversano queste sale permettono all'aria di circolare e anche grazie al sistema “concrete core cooling” (sistema di riscaldamento e raffreddamento delle solette in cemento mediante l'inserimento di piccoli tubi in cui scorre acqua [...]), si ottengono temperature sempre gradevoli senza l'impiego di aria condizionata»<sup>36</sup>*, una tecnologia già utilizzata da Zumthor nelle terme di Vals e nella Kunsthhaus di Bregenz.

Per stessa ammissione dell'architetto,

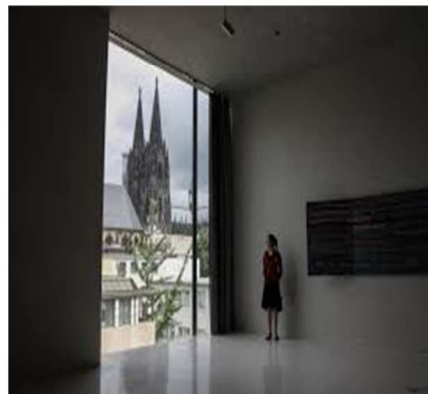
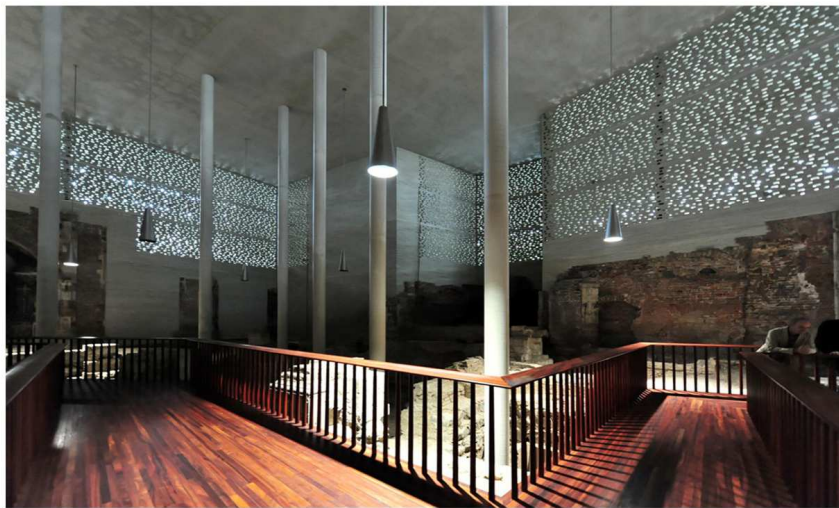
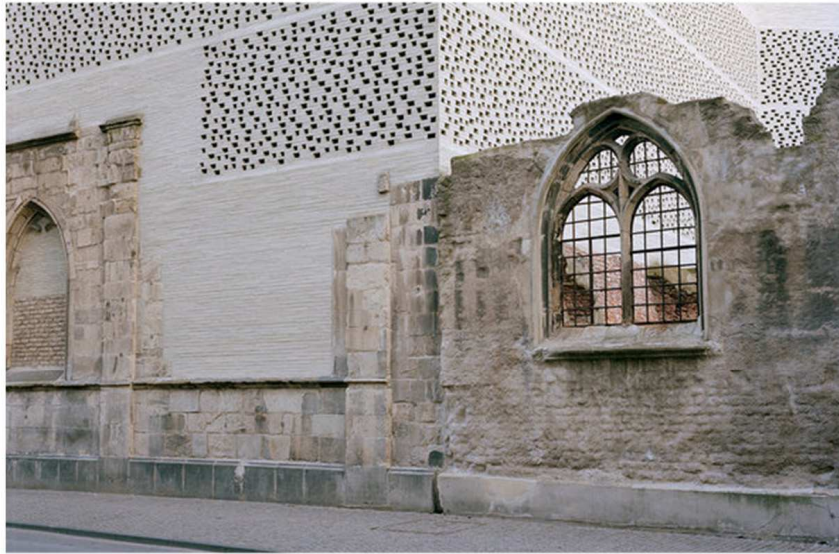
*questo è il procedimento che preferisco: dapprima pensare l'edificio come fosse una massa d'ombra e solo in un secondo tempo, come in un processo di scavo, mettere le luci, far filtrare la luce nell'oscurità. Il secondo procedimento consiste nel sistemare consapevolmente i materiali e le superfici in una certa luce. Poi bisogna guardare come riflettono i materiali e a quel punto si scelgono per creare un insieme coerente<sup>37</sup>.*

<sup>34</sup> V. DAL BUONO, *Peter Zumthor Kolumba Museum, Colonia (Germania)*, Costruire in Laterizio n. 125, 09–10/2008, p. 4.

<sup>35</sup> C. BAGLIONE, *op. cit.*, p. 4–21.

<sup>36</sup> M. DEL PRETE, *op. cit.*, p. 22.

<sup>37</sup> Citato in C. BAGLIONE, *op. cit.*, p. 4–21.



**Figura 45.** Kolumba Museum, Colonia, da [www.kolumba.de](http://www.kolumba.de).

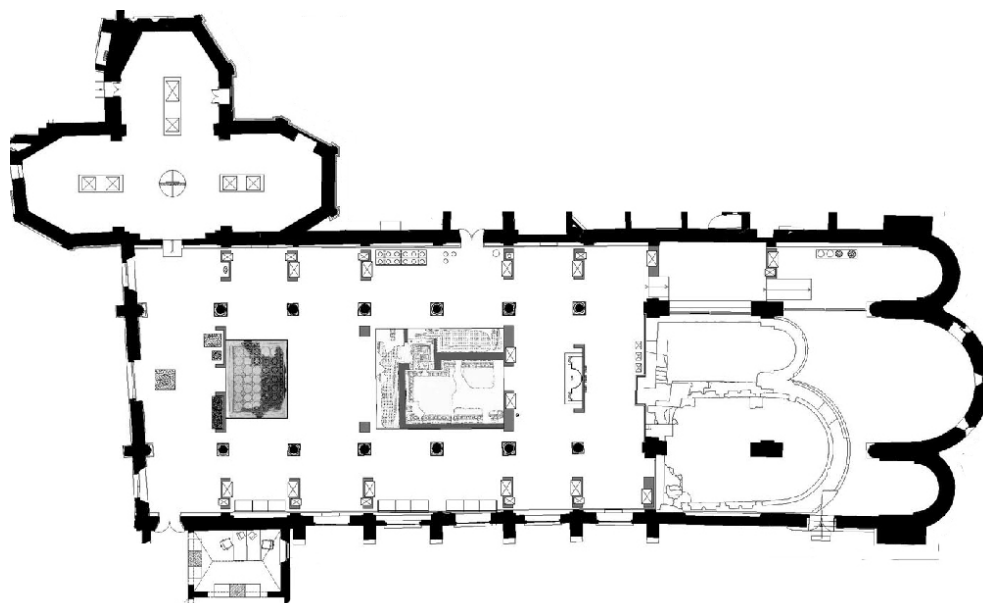
### 7.3.3 *Il Museo Archeologico di Cremona (GTRF Associati, 2008)*

Ricavato all'interno della chiesa sconsacrata di San Lorenzo e nell'attigua Cappella Meli, il Museo Archeologico di Cremona (progettato in un nuovo allestimento nel 2008 dagli architetti Giovanni Tortelli e Roberto Frassoni) raccoglie tutti i reperti rinvenuti in città a partire dall'Ottocento e prima contenuti nella sezione archeologica del Museo Civico della città.

Il complesso basilicale di San Lorenzo (l'attuale configurazione risale all'inizio del XIII secolo) sorge su un'area archeologica i cui resti più antichi risalgono all'epoca romana (I secolo d.C.): si tratta di una chiesa a tre navate concluse da altrettante absidi, con sei coppie di colonne che terminano con capitelli a motivi vegetali e sostengono la copertura a volte in muratura (le quali sostituiscono l'originaria copertura a capriate lignee). L'edificio ha avuto nel corso del tempo diverse modifiche e integrazioni: della fine del XV secolo è la realizzazione della Cappella Meli, alla seconda metà del XVI secolo invece risalgono le modifiche alla facciata "a capanna" e l'aggiunta di volute e del rivestimento lapideo.

Nell'abside, dedicata agli scavi archeologici condotti a partire dagli anni Sessanta, è visibile l'andamento delle strutture della chiesa originaria risalente al X secolo, donata dal vescovo Odelrico ai monaci benedettini per la fondazione di un monastero dedicato a San Lorenzo: si trattava di una chiesa a navata unica con transetto sporgente triabsidato e una cripta ben conservata ricavata sotto l'abside centrale. Dopo la soppressione del monastero nel 1797, la chiesa è stata sconsacrata ed adibita ad usi impropri (da deposito a palestra scolastica), che ne hanno danneggiato le strutture. Il restauro ha avuto inizio negli anni Novanta del secolo scorso.

Negli anni Sessanta del secolo scorso sono state rinvenute tracce di sepolture con significativi corredi funebri a testimonianza di una necropoli ubicata lungo la via Postumia. Circa cinquecento oggetti sono esposti in un percorso tematico diviso in tre sezioni: lo *spazio pubblico* (dove risaltano i resti del teatro), lo *spazio privato* e le *necropoli*. Al centro dello spazio espositivo sono ricostruiti i mosaici della cosiddetta *Casa del Labirinto*, costituiti dai pavimenti di quattro ambienti di una casa patrizia risalente al I secolo a.C., mentre un altro elemento di particolare interesse è la ricostruzione della nicchia centrale del ninfeo che decorava uno dei giardini della *Casa* dal quale prende il nome.



**Figura 46.** Pianta della chiesa di San Lorenzo e dell'allestimento del Museo Archeologico, da [www.gtrf.it](http://www.gtrf.it)

Nell'allestimento nelle navate laterali sono esposti invece gli oggetti relativi ai diversi aspetti della vita quotidiana (la religiosità, il gioco, la preparazione e il consumo del cibo, la cura del corpo, l'ostentazione del lusso nelle suppellettili e negli arredi, l'edilizia), in piccole vetrine inserite in pannelli metallici a tutt'altezza di colore nero; le vetrine sono poste in corrispondenza delle lesene perimetrali di sostegno delle volte di copertura. Gli oggetti di maggiore dimensione (come anfore o elementi costruttivi ceramici come mattoni o tegole) sono invece esposti tramite degli elementi di "sostegno" (specifici in base alle caratteristiche degli oggetti), realizzati con i materiali e il colore delle vetrine. Nella navata centrale invece i due lacerti di pavimentazione sono inseriti in elementi metallici neri che presumibilmente riprendono l'andamento delle murature degli edifici nei quali erano inseriti, così come il pannello sui quali sono esposti i pochi frammenti del *ninfeo*.

L'impianto di riscaldamento è presumibilmente di tipo radiante a pavimento (i pavimenti non sono quelli originali, sono evidenti i giunti di dilatazione fra diverse aree e sono presenti, sulle murature perimetrali delle navatelle laterali, *armadi* a muro metallici per gli impianti o i collettori), mentre l'impianto di illuminazione generale è ricavato nei travetti metallici posti tra pannello e pannello, ed è integrato da quella di tipo puntuale presente all'interno delle singole vetrine. L'illuminazione dell'area archeologica absidale (non accessibile) è invece affidata a elementi perimetrali posti alla base dei parapetti di divisione con lo spazio espositivo. L'assenza pressoché totale di affreschi nelle volte e nelle murature (tranne piccoli lacerti presenti nell'abside di sinistra) fa presupporre che gli interventi sulle superfici murarie si siano concentrati sulle integrazioni dei rivestimenti di colore grigio delle volte della navata centrale.

Nella Cappella Meli l'esposizione di pochi oggetti (concentrati in vetrine poste su due *tavoli*) è *supplita* dai lacerti dell'apparato decorativo presenti nelle tre absidi e nella volta. Gli affreschi sono facilmente riconoscibili e ben *delineati*, senza integrazioni apparenti realizzate con i progetti di conservazione. Il confort interno è apparso migliore di quello ambientale della chiesa, con una temperatura più alta (o umidità minore): il rilievo "sonoro" di impianti posti all'interno di nicchie perimetrali chiuse fa presupporre la presenza (forse a fini conservativi) di un impianto integrativo ad aria, anche se non si sono rilevati sulle murature elementi visibili per la diffusione. Sono bensì da rilevare — in un piccolo locale adibito, nel giorno della visita, alla Mostra 1937. *La Vittoria alata e le celebrazioni stradivariane* — condizioni di confort interno poco apprezzabili ed evidenti efflorescenze su una delle murature perimetrali.



**Figura 47.** Museo Archeologico di San Lorenzo, Cremona (foto dell'Autore).

### 7.3.4 *Il Museo del Duomo di Milano (Ernesto Brivio, 1960 – Guido Canali, 2013)*

Come per la Cattedrale di San Lorenzo a Genova, alla fine dell'Ottocento risale il progetto per un museo del Duomo di Milano utile a custodire e non disperdere il Tesoro della *Veneranda Fabbrica*. Inaugurato soltanto nel 1953 nell'ala più antica di Palazzo Reale, già nel 1960 le nove sale furono riallestite da Ernesto Brivio e il museo ampliato: oggi il Museo si articola in ventisei sale espositive (circa 2.000 metri quadrati) e quattordici aree tematiche, in un nuovo allestimento curato e progettato da Guido Canali nel 2013.

Il percorso segue un ordine cronologico, dalla fondazione del Duomo al XX secolo: l'itinerario si apre con le sale del Tesoro, la sala *delle Origini* e le sale dell'epoca viscontea e sforzesca. Le sale successive sono invece dedicate all'arte vetraria in Duomo, al Cinquecento (dove è custodita *La disputa di Gesù nel Tempio*, opera giovanile del Tintoretto), all'epoca borromaica, agli arazzi, ai modelli e ai bozzetti delle sculture del Duomo (nella cosiddetta sala *della Galleria di Camposanto*), e ai saggi in terracotta che gli scultori presentavano alla Fabbrica per poter lavorare nel cantiere della Cattedrale (nella Sala delle *Prove d'ingresso*). Concludono il percorso espositivo le sale dell'Ottocento, la sala del *Modellone* con il modello ligneo del Duomo di Milano in scala 1:22, e l'ultima sala del Novecento, dove sono esposte le formelle eseguite da Lucio Fontana e Luciano Minguzzi per il concorso del 1965 della quinta Porta del Duomo.

Le opere esposte sono di varia natura, e varia naturalmente sono i diversi sistemi di esposizione e custodia:

- il Tesoro, costituito da oggetti liturgici e di culto in uso nel Duomo dal V al XVII secolo;
- modelli architettonici: il più importante è il *Modellone*, realizzato in legno di tiglio e noce nell'arco di tre secoli a partire dal 1519;
- sculture: i sei secoli di patrimonio scultoreo e statuario sono ampiamente illustrati in molte delle sale espositive, a partire dalle opere delle scuole scultoree tardo-gotiche borgognona, renana, boema e lombarda, simboli della simbiosi e del sincretismo dei primi cinquant'anni di cantiere. Pressoché tutti i periodi storici sono rappresentati, da quella sforzesca a quella barocca, dal Liberty alle opere del Novecento;
- vetrate;
- pittura e arazzi.

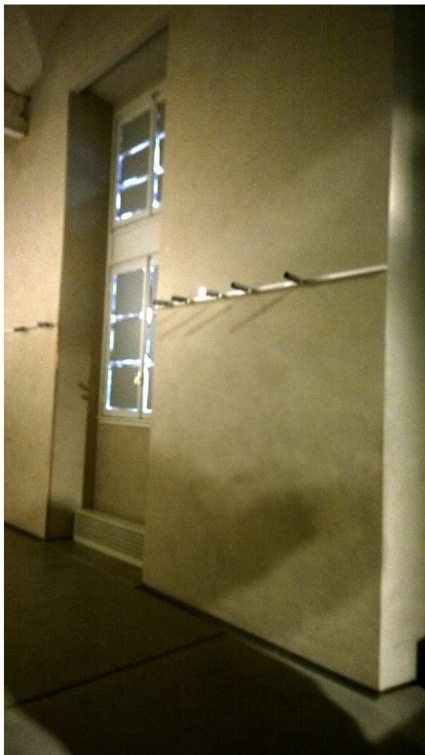
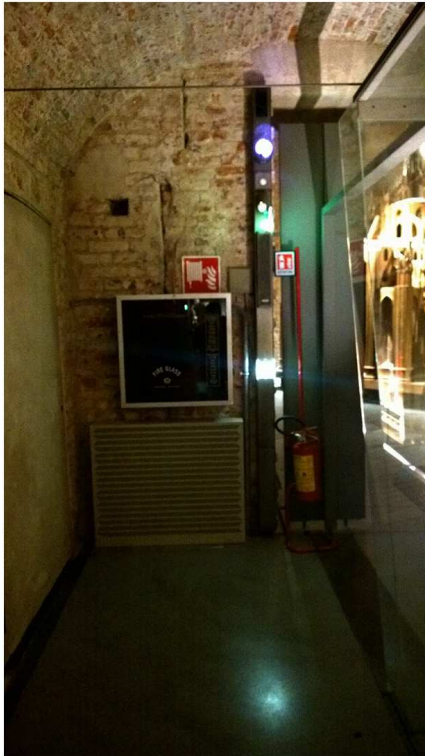
La tipologia di allestimento è varia quanto la diversa natura degli oggetti esposti. L'allestimento è realizzato, per gli oggetti di piccola-media dimensione, tramite bacheche e vetrine dalla leggera struttura metallica (e poco *appariscende*), mentre per la statuaria in marmo di Candoglia di grandi dimensioni si è sfruttata la loro "manipolazione" tramite elementi metallici (come travi e bulloni) di dimensioni ragguardevoli; la statuaria di medie-piccole dimensioni sono "sorrette"



da elementi ricavati in pannelli “di quinta” o elementi “a trave” sui quali sono poste le didascalie e la descrizione sommaria delle opere, mentre l’esposizione nella *Sala delle Prove d’ingresso* (un ambiente tra i più suggestivi) dei modelli di gesso e di terracotta realizzati per la statuaria minore, è ricavata in vetrine che occupano l’intera altezza dell’ambiente e nelle quali sono posti i piccoli elementi di illuminazione puntuale. Altro ambiente di grande “impatto” è quello circolare che contiene le opere d’arte vetraria, con l’illuminazione praticamente assente e ricavata dietro alle piccole vetrate le quali diventano fonti di luce multicolore.

L’illuminazione generale è *essenziale*, quasi liturgica, soprattutto nei primi locali all’interno dei quali è principalmente ricavata da quella generata dalle vetrine espositive e dagli elementi per la sicurezza posti in corrispondenza di tutti i vani di collegamento tra le sale. Si può notare come la grandezza e l’*impatto* degli elementi di illuminazione siano direttamente proporzionali alla grandezza delle opere esposte. L’impianto di riscaldamento è invece caratterizzato da elementi ad aria calda posti sotto le grandi finestre perimetrali completamente oscurate. Nel giorno della visita si è rilevato il loro spegnimento: è presumibile che l’impianto possa essere integrato con un sistema radiante a pavimento (soprattutto nei primi locali dove i pavimenti sono rivestiti con un materiale di tipo plastico).



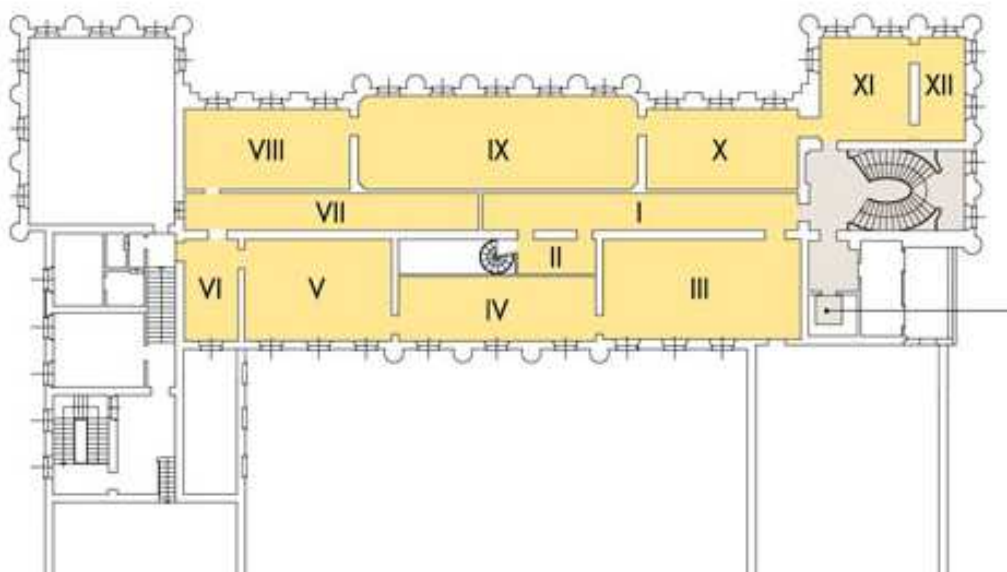


**Figura 48.** Museo del Duomo di Milano (foto dell'Autore).

### 7.3.5 *Le Collezioni Grassi e Vismara nella Galleria d'Arte Moderna di Milano (Ignazio Gardella, 1955 – Studio Gardella e Valter Palmieri, 2014)*

Le Collezioni Grassi e Vismara occupano il secondo piano della GAM (Galleria d'Arte Moderna) custodita nella Villa Reale di Milano.

L'Esposizione è sorta nel 1956 quando Nedda Mieli, vedova di Carlo Grassi, donò al Comune la collezione d'arte dell'imprenditore raccolta dai primi anni del Novecento sino al 1950. La Collezione si compone di diverse opere, dall'Ottocento italiano (Fattori, De Nittis, Boldini, gli Scapigliati milanesi), al Divisionismo (Previati, Segantini, Pellizza da Volpedo), da Manet, Van Gogh, Cézanne, Toulouse-Lautrec (che costituiscono oggi le sole presenze di questi autori nei musei milanesi) ad alcuni oggetti d'origine asiatica e alcuni dipinti dal XIV al XVIII secolo. Al Novecento appartengono invece le opere dei protagonisti delle avanguardie (su tutti Boccioni e Balla), di quelli tra le due guerre mondiali, come Picasso, Morandi, De Pisis, Tosi, e del secondo dopoguerra, come Pirandello, Sironi, Marini.



**Figura 49.** Pianta della Collezione Grassi–Vismara, piano secondo della Galleria d'Arte Moderna, da [www.gam-milano.com/it/le-collezioni/il-percorso-espositivo](http://www.gam-milano.com/it/le-collezioni/il-percorso-espositivo).

L'allestimento permanente di Ignazio Gardella del 1955 è stato restaurato nel 2014, anno in cui il percorso espositivo è stato interamente ripensato per accogliere anche la Collezione Giuseppe Vismara, precedentemente esposta al piano terra. All'anno dell'affidamento del progetto, Gardella aveva da poco concluso un impegno assai significativo proprio nelle scuderie della Villa Reale quasi completamente distrutte durante la guerra: il Padiglione d'Arte Contemporanea (1947–1953), che doveva ospitare quella parte novecentesca delle collezioni del-

la GAM che non poteva avere “visibilità” nelle sale della Villa. Alla leggerezza e alla libertà d’intervento del Padiglione si contrappongono i vincoli della Galleria Grassi, ricavata negli angusti locali di sottotetto.

Fulcro dell’allestimento è lo scalone che collega il primo al secondo piano, totalmente riprogettato in luogo della scala di servizio esistente, dove iniziare già ad esporre delle opere: un grande pilastro centrale regge una scala ovoidale *barocca e manierista*, nel cui vano sono ricavate vetrine dove sono esposti oggetti di arte extra-europea.

Come visto, le sale si susseguono in un percorso circolare e prendono luce da una serie di piccole finestre rivolte verso il cortile e il parco di Porta Venezia. Le pareti sono “sottolineate” da due *espedienti*, decorativi e funzionali: a terra, uno zoccolino a filo muro in pietra di lavagna che continua in alzato ad incorniciare le porte, smussate ad angolo per “addolcire” le aperture; in alto invece, una fascia continua in legno serve da raccordo con il soffitto, ma anche a nascondere (in un sistema all’epoca ingegnoso) gli impianti di illuminazione e di allarme, nonché il sistema di “aggancio” delle opere sospese a binari nascosti tramite leggerissimi cavi d’acciaio (e dunque “spostabili” a seconda delle esigenze). Nella fascia superiore sono ricavate anche i sistemi di oscuramento delle finestre tramite semplici tende avvolgibili.

L’illuminazione artificiale è garantita da lampade a bulbo in vetro satinato bianco agganciate alle pareti tramite bracci metallici dalla geometria sinuosa, disegnate dallo stesso Gardella.



**Figura 50.** Collezioni Grassi–Vismara, Galleria d'Arte Moderna, Milano (foto dell'Autore).

## 7.4 Benessere dei visitatori vs conservazione

Il benessere dell'uomo può essere definito come «*la condizione psicofisica di soddisfazione da parte del soggetto nei confronti del microclima. I fattori che influenzano la sensazione di benessere del soggetto sono funzione della temperatura dell'aria ambiente [...], la temperatura radiante delle superfici [...], l'umidità relativa dell'aria [...], la velocità relativa dell'aria rispetto al soggetto.*»<sup>38</sup>

Si cercherà di rispondere in questi paragrafi ad una delle principali questioni sorte nel dibattito più recente: *Le norme e le linee-guida sul comfort interno e sulla conservazione museale sono sempre utilizzabili e possono essere sempre rispettate simultaneamente?*

### 7.4.1 Temperatura e UR: il riscaldamento e la ventilazione

Primo punto indagato è quello degli impianti di riscaldamento e condizionamento dei locali.

In un ambiente chiuso, l'aria calda risale fino al soffitto e si distribuisce all'interno dell'ambiente in base alla sua densità: l'aria calda e più leggera negli strati superiori, quella fredda e più densa al livello del pavimento.

L'equilibrio creatosi può però essere turbato dalla presenza di corpi scaldanti, un processo analizzabile attraverso quattro esempi:

- ° caso 1: presenza di corpi scaldanti o illuminanti in un ambiente in equilibrio. Questi corpi, se sufficientemente potenti, possono innescare un ciclo interno all'ambiente nel quale l'aria calda raggiunge il soffitto e la restante massa d'aria spostata da questa gradualmente discende (se il bilancio rimane invariato, il flusso ascendente è pari a quello discendente). Se la sorgente è modesta e l'aria stratificata, il moto convettivo si interrompe differenziandosi nel punto in cui la densità dell'aria è pari o minore: tutti gli strati superiori (ad esempio, soffitti affrescati) non sono soggetti al fenomeno. Se invece la fonte di calore è posta ad un livello intermedio, il flusso discendente è interrotto al livello della sorgente dagli strati d'aria freddi e densi sottostanti: in questo caso, gli elementi posti sotto gli elementi sono *protetti* dai moti convettivi.

- ° Caso 2: pavimento più freddo o soffitto più caldo dell'aria in un ambiente in equilibrio. Gli scambi aria-superfici *consolidano* la stratificazione atmosferica, mantenendo l'aria immota;

- ° caso 3: pavimento più caldo o soffitto più freddo dell'aria in un ambiente in equilibrio. L'aria a contatto con una superficie più calda genera celle convettive ascendenti associate ad aria discendente, mentre l'aria a contatto con superfici fredde diventando più densa scende, formando rivoli di aria fredda in discesa uniti alla risalita convettiva e generando un continuo *rimescolamento* micro-atmosferico;

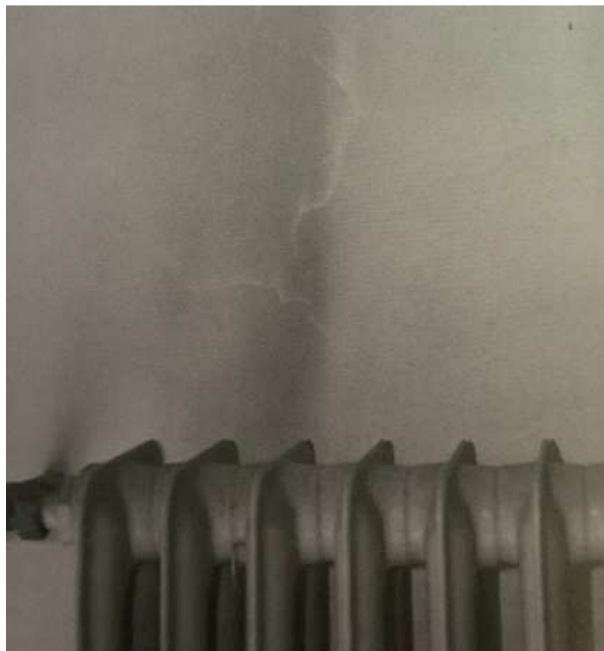
---

<sup>38</sup> A. BERNARDI, *op. cit.*, p. 64.

◦ caso 4: muri più caldi dell'aria in un ambiente in equilibrio. Gli scambi di calore generano uno strato limite interno (o *IBL*, *internal boundary layer*); l'aria calda *alimenta* lo strato d'aria al di sotto del soffitto, sospingendo lentamente verso il basso l'intera massa d'aria. Se i muri sono invece più freddi, il flusso dell'*IBL* è diretto verso il basso e l'aria fredda si accumula sopra il pavimento.

Le migliori condizioni in un ambiente sono raggiunte «quando l'inerzia termica di muri, pavimento e soffitto sono tra loro simili; viceversa, la stabilità interna cambia stagionalmente.»<sup>39</sup> Nel caso di una chiesa ad esempio, i soffitti reagiscono alle variazioni stagionali nel breve periodo, mentre i pavimenti in uno più lungo: di conseguenza, in estate e in inverno soffitti e pavimenti a diversa temperatura relativa generano all'interno dell'ambiente una stratificazione termica verticale, e la stabilità interna può essere ripristinata tramite l'installazione di sistemi HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*).

L'efficienza e la funzionalità di un impianto di riscaldamento appaiono legate a due aspetti, la turbolenza generata dalle particelle d'aria e il suo rapporto con gli oggetti esposti e le strutture da salvaguardare. Si analizzi ad esempio il caso di un impianto a radiatori (v. Fig. 51).



**Figura 51.** Da D. CAMUFFO, *Microclimate for cultural heritage*, p. 328.

L'area di colore scuro presente sopra il corpo scaldante — un fenomeno tutto sommato frequente in questa tipologia d'impianto — è generata dall'effetto combinato di tre fenomeni (termoforesi, impatto aerodinamico, deposito browniano<sup>40</sup>); il movimento dell'aria (e l'eventuale predominanza di uno dei fenomeni

<sup>39</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for cultural heritage*, p. 22. Testo originale: «when the thermal inertia of walls, floor and roof are similar between them; when they are different, the internal stability changes seasonally», traduzione dell'Autore.

<sup>40</sup> Il termine *termoforesi* indica il “trasporto dovuto ad un gradiente di temperatura”: la presenza di gradienti termici causa un trasporto di particelle di dimensione submicronica ( $0,01 < d < 1 \mu\text{m}$ ) verso la pare-



sugli altri) è riconoscibile dalla *configurazione* delle bande scure presenti sopra il radiatore e nella presenza localizzata di micro-fratture. Oltre alle radiazioni infrarosse che colpiscono direttamente le superfici, l'attenzione è da porre quindi sulla tendenza del corpo scaldante al deposito di particelle sulle superfici stesse; in conclusione *«condizioni microclimatiche ideali per ridurre il problema del deposito del particolato aerotrasportato sono quelle che permettono la stratificazione termica dell'aria interna in maniera tale da contenerne la turbolenza e ridurre i moti convettivi. La stabilità atmosferica è raggiunta quando la temperatura aumenta con l'altezza e non vi sono fonti termiche o disequilibri termici che posso indurre moti convettivi.»*<sup>41</sup>

Una possibile soluzione progettuale conseguenza dell'assunto — benché realizzare distribuzioni spaziali regolari di temperatura (e umidità) non sia semplice — è che la temperatura del pavimento sia inferiore a quella dell'aria, e di conseguenza che la temperatura del soffitto sia maggiore di quella dell'aria; fine principale *«resta sempre quello di realizzare condizioni termo-igrometriche il più costanti possibili, sia nel tempo, sia nello spazio.»*<sup>42</sup>

Sfortunatamente, i sistemi di riscaldamento, con o senza ventilazione forzata, sono inadeguati a mantenere temperature omogenee nello spazio e costanti nel tempo. Un'altra soluzione contemplabile al problema della variabilità temporale può essere quella di garantire un'emissione di calore modesta ma ininterrotta durante le stagioni e le giornate (rispondendo alle necessità contingenti stagionali), abbandonando quei sistemi caratterizzati da brevi ed elevate emissioni termiche. Secondo problema è quello della divergenza fra valori ideali per il *comfort* interno dei visitatori e i valori ideali alla conservazione delle strutture o degli oggetti esposti, a cui è possibile porre rimedio in alcuni casi interponendo lastre di vetro o creando differenti microclimi.

Altro parametro-chiave da mantenere in teoria il più possibile costante e omogeneo è l'umidità relativa; in pratica però *«esistono importanti variazioni e seri cambiamenti, specialmente durante le ore mattutine quando porte e finestre sono aperte per le operazioni di pulizia, o durante il periodo di accensione del sistema*

---

te (se la sua temperatura è più bassa) o lontano da questa (se la temperatura è più alta). Il processo è dovuto al fatto che *«in presenza di un gradiente termico in atmosfera una particella riceve urti più violenti delle molecole d'aria nella zona più calda e urti meno violenti da quelle nella zona più fredda»*, da A. BERNARDI, *op. cit.*, p. 88.

Il deposito browniano (particolarmente importante per le particelle con diametro compreso fra 0,001 e 0,01  $\mu\text{m}$ ) è dovuto al moto irregolare delle particelle dovuto al "bombardamento termico" da parte delle molecole d'aria in agitazione corrispondente alla loro temperatura e ai conseguenti impatti.

<sup>41</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for cultural heritage*, pp. 328–329. Testo originale: *«The ideal microclimatic conditions to reduce deposition of airborne particulate matter are when the indoor air is thermally stratified in order to suppress turbulence and reduce convective motions. Atmospheric stability is reached when temperature increases with height and no heat sources or thermal imbalances that could induce convective motions are present»*, traduzione dell'Autore.

<sup>42</sup> A. BERNARDI, *op. cit.*, p. 22.

di riscaldamento.»<sup>43</sup> In molti casi l'utilizzo di umidificatori mitiga o compensa cambiamenti di temperatura, ma si tratta di un metodo molto spesso mal bilanciato e dai risultati *oscillanti*.

Prima di poter analizzare se è possibile determinare un livello di UR da assicurare agli ambienti possono essere elencati i valori di umidità *ottimali* per i principali materiali igroscopici, sebbene la necessità di determinare *standard* abbia nel tempo ricevuto forti critiche da vari autori e studi specifici. Valore minimo di UR corrispondente alla crescita di muffe è riconosciuto dal Thomson come quello compreso fra il 65% e il 70%; «*possono essere consentiti valori di temperatura invernale in edifici e chiese storiche al di sotto di 10°C sebbene la corrispondente umidità possa essere pari all'80%*»<sup>44</sup>; limite minimo al quale avvengono processi di screpolature, rottura di fibre e danni da maggior fragilità — per materiali come legno, osso, avorio, pergamena e legature in pelle di libri — è pari al 40%. L'UR deve pertanto «*preferibilmente essere superiore al 45% e non essere inferiore al 40%*»<sup>45</sup>

Lo stesso rapporta il livello di UR interno alla zona climatica dello spazio museale (v. Tab. 14):

**Tabella 14.** Livelli di UR in relazione alle caratteristiche climatiche di progetto, da G. THOMSON, *op. cit.*, p. 88.

65%	Zone umido-tropicali. Valore troppo alto per poter assicurare stabilità ad elementi in ferro e in bronzo. La circolazione dell'aria assume molta importanza
55%	In Europa, valore raccomandato per pitture, arredi e sculture lignee. Potrebbe causare fenomeni di condensazione in edifici antichi, specialmente in aree interne europee e del Nord America
45–50%	Valore “di compromesso” contro il fenomeno di condensazione, il migliore per la conservazione di tessuti e opere cartacee esposte alla luce
40–45%	Valore ideale per le collezioni costituite unicamente da elementi metallici

Per il raggiungimento di valori “ottimali” l'uso di de/umidificatori posti in precisi punti degli ambienti «è *sconsigliabile, perché nelle zone vicine ai punti d'immissione del vapore i livelli igrometrici sono particolarmente alti, creando pericolose disomogeneità*»<sup>46</sup>: problema comune dei sistemi HVAC più diffusi è che il controllo di temperatura e UR avviene tramite sensori contenuti «*in piccole*

<sup>43</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for cultural heritage*, p. 108. Testo originale: «*Several variations exist and dramatic changes occur, especially in the morning when windows and doors are opened during cleaning or when the heating system is switched on*», traduzione dell'Autore.

<sup>44</sup> G. THOMSON, *op. cit.*, p. 87. Testo originale: «*The temperature in historic house and churches can be allowed to fall to 10°C during winter even though the corresponding humidity might be 80%*», traduzione dell'Autore.

<sup>45</sup> *Ibidem*. Testo originale: «*RH should preferably be above 45% and should not be allowed to fall below 40%*», traduzione dell'Autore.

<sup>46</sup> A. BERNARDI, *op. cit.*, p. 23.

*scatole di plastica a contatto con murature aventi un'alta inerzia termica o a temperature generalmente diverse rispetto a quella dell'aria. In aggiunta, quando dell'aria umida è immessa in un ambiente per bilanciare la temperatura e ottenere il livello di UR prescelto, muri, soffitti e arredi assorbono umidità causando disequilibri.»<sup>47</sup>*

Soluzione alternativa ai sistemi “attivi” — costosi e sofisticati, spesso progettati e gestiti in maniera non corretta, con eccessivi apporti termo-igrometrici — può essere la seguente: «*Si deve cercare di sfruttare al massimo le sue [dell'ambiente, NdA] potenzialità nella stabilizzazione del microclima, aiutandolo con dei rimedi possiamo definire “passivi”, meno invasivi, quali ad esempio coibentazione termica, schermatura della radiazione solare diretta, utilizzo di materiali come il legno che aiutano a mantenere un'UR costante»<sup>48</sup>. Anche i sistemi più sofisticati per il controllo climatico di un ambiente — che permettono il mantenimento a un livello compreso tra due soglie prescelte — causano infatti continue fluttuazioni intermedie tra il livello inferiore e quello superiore. Questo fenomeno appare in contrasto con la variabilità del range dell'UR, la quale frequentemente rimane in una limitata percentuale in un periodo relativamente breve: di conseguenza la *perturbazione* causata dall'umidità si estingue sullo strato superficiale non raggiungendo quelli più interni, e i maggiori impatti negativi di cicli ripetuti si hanno pertanto su oggetti sottili o sui rivestimenti superficiali più sensibili, come tappezzerie, rivestimenti pittorici, pitture su tela e lacche.*

I sistemi ad aria calda o fredda possono essere utilizzati a patto che l'aria «*e l'umidità siano entrambe immesse nell'ambiente da pochi punti localizzati sui muri, vicino alle opere, non dal pavimento evitando in questo modo il rischio di dispersione e mescolamento della sporcizia.»<sup>49</sup>*

Un'altra soluzione, la cosiddetta “ventilazione meccanica controllata” (o *adaptive ventilation*, v. fig. 52) applicata ad un edificio storico, è quella<sup>50</sup> sviluppata soprattutto nel Nord Europa: consiste nell'installazione di corpi deumidificanti *gestiti* da sensori esterni ed interni misuranti le caratteristiche termo-igrometriche dell'aria; principio cardine del sistema è quello di «*attuare la ventilazione unicamente quando l'umidità specifica dell'aria interna è più alta di quella esterna. Ugualmente importante è non attivare la ventilazione quando l'US esterna è maggiore.»<sup>51</sup>* In un caso specifico, la chiesa svedese di Hangvar, il

<sup>47</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for cultural heritage*, p. 109. Testo originale: «*In a small plastic case in contact with the wall that has a large thermal inertia and a temperature generally different from that of the air. In addition, when moisture is blown inside a room to balance the temperature and obtain the selected RH level, walls, ceiling and furniture will absorb moisture, causing unbalances*», traduzione dell'Autore.

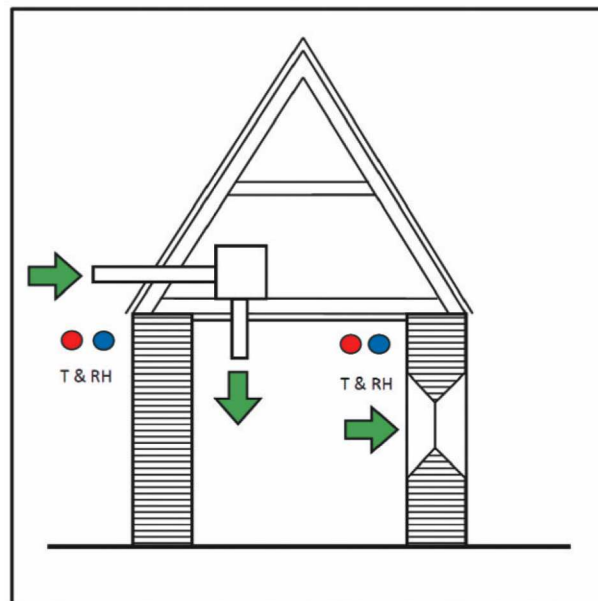
<sup>48</sup> A. BERNARDI, *op. cit.*, p. 28.

<sup>49</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for cultural heritage*, p. 110. Testo originale: «*The warm or cold air and the moisture are neither blown from a few points located on the walls, close to paintings, nor from the floor, with the risk of mixing and disperse dustiness*», traduzione dell'Autore.

<sup>50</sup> M. WESSBERG, P. K. LARSEN, T. BRÖSTROM, *Solar energy augmented adaptive ventilation in historic buildings*, [www.nsb2014.se/wordpress/wp-content/Historical\\_Buildings](http://www.nsb2014.se/wordpress/wp-content/Historical_Buildings), pp. 648–655.

<sup>51</sup> Ivi, p. 648. Testo originale: «*The controlling principle of adaptive ventilation is to ventilate only when the mixing ratio (MR), i.e. grams of water vapor per kg of dry air (g/kg), inside the building is higher than outside. Equally important is not to ventilate when MR outside is higher*», traduzione dell'Autore.

sistema installato nel giugno del 2012 prevede il pre-riscaldamento tramite energia fotovoltaica (25 m<sup>2</sup> di pannelli) dell'aria immessa nell'edificio durante la notte (quando è più secca ma più fredda di quella interna) attraverso un *ventilatore (fan)* elettrico. Monitorati prima e dopo l'installazione del sistema, il livello medio di UR ha subito nell'arco di circa due anni un decremento pari al 6% (dall'81% al 76%), il livello di US un decremento pari a 0,6 g/kg (da 6,5 g/kg a 5,9 g/kg) mentre la temperatura è rimasta sostanzialmente invariata.



**Figura 52.** Schema di *ventilazione meccanica controllata*, da P. KLENZ LARSEN, M. WESSBERG, T. BROSTROM, *Adaptive ventilation for occasionally used churches*, 3<sup>rd</sup> European Workshop on Cultural Heritage Preservation, EWCHP 2013, p. 55.

#### 7.4.2 *Le diverse tipologie di riscaldamento*

Dalle considerazioni ricavate dalla campagna di monitoraggio climatico esposto nel capitolo 5 si può desumere che le stagioni invernali di Bellano siano caratterizzate da basse temperature ma valori particolarmente alti di umidità relativa. I “problemi” tipici di queste regioni (aggravato nel caso di frequenti e abbondanti piogge) sono appunto l'eccessiva umidità (esterna e soprattutto interna) e tutti i fenomeni di degrado ad essa legati e già esposti.

In questi casi «*l'UR interna può essere controllata meglio e con minor rischio con un sapiente uso del sistema di riscaldamento piuttosto che con umidificatori e deumidificatori che possono avere conseguenze incontrollabili.*»<sup>52</sup> La scelta del sistema più efficace ai fini conservativi e del comfort va però attentamente valutato sulla base della fonte di umidità nelle strutture: nel caso di risalita capillare o di infiltrazione infatti «*una deumidificazione interna per riscaldamento, ventila-*

<sup>52</sup> D. CAMUFFO, *Il riscaldamento nelle chiese e la conservazione dei beni culturali*, Electa, Milano 2006, p. 72.

zione o altra causa è dannosa poiché provoca la formazione e la crescita di sali in superficie»<sup>53</sup>, mentre nel caso di umidità da condensazione è più utile deumidificare le strutture mediante riscaldamento e/o ventilazione.

Nel caso specifico di San Nicolao si sono confrontati i valori di US ricavati dai dati rilevati esternamente con quelli medi rilevati all'interno tramite psicometro nelle giornate del 02 ottobre 2015 e del 13 gennaio 2016.

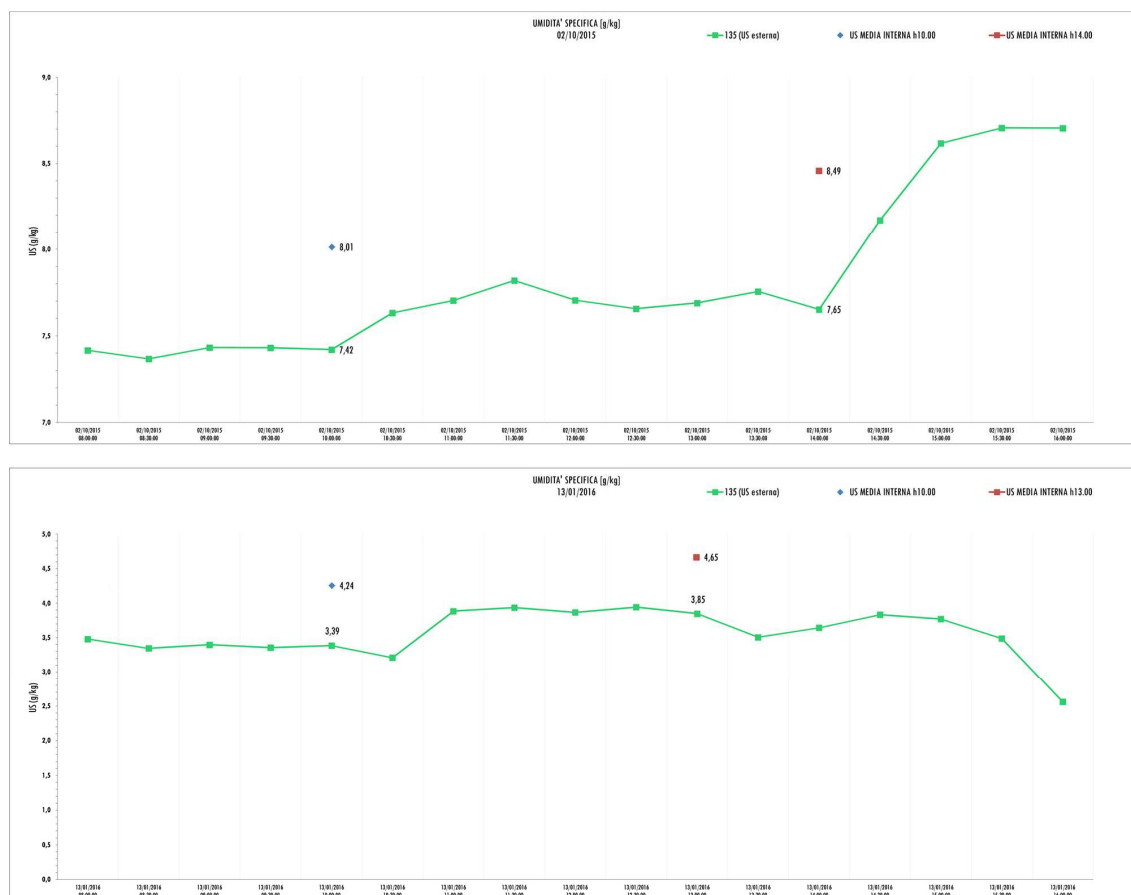


Figura 53. Confronto tra i valori di US medi interni ed esterni rilevati il 02 ottobre 2015 e il 13 gennaio 2016.

Prima di passare al tema dell'illuminazione si vogliono brevemente descrivere diversi tipi di riscaldamento utilizzabili negli edifici storici: per ciascuno sono riportati — a seconda della loro invasività, dei benefici e degli effetti sulle strutture — pregi e difetti, un'analisi utile per la scelta del sistema più adatto da installare nell'edificio.

### 1. Nessun riscaldamento

L'assenza di riscaldamento (per esempio, in edifici ricavati in grotte naturali scavate e adattate all'uso ecclesiastico) beneficiano in parte dell'inerzia termica delle strutture

<sup>53</sup> *Ibid.*

Pregi: nessun costo di impianto e di manutenzione; nessuna produzione di inquinanti; nessun impatto visivo

Difetti: nessuna protezione dai fenomeni atmosferici; eccesso di umidità in tutte le *forme* (particolarmente soggetti sono gli affreschi e i dipinti); situazione spesso precaria; basso comfort termico

## 2. Riscaldamento “fai-da-te”

Questa tipologia di riscaldamento è installata senza l’ausilio di esperti, consistente principalmente in bruciatori o stufe occasionali a combustibili fossili o elettrici

Pregi: ---

Difetti: talvolta estremamente pericoloso per la conservazione e per gli utenti; significativi sbalzi termo-igrometrici temporali e spaziali; forti moti convettivi e conseguente deposito di fumi e polveri sospese; invasività e danno alle strutture; basso comfort termico

## 3. Riscaldamento ad aria calda

L’aria calda è immessa negli ambienti tramite griglie a pavimento, a parete o generatori pensili. L’aria può essere esterna, ricircolata o una loro combinazione. L’utilizzo più frequente è quello saltuario. Mira a riscaldare l’ambiente e le persone.

Pregi: riscaldamento rapido; bassi costi di esercizio

Difetti: maggiori turbolenze dell’aria; rumori di fondo (in presenza di impianti ad aria forzata); gradienti termo-igrometrici dipendenti dalle caratteristiche dell’aria immessa e dalla sua velocità; con uso continuo, l’UR tende a diminuire; invasività degli impianti e distruzione delle strutture; in caso di aria umidificata «è molto difficile, se non impossibile, bilanciare la quantità di acqua da aggiungere all’aria calda, in quanto da un lato si attenua il forte abbassamento di UR nell’aria, ma dall’altro si aumenta il rischio di condensazione sulle superfici fredde»<sup>54</sup>

## 4. Sorgenti radianti ad alta temperatura

I visitatori sono riscaldati dalla radiazione infrarossa emessa da sorgenti ad alta temperatura. I corpi scaldanti agiscono a distanza, sono sospesi a parete o a soffitto, e possono essere a combustione diretta di gas o elettrici

Pregi: riscaldamento rapido; ridotti moti convettivi nella zona illuminata; adatto nella versione elettrica per il riscaldamento localizzato (a quantità di radiazione infrarossa specifica); bassi costi di esercizio

Difetti: le opere d’arte non devono essere colpite dalla radiazione infrarossa; possibile invasività dei corpi scaldanti sulle strutture e sulle opere; moti convettivi e forti annerimenti nelle zone superiori ai corpi scaldanti; necessità di interventi sulle strutture per l’installazione dell’impianto; forte impatto visivo; i sistemi a combustione di gas generano inquinanti dannosi; pericolosità

---

<sup>54</sup> Ivi, p. 102.

d'incendio ed esplosione

### 5. Temperierung

Il *temperierung* consiste in tubi d'acqua calda o resistenze elettriche posti a parete nello strato sub-superficiale, ad un'altezza da terra compresa fra 100 e 150 cm: «*Si forma così una fascia muraria scaldante, con un concetto simile al pavimento radiante*»<sup>55</sup>. Va tenuto in funzione per l'intera stagione invernale; scaldava prima le strutture, poi l'ambiente e infine le persone

Pregi: diminuzione del rischio di condensazione sulle pareti; a funzionamento continuo, evita cicli termo-igrometrici; basso rischio di sbalzi termici; nessun impatto visivo; più efficace in edifici di piccole dimensioni

Difetti: moti convettivi d'aria lungo la fascia muraria scaldata; in caso di utilizzo discontinuo, necessità di acqua ad alta temperatura e rischio di cicli di ricristallizzazione alle murature; installazione molto invasiva; forti gradienti all'interno delle murature; installazione impraticabile in murature di interesse storico-artistico

### 6. Elementi scaldanti per convezione a bassa temperatura

Sono costituiti principalmente da termosifoni con radiatori o da termoconvettori a battiscopa.

I radiatori operano per ventilazione naturale e sono posti in alcuni punti dell'edificio, generalmente sulle pareti perimetrali, lontano o vicino alle persone. Possono funzionare ad acqua calda o ad aria (termoconvettori); prima riscaldano l'ambiente, poi le persone

Pregi: riscaldamento "di base" dell'edificio; le persone beneficiano di calore irradiato o dell'aria calda; basso rischio di sbalzi termici con impianto "in continuo"; il sistema a battiscopa può essere utilizzato in maniera localizzata in prossimità delle sedute dei visitatori

Difetti: con impianto attivo il livello di UR può abbassarsi eccessivamente; con utilizzo intermittente o discontinuo possono generarsi cicli termo-igrometrici; moti convettivi sopra i corpi scaldanti e conseguenti possibili annerimenti e depositi di polvere; impatto visivo (nel sistema a radiatori); invasività d'installazione

### 7. Pavimento radiante

Il sistema è costituito da elementi scaldanti posti all'interno della struttura del pavimento con tubature di acqua calda o resistenze riscaldate elettricamente.

Per evitare moti convettivi e ridurre la turbolenza generata dell'aria, «*il pavimento dovrebbe idealmente irradiare senza trasferimento di calore attraverso conduttività all'aria, o interessare un'area limitata. Per questo motivo, dovrebbero essere preferiti materiali con alta emissività all'infrarosso e bassa conducibilità superficiale. Molti materiali sono buoni emettitori — per esempio la dolomite (96%), granito (93%), mattone (93%), legno di quercia (90%) — e*

---

<sup>55</sup> Ivi, p. 168.

*hanno differenti conducibilità»*<sup>56</sup>, un sistema che necessita però di diverse ore per riscaldare lo strato superficiale e raggiungere l'efficienza di regime  
 Pregi: riscaldamento abbastanza omogeneo, con lente variazioni temporali; se continuo, costituisce un riscaldamento “di base” e tutte le superfici ne beneficiano; generalmente confortevole; non impattante visivamente  
 Difetti: l'UR può abbassarsi eccessivamente (tranne nei climi umidi); moti convettivi dell'aria soprastanti il pavimento; impraticabile nel caso di pavimentazioni storico-artistiche

Un'altra soluzione adottabile è quella del cosiddetto riscaldamento *localizzato*, consistente nell'individuare zone termiche a riscaldamento minimo ad esempio, nelle chiese delimitandolo ai soli banchi (utilizzabile nel periodo invernale solo in combinazione con abbigliamento *pesante* e per un periodo relativamente limitato), o riscaldando il pavimento unicamente nelle aree fruibili dal pubblico nel solo periodo di affluenza tramite acqua calda, tipologia caratterizzata da un basso rischio di danno per affreschi, pitture, statue e altre decorazioni.

Una particolare tipologia di riscaldamento per la conservazione delle chiese (adattabile nel caso di San Nicolao) è stata sviluppata negli ultimi anni tramite il progetto europeo *Friendly-Heating*. In sostituzione o ad integrazione di impianti “centralizzati” spesso invasivi e impattanti sulle strutture dell'edificio, questa tipologia prevede il riscaldamento localizzato di alcune aree specifiche, in particolare modo quelle direttamente occupate dai fedeli. La limitata estensione dell'area di impiego dei sistemi utilizzati deve prevedere da un lato tutti gli accorgimenti tecnici necessari per non far disperdere il calore immesso, e dall'altro genera un minore impatto sulle opere custodite e sulle superfici stesse dell'edificio (direttamente proporzionale all'estensione del sistema). Il riscaldamento può avvenire tramite:

- ° sorgenti radianti a bassa temperatura (da 40° a 70°C) distribuite sotto le sedute dei fedeli per «*soddisfare la domanda fisiologica di calore delle diverse parti del corpo in modo differenziato*»<sup>57</sup>;
- ° fogli scaldanti e termotappeti per il riscaldamento di piedi, gambe e mani. Gli elementi sono costituiti da granuli di grafite stesi su un tessuto in fibra di vetro e da fogli plastici superficiali; «*Al passaggio della corrente, la grafite si surriscalda e la temperatura massima è autoregolata dalla resistenza stessa dei granuli. Poiché il valore della resistenza dei granuli aumenta con la T, l'intensità della corrente viene corrispondentemente ridotta, col vantaggio che la T del foglio si autolimita naturalmente a un certo valore di esercizio*»<sup>58</sup>, evitando così rischi di incendio o scottature;

---

<sup>56</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for cultural heritage*, p. 32. Testo originale: «*The floor should ideally radiate without transferring heat via conductivity to the air or limited to a minimum extent. For this reason, materials with high IR emissivity and low surface conductivity should be used. Several materials are good emitters, for example dolomite that reaches 96% emissivity; granite 93%; brick 93%; oak 90%, and have a different conductivity*», traduzione dell'Autore.

<sup>57</sup> D. CAMUFFO, *Il riscaldamento nelle chiese e la conservazione dei beni culturali*, p. 218.

<sup>58</sup> Ivi, pp. 218–220.



° per il celebrante e il coro si utilizzano infine dei termotappeti, costituiti da un foglio o una serpentina scaldante inseriti tra due strati, uno isolante sul fondo e uno con funzione di calpestio superiormente.

### 7.4.3 L'illuminazione

Sebbene ai fini della conservazione l'illuminazione migliore sia quella con massima emissione d'energia nel visibile, dalle considerazioni esposte nei capitoli precedenti si può stabilire che «*non esiste una sorgente di luce che sia del tutto priva di effetti sulla conservazione di un bene artistico.*»<sup>59</sup> Prima scelta progettuale è quindi quella di compensare le necessità di illuminazione con i suoi effetti, minimi ma comunque non eliminabili interamente, sulle opere.

Gli elementi di illuminazione dovrebbero riprodurre lo spettro della luce solare, o per gli allestimenti almeno quello corrispondente ai colori delle opere esibite. Nel campo della conservazione e degli allestimenti museali, l'illuminazione comporta tre tipi di problemi: «*una corretta visione e godimento dei colori, gli effetti diretti e indiretti dei fotoni sulle opere esibite, e i moti d'aria convettivi e i depositi generati dalle fonti di luce.*»<sup>60</sup> La riproduzione esatta della luce solare e di tutte le sue variazioni quotidiane è difficilmente raggiungibile: *Quale luce utilizzare allora per l'illuminazione di un affresco, o in un ambiente espositivo?*

Primo principio da perseguire è quello dell'utilizzo di luci capaci di assicurare da un lato una buona riproduzione dei colori, dall'altro di generare il minimo danno possibile. In molti oggetti con superfici foto-sensibili, lo spettro di sensibilità al danno decresce proporzionalmente dall'ultravioletto all'infrarosso; d'altro canto, come già visto, la parte infrarossa dello spettro influisce maggiormente nell'incremento termico delle superfici, meno per alterazioni cromatiche o per altri effetti chimici. Un parametro da valutare è il cosiddetto *CRI* (*Colour Rendering Index*, o  $R_a$ ), determinato dalla distribuzione *spettrale* della luce: le lampade alogene ad esempio, pur essendo utilizzate come riferimento (con un valore di  $R_a$  pari a 100), hanno un picco in corrispondenza dell'infrarosso e pertanto surriscaldano le superfici e dissipano calore nell'ambiente.

Altre tipologie di lampade sono:

° le lampade ad incandescenza: hanno uno spettro continuo, un valore di CRI vicino a 100 e favoriscono la resa di colori caldi, come l'arancione e il rosso, mentre quelle alogene hanno come già visto una bassa emissione UV ma alte emissioni IR (e conseguenti surriscaldamenti delle superfici colpite), alte dispersioni termiche e quindi alti consumi; l'efficienza luminosa è pari a 10–15 lumen watt<sup>-1</sup> per le prime e 20 per le seconde (l'efficienza, ossia la proporzione fra la luce visibile prodotta e la potenza elettrica d'alimentazione, è pari al 2% per le prime e al 3,5% per le seconde);

---

<sup>59</sup> A. BERNARDI, *op. cit.*, p. 41.

<sup>60</sup> D. CAMUFFO, *Microclimate for cultural heritage*, pp. 144–145. Testo originale: «*Correct vision and enjoyment of colours, direct and indirect effects of photons reaching exhibits and convective air movements and soiling generated by the light sources*», traduzione dell'Autore.

° le lampade a fluorescenza: hanno una bassa dissipazione all'infrarosso, luce *fredda*, CRI compreso fra 80 e 98 ma effetto cromatico finale *squilibrato*. Hanno un'emissione UV maggiore di quella delle lampade ad incandescenza (in commercio sono disponibili filtri che compensano il problema), ed efficienza luminosa compresa fra 50 e 90 lumen watt<sup>-1</sup>;

° le lampade a ioduri metallici: hanno temperatura colore compresa fra 3000 K e 6000 K, apparentemente vicina a quella della luce solare, e in commercio sono presenti lampade di alta qualità con spettri composti da molte bande per la simulazione di uno spettro continuo; il CRI è pari circa a 95, e l'efficienza luminosa è compresa fra 70 e 90 lumen watt<sup>-1</sup>;

° le lampade *solid-state* (LED): sono caratterizzate da un basso consumo energetico ma dall'emissione di un singolo colore per ciascuna lampada; l'efficienza luminosa è inferiore agli 80 lumen watt<sup>-1</sup>.

Il Thomson raccomanda diversi livelli di illuminazione:

**Tabella 15.** Valori di illuminazione massima raccomandata per gli spazi museali, da G. THOMSON, *op. cit.*, p. 23.

Tipo di esposizione	Illuminazione massima [lux]
Oggetti particolarmente sensibili alla luce (tessili, acquerelli, tappezzerie, stampe e disegni, pelli colorate) e molte spazi museali di storia naturale	50
Pitture a olio e a tempera, pelli non colorate, ossa e avori, lacche orientali	200
Oggetti insensibili alla luce (metalli, pietre, vetro, ceramiche, gioielli, smalti) e legno	< 300

Il tipo di illuminazione dev'essere preferibilmente di tipo diffuso (evitando "lampade a tempo" per scongiurare bruschi *shock* termici alle superfici ad ogni accensione e spegnimento) e a minima dissipazione di energia, in modo da minimizzare il trasferimento d'energia all'ambiente e alle opere, «*deve avere lo spettro concentrato nelle lunghezze d'onda del visibile, e non deve possedere componenti ultraviolette per gli effetti sui colori che gli UV hanno, evitando anche, per quanto possibile, la radiazione infrarossa, utile solo a riscaldare l'oggetto e non a illuminarlo*»<sup>61</sup>, e con spettro il più possibile vicino a quello della luce naturale.

#### 7.4.4 *Il ricambio dell'aria e la pulizia degli ambienti*

La necessità di apertura delle porte per l'accesso e l'uscita dei visitatori — un'esigenza che comporta l'immissione di masse d'arie con proprietà diverse da quelle interne e conseguenti "rimescolamenti" — è spesso in contrasto con l'obiettivo del mantenimento di un bilancio termo-igrometrico degli ambienti:

<sup>61</sup> A. BERNARDI, *op. cit.*, p. 42.

oltre ad essere a differenti livelli di temperatura e UR, l'aria in entrata è infatti carica degli inquinanti presenti nell'ambiente esterno.

Le particelle solide sospese in aria formano il cosiddetto *particolato*, classificato sulla base del diametro in micron delle particelle: «*Particelle più grandi di 15 o 20 micron rimangono in prossimità della loro sorgente d'origine, o nel peggiore dei casi sui davanzali delle finestre. Particelle più piccole rimangono sospese fino al loro intrappolamento sulle superfici. Limite ultimo della scala può essere costituito da 0,01 micron. [...] All'interno di musei l'arredo e il pubblico forniscono una quota di fibre tessili e frammenti cutanei*».<sup>62</sup>

«È sempre consigliabile filtrare l'aria prima di immetterla nell'ambiente, anche se tale operazione può comportare movimenti d'aria tra i punti di aspirazione e quelli di riimmissione, favorendo quindi la deposizione aerodinamica»<sup>63</sup>, ma filtri attualmente in commercio possono essere utili per l'eliminazione della componente più fine (e più “pericolosa”). Elevate fruizioni di pubblico comportano anche necessarie pulizie degli ambienti — più o meno tradizionali a seconda del tipo di ambiente — per le quali occorre mantenere il più possibile inalterati i livelli di temperatura, umidità e turbolenza dell'aria, evitando in questo ultimo caso l'utilizzo di tappeti.

#### 7.4.5 L'affluenza del pubblico

*Un'elevata concentrazione di pubblico apporta notevoli quantità di calore, vapore e anidride carbonica, alterando il normale equilibrio dell'aria ambiente, alimentando di conseguenza scambi tra aera e pareti. [...] Un pubblico troppo numeroso può trasformare un ambiente di per sé idoneo alla conservazione delle opere d'arte in un ambiente che presenta notevoli gradienti termo-igrometrici*<sup>64</sup>.

L'emissione di vapore acqueo all'interno di un ambiente apportata dal pubblico con la normale respirazione e sudorazione è valutabile in circa 50 g a persona per ora: in caso di forti immissioni, per il mantenimento dell'equilibrio igrometrico queste saranno prima assorbite e poi cedute dalle pareti e dalle murature, e pari ragionamento può essere condotto per il calore emesso dal corpo umano (il calore sensibile emesso da una persona seduta è pari a quella di una lampadina da 100 W).

Prima regola da rispettare è quella di limitare i grossi affollamenti e il tempo di permanenza in un ambiente, e di evitare per quanto possibile notevoli concentrazioni di persone soprattutto in piccoli ambienti.

---

<sup>62</sup> G. THOMSON, *op. cit.*, pp. 131–132. Testo originale: «*Particles larger than 15 or 20 microns settle near their source of origin or at worst on window sills. Particles smaller than this remain suspended until trapped on some surface. The bottom end of the scale can be taken as 0.01 micron. [...] Inside the museum the furnishing and the human occupants provide a quota of textile fibres and fragments of skin*», traduzione dell'Autore.

<sup>63</sup> A. BERNARDI, *op. cit.*, p. 47.

<sup>64</sup> Ivi, p. 31.

7.4.6 *Due metodi a confronto: gli standard ottimali e l'intervallo obiettivo*

Dalle considerazioni sopra riportate si possono trarre le prime conclusioni progettuali.

La bibliografia e la normativa italiana ed europea stabiliscono da un lato diversi valori *standard* ottimali da assicurare all'interno di musei, gallerie e spazi espositivi, *range* di valori da rispettare in merito a temperatura, umidità relativa e grado di illuminazione, indipendentemente dalla tipologia e dall'età dell'edificio; dall'altro una seconda *branca* è stata invece recentemente sviluppata a partire dall'analisi del cosiddetto *clima storico* dell'edificio e dalla necessità di stabilire condizioni termo-igrometriche il più possibili stabili, basate sul monitoraggio micro-climatico dell'edificio stesso per un lasso di tempo stabilito.

Per il primo metodo si riportano innanzitutto le condizioni interne ottimali prescritte dal Thomson (v. Tab. 16).

**Tabella 16.** Condizioni interne ottimali per i principali musei nazionali, nuovi ed esistenti, da G. THOMSON, *op. cit.*, p. 268.

<u>illuminazione</u>	
Materiali moderatamente sensibili (ad es. pitture ad olio)	200 ± 50 lux
Materiali sensibili (ad es. tessuti)	50 lux
CRI	≥90
<u>Radiazione UV</u>	
Quantità di radiazione UV nelle fonti di luce	< 75 µW/lm
<u>Umidità Relativa</u>	
	50–55 ± 5%
<u>Temperatura</u>	
Invernale	19 ± 1°C
Estiva	24 ± 1°C

Il testo del Thomson, che riscosse molto *successo* dopo la sua pubblicazione ma altrettanta “incomprensione” nel campo della conservazione, fu oggetto attorno alla metà degli anni Novanta di una revisione figlia della ricerca sperimentale nel frattempo progredita. Pietra miliare può essere considerata la Conferenza IIC di Ottawa del 1994, *Preventive conservation practice, theory and research*: le maggiori critiche e discussioni alle pratiche del Thomson riguardarono diversi campi di applicazione — dal trasporto e conservazione delle opere d'arte in caso di prestiti fra musei, alla necessità di non poter simulare e rappresentare tutti i parametri *in gioco* tramite la ricerca e l'applicazione di un unico valore di UR — una tesi quest'ultima già sostenuta da autori come Micalski nel suo *Relative humidity: A Discussion of Correct/Incorrect value* del 1993:

*Per collezioni caratterizzate dalla presenza preponderante di materiali organici rigidi (come legno o pitture), si deve accettare che i dati supportino il buon senso, non “numeri magici” [...] Nel complesso i rischi maggiori iniziano all'esterno del range di UR fra il*

25% e il 75%. L'aumento di lievi danni meccanici in strutture molto vulnerabili avviene per valori di  $\pm 20\%$  di UR, ma sono praticamente eliminati a valori di  $\pm 10\%$  nel legno e  $\pm 5\%$  nella pittura. L'UR media può essere la media locale o quella stabilita dalla norma internazionale. Si può pensare che lo stretto rispetto che sacrifica l'affidabilità a lungo termine del range 25%–75% di UR, o altri problemi come il fuoco o l'attacco di parassiti, sia controproducente per il benessere totale della maggior parte delle collezioni.<sup>65</sup>

Altro esempio è costituito dal risultato della ricerca condotta nel 2003 dal CAL (*Conservation Analytical Laboratory*) dell'Istituto Smithsonian per collezioni e spazi pubblici, la quale propone valori di temperatura pari a  $70\pm 4^\circ\text{F}$  (circa  $21\pm 2^\circ\text{C}$ ) e di umidità relativa di  $45\pm 8\%$ . Standard e valori predefiniti sono riportati anche nella norma UNI 10829:1999 Appendice A (*Valori di riferimento consigliati, in condizioni di clima stabile ed in mancanza di indicazioni specifiche diverse, ai fini della progettazione di impianti di climatizzazione per ambienti che contengono beni di interesse culturale*), desunti da fonti di letteratura tecnica diversificate e non mutuamente comparabili ma non oggetto di verifica sperimentale. Benché come visto la loro applicazione debba comunque rispondere ad un necessario compromesso fra tutti i parametri e le esigenze descritte nei paragrafi precedenti, si allega (v. Tav. 17) a titolo conoscitivo l'estratto dalla relativa tabella riportante i valori prescritti per le pitture murali, gli affreschi e le sinopie.

**Tabella 17.** Categorie di beni e parametri di riferimento secondo la Norma UNI 10829:1999.

OGGETTI MISTI							
Pittura murale, affreschi, sinopie (staccate)	da 10 a 24	-	da 55 a 65	-	NR <sup>65</sup>	-	-
Pitture murali a secco (staccate)	da 10 a 24	-	da 50 a 45	-	150	75	0,2
Avori, corna, collezioni malacologiche, uova, nidi, coralli	da 19 a 24	1,5	da 40 a 60	6	150	75	0,5

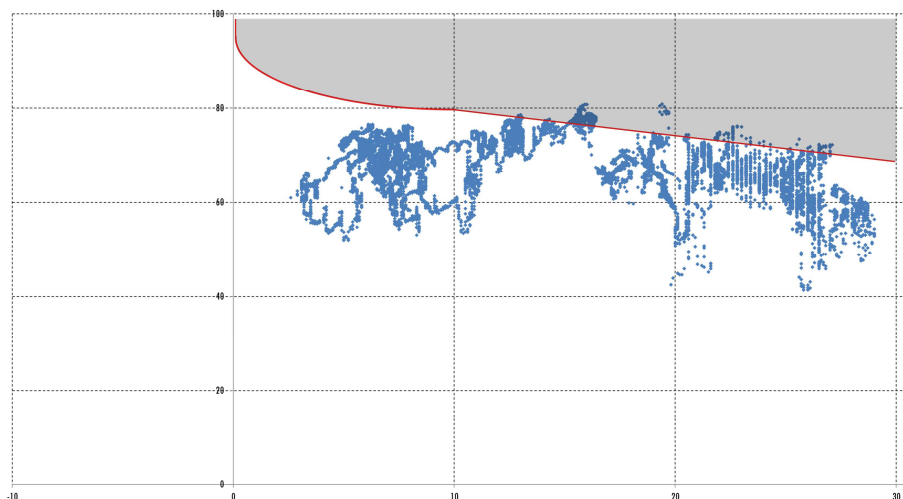
Ultimo riferimento sono le linee–guide proposte nel 2007 dall'ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers*) per il controllo climatico di musei, gallerie, archivi e biblioteche (v. Tab. 18): Rischi e benefici sono collegati a “classi di controllo” da AA a D, alle quali corrispondono valori differenti di temperatura e UR.

<sup>65</sup> S. MICALSKI, *Relative humidity: A Discussion of Correct/Incorrect value*, in A. LUCIANI, *Historical climates and conservation environments*, p. 80. Testo originale: «For collections dominated by rigid organic materials (wood and paint), we must accept that the data supports common sense, not magic numbers. [...] Overall, high risks begins outside the range 25%–75% RH. Slight mechanical damage will accumulate on highly vulnerable assembles at  $\pm 20\%$  RH but this is virtually eliminated by  $\pm 10\%$  in wood,  $\pm 5\%$  in paint. Middle RH can be the local mean, or international norm. If tight control sacrifices the long–term reliability of the 25%–75% RH limits, or other issues like fire and pests, I believe it is counter–productive to the total well–being of most collections», traduzione dell'Autore.

**Tabella 18.** Linee-guida dell'ASHRAE per il controllo climatico di musei, gallerie, archivi e biblioteche.

Type	Set Point or Annual Average	Maximum Fluctuations and Gradients in Controlled Spaces			Collection Risks and Benefits
		Class of Control	Short Fluctuations plus Space Gradients	Seasonal Adjustments in System Set Point	
<b>General Museums, Art Galleries, Libraries, and Archives</b>  All reading and retrieval rooms, rooms for storing chemically stable collections, especially if mechanically medium to high vulnerability.	50% rh (or historic annual average for permanent collections)  Temperature set between 15 and 25°C  <i>Note:</i> Rooms intended for loan exhibitions must handle set point specified in loan agreement, typically 50% rh, 21°C, but sometimes 55% or 60% rh.	<b>AA</b> Precision control, no seasonal changes	±5% rh, ±2 K	Relative humidity no change Up 5 K; down 5 K	No risk of mechanical damage to most artifacts and paintings. Some metals and minerals may degrade if 50% rh exceeds a critical relative humidity. Chemically unstable objects unusable within decades.
		<b>A</b> Precision control, some gradients or seasonal changes, not both	±5% rh, ±2 K	Up 10% rh, down 10% rh Up 5 K; down 10 K	Small risk of mechanical damage to high-vulnerability artifacts; no mechanical risk to most artifacts, paintings, photographs, and books. Chemically unstable objects unusable within decades.
			±10% rh, ±2 K	RH no change Up 5 K; down 10 K	
		<b>B</b> Precision control, some gradients plus winter temperature setback	±10% rh, ±5 K	Up 10%, down 10% rh Up 10 K, but not above 30°C	Moderate risk of mechanical damage to high-vulnerability artifacts; tiny risk to most paintings, most photographs, some artifacts, some books; no risk to many artifacts and most books. Chemically unstable objects unusable within decades, less if routinely at 30°C, but cold winter periods double life.
		<b>C</b> Prevent all high-risk extremes	Within 25 to 75% rh year-round Temperature rarely over 30°C, usually below 25°C	High risk of mechanical damage to high-vulnerability artifacts; moderate risk to most paintings, most photographs, some artifacts, some books; tiny risk to many artifacts and most books. Chemically unstable objects unusable within decades, less if routinely at 30°C, but cold winter periods double life.	
<b>D</b> Prevent dampness	Reliably below 75% rh	High risk of sudden or cumulative mechanical damage to most artifacts and paintings because of low-humidity fracture; but avoids high-humidity delamination and deformations, especially in veneers, paintings, paper, and photographs. Mold growth and rapid corrosion avoided. Chemically unstable objects unusable within decades, less if routinely at 30°C, but cold winter periods double life.			

Per l'ex chiesa di San Nicolao un'ulteriore analisi può consistere nel valutare il *pericolo* di formazione di muffe (rappresentato dalla linea di colore rosso) a partire dai valori rilevati di temperatura e umidità relativa nel periodo 17 giugno 2015 — 31 marzo 2016 (v. Fig. 54).

**Figura 54.** Limiti di formazione di muffa (linea rossa), periodo 17 giugno 2015 — 31 marzo 2016.

Al secondo metodo appartiene invece la norma UNI EN 15757:2010, *Specifiche concernenti la temperatura e l'umidità relativa per limitare i danni meccanici causati dal clima ai materiali organici igroscopici*, che riprende il concetto di *historical climate* già espresso nella UNI 10969:2002. Obiettivo della norma è la realizzazione di una guida in grado di specificare «la temperatura e i livelli di umidità relativa per limitare i danni fisici causati dal clima ai materiali organici igroscopici, mantenuti in magazzini o mostre a lungo termine (più di un anno) in ambienti interni di musei, gallerie, magazzini, archivi, biblioteche, chiese ed edifici moderni e storici.»

Secondo la norma «le condizioni più appropriate per la conservazione di materiali igroscopici dovrebbe derivare dallo studio del degrado occorso in relazione alla “*storia climatica*” dell'oggetto, e quindi, dallo studio scrupoloso e dall'analisi dell'ambiente nel quale l'oggetto è posto.»<sup>66</sup> Nel testo sono espressi alcuni concetti utili a definire questa seconda metodologia molto diversa nei suoi presupposti dalla precedente:

- ° **clima storico:** «Condizioni climatiche in un microambiente dove un oggetto del patrimonio culturale è stato tenuto sempre, oppure è stato tenuto per un lungo periodo (almeno un anno) e al quale si è acclimatato»;
- ° **livello obiettivo:** «Livello di umidità relativa che dovrebbe essere mantenuto per assicurare al meglio la conservazione»;
- ° **intervallo obiettivo:** «Intervallo di fluttuazioni dell'umidità relativa che non dovrebbe essere superato per assicurare al meglio la conservazione».

Basandosi sul *database* di monitoraggio delle condizioni micro-climatiche ambientali — in particolar modo l'umidità relativa — compiuto sull'edificio per un periodo di almeno tredici mesi consecutivi, il protocollo proposto dalla norma consiste nel calcolo del *livello medio* (determinato come la media aritmetica delle letture di UR) annuale e stagionale (medie mensili), del *ciclo stagionale* (ottenuto calcolando, per ogni lettura, la media mobile centrale, ossia la media aritmetica di tutte le letture di umidità relativa effettuate in un periodo di 30 giorni composto da 15 giorni prima e 15 giorni dopo il momento in cui la media è stata calcolata) e delle *fluttuazioni a breve termine* (calcolate per differenza fra la lettura di umidità relativa *attuale* e la media mobile su 30 giorni). I limiti inferiore e superiore dell'*intervallo obiettivo delle fluttuazioni di UR* sono infine determinati come il 7° e il 93° percentile delle fluttuazioni registrate nel periodo monitorato.

L'intervallo ottenuto è quello che si può considerare *tipico* di quell'edificio (maggiore è il periodo di monitoraggio maggiore sarà la *precisione* della media ottenuta), utile per determinare le condizioni di normalità per evitare «*fluttuazioni e cicli nel breve termine e ridurre variazioni elevate e/o frequenti di tempera-*

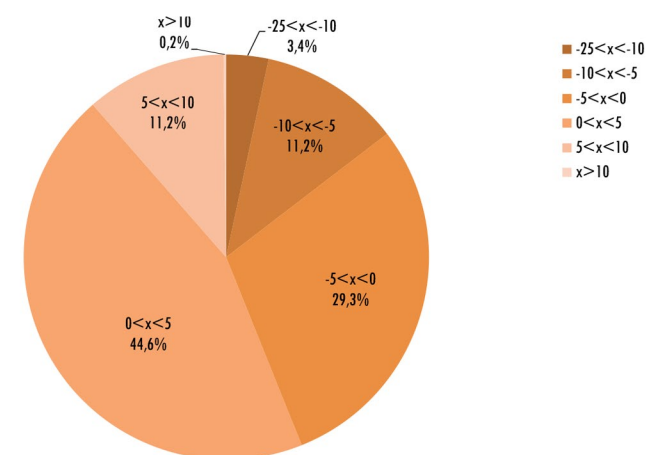
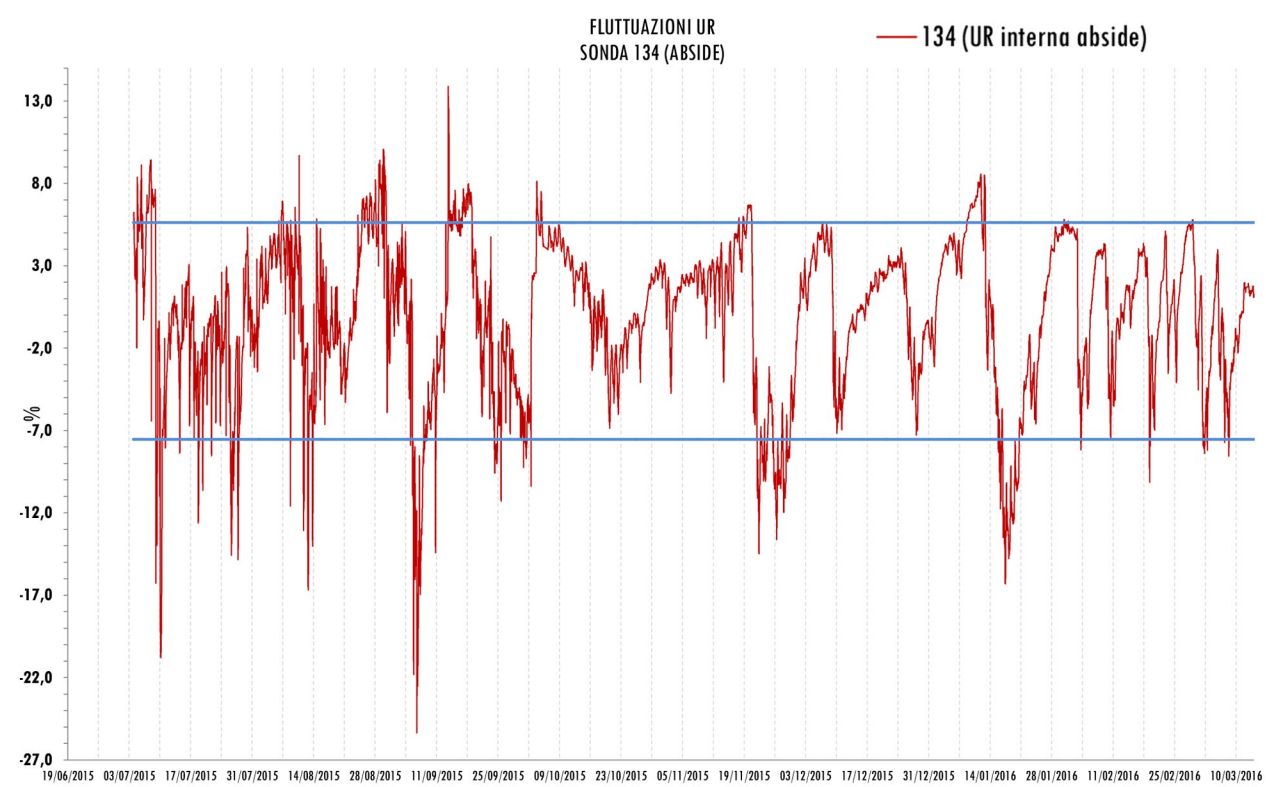
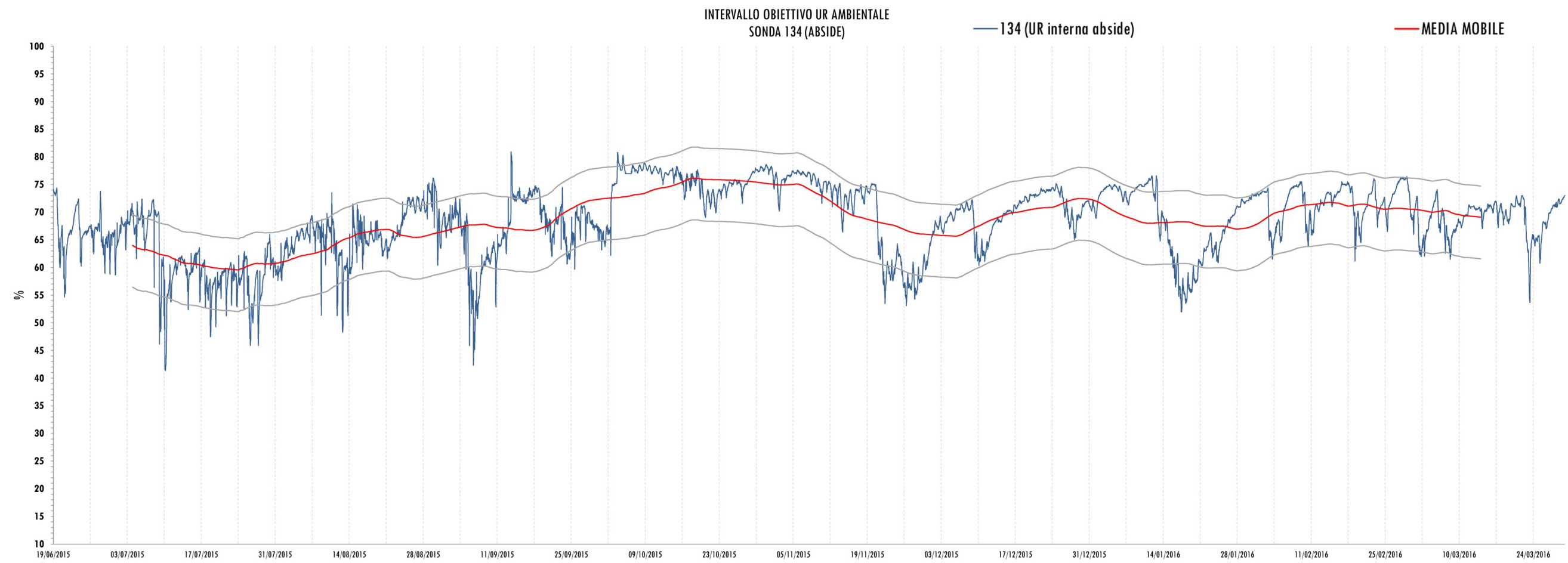
---

<sup>66</sup> A. LUCIANI, *op. cit.*, p. 84. Testo originale: «*The most appropriate preservation conditions for hygroscopic materials should be derived from the study of occurred decay in relation to the object's past climatic history and, therefore, from a scrupulous study and analysis of the existing environment surrounding the object*», traduzione dell'Autore.

*tura e umidità relativa che comportano danni fisici per gli oggetti.»* Presupposto fondamentale è che il *clima storico* così determinato sia stato precedentemente accertato come non dannoso, ossia che non siano stati constatati fenomeni di degrado dovuti al microclima stesso.

A titolo d'esempio, per l'edificio oggetto di analisi si riporta il grafico riguardante l'andamento dell'umidità relativa ambientale rilevata dalla sonda 134 nella nicchia absidale (v. Pag. 201) per il quale è stato calcolato l'*intervallo obiettivo* per il periodo di monitoraggio 04 luglio 2015 — 15 marzo 2016.





## 7.5 Il progetto di un nuovo allestimento museale

### 7.5.1 *Il programma funzionale*

L'ex chiesa di San Nicolao attualmente ospita mostre temporanee a livello locale di diverso genere (soprattutto di arte contemporanea e fotografia), conferenze e piccoli concerti. L'attuale configurazione della chiesa *facilita* allestimenti "puntuali", con interventi sulle strutture dell'edificio a discrezione dei singoli allestitori.

Il programma funzionale può prevedere tre diverse destinazioni d'uso:

° mostre temporanee: prima versione proposta prevede il mantenimento dell'attuale destinazione per mostre temporanee. Due sono i principi ai quali ispirarsi: la *libertà* degli allestitori nella progettazione di esposizioni sempre diverse non deve contrapporsi alla conservazione delle strutture murarie, e le opere esposte devono essere in grado di "dialogare" con l'apparato decorativo presente sulle murature. Due sono gli ambiti di intervento: il grande spazio centrale interno e le superfici murarie non affrescate.

Comfort: in questa versione al comfort delle persone può preferirsi la conservazione delle strutture. La permanenza non continua dei visitatori infatti può rendere non necessari sia il riscaldamento "generale" dell'edificio, sia quello localizzato e distribuito lungo tutto il suo perimetro.

Illuminazione: a differenza dello stato attuale l'illuminazione non deve colpire direttamente le strutture, in special modo le superfici murarie affrescate che possono essere oggetto di dannosi stress termici. L'esposizione delle opere e l'illuminazione sono due punti fondamentali e complementari dello studio dei sistemi espositivi "di base".

° Sala conferenze/concerti: la disposizione e la dimensione dei tre ambienti può permettere il mantenimento della funzione di piccola sala conferenze e concerti. Il "palco" può essere riconosciuto nell'ambiente absidale, non solo per le sue dimensioni contenute ma anche per la possibilità di installare un'illuminazione localizzata e puntuale e per la presenza di un piccolo dislivello. La necessità di utilizzare appunto questo ambiente dovrà permettere lo spostamento degli eventuali sistemi di allestimento temporaneo o semi-permanente. Negli altri due ambienti saranno invece previste le sedute degli spettatori, garantendo la miglior visibilità possibile ("sfruttando il non allineamento dei tre ambienti). Le sedute saranno eventualmente integrate o integrabili con il sistema espositivo.

Comfort: dovrà essere garantito il riscaldamento localizzato e il comfort delle persone nella stagione invernale, presenti in maniera fissa e continuativa, senza che gli impianti abbiano effetti sulle strutture dell'edificio. L'impossibilità di poter prevedere condizioni di comfort termo-igrometrico paragonabili a quella degli edifici di nuova costruzione stabilirà che gli spettatori rimangano all'interno degli ambienti indossando il vestiario utilizzato all'esterno.

illuminazione: illuminazione specifica deve essere studiata per il locale absidale. L'illuminazione può essere integrata al sistema di riscaldamento localizzato durante la stagione invernale, mentre in quella estiva non deve creare problemi di surriscaldamento.

° Mostre semi-permanenti: sull'esempio del museo Kolumba di Colonia possono essere previste delle mostre semi-permanenti all'interno dell'edificio. Il nuovo museo dovrà essere messo "a sistema" innanzitutto con le altre chiese di Bellano, in un percorso espositivo legato all'architettura sacra del romanico lecchese, e con i musei facenti parte del sistema museale della Provincia di Lecco. Le opere esposte potranno essere parte di quelle oggi esposte nel Museo Archeologico di Lecco (risalenti all'epoca preistorica, etrusca e romana) o parte di quelle costituenti il Tesoro della chiesa dei Santi Giorgio, Nazaro e Celso di Bellano (oggetti sacri riconducibili alle varie Congregazioni presenti sul territorio di Bellano, per i quali però dovrà essere verificata l'esposizione in un edificio consacrato come quello di San Nicolao).

Le considerazioni relative al comfort e all'illuminazione sono riconducibili con quelle esposte nel primo punto. Due però sono le questioni che farebbero preferire le altre destinazioni: la necessità di analizzare e mantenere condizioni termigrometriche necessarie per la conservazione degli oggetti storici, e la necessità di sorvegliare in maniera continuativa gli oggetti esposti.

### 7.5.2 Le integrazioni pittoriche

Parte integrante del progetto espositivo sono le integrazioni pittoriche delle superfici murarie interne.

Le integrazioni saranno realizzate in due diversi metodi: in corrispondenza dell'apparato decorativo *storico* tramite tecnica ad acquerello, mentre le nuove finiture superficiali saranno realizzate tramite tinteggiatura (con toni di colore più tenui di quelli esistenti), con tecniche che dovranno consentire la riconoscibilità, la non dannosità e la reversibilità delle opere.

In fase esecutiva andrà anche verificata l'estensione e la profondità delle stucature presenti sulle pareti nord, sud e ovest, la loro composizione e la loro eventuale rimozione e rifacimento.

<u>Stucature, reintegrazioni e protezioni superficiali</u>		
<b>1.1</b> 055044.f	Intonaci — Stuccatura di cadute degli strati d'intonaco, inclusi i saggi per la composizione della malta idonea per colorazione e granulometria, l'applicazione di due o più strati d'intonaco, successiva pulitura e revisione cromatica dei bordi. Nei casi di stuccatura di: lacune di piccole dimensioni che interessano la superficie entro il 15% di un m <sup>2</sup> (da verificare in fase esecutiva).	al m <sup>2</sup>   <b>€81,06</b>
<b>1.2</b> 045087.d	Affreschi — Ricostruzione con campitura tratteggiata o puntinata,	

	ad acquerello di decorazioni ripetitive con riporto del disegno preparatorio su graffiti, affreschi, tempere ed olio su muro; da valutare sulle superfici effettivamente interessate dal fenomeno, nei casi di: decorazioni ripetitive semplici tipo ripartizioni architettoniche e decorazioni lineari, per lacune: oltre il m <sup>2</sup> .	al m <sup>2</sup>	<b>€1,191,10</b>
<b>1.3</b> 045088.c	Affreschi — Ricostruzione con campitura tratteggiata o puntinata, ad acquerello di decorazioni ripetitive con riporto del disegno preparatorio su graffiti, affreschi, tempere ed olio su muro; da valutare sulle superfici effettivamente interessate dal fenomeno, nei casi di: decorazioni ripetitive complesse tipo decorazioni floreali, antropomorfe, etc., per lacune: entro i 5 dm <sup>2</sup> .	al dm <sup>2</sup>	<b>€54,15</b>
<b>1.4</b> 055046.b	Intonaci — Tinteggiatura di intonaci comprensiva di adeguata preparazione del fondo, tinteggiatura a calce preconfezionata, velatura superficiale ad effetto antichizzato da eseguirsi ad una passata con pennello, straccio, spugna o quant'altro: doppia velatura.	al m <sup>2</sup>	<b>€53,59</b>
<b>1.5</b> 015078	Elementi in pietra — Revisione ad acquerello per la equilibratura delle stuccature, per eliminare gli squilibri eccessivi creatisi nel tono generale della pietra e/o tra la pietra e le stuccature; operazione eseguibile su tutti i tipi di pietra situati sia in ambienti esterni sia in ambienti interni, da valutare al m <sup>2</sup> sui m <sup>2</sup> diffusamente interessati dal fenomeno, inclusi gli oneri relativi alla velatura delle stuccature e all'abbassamento di tono degli squilibri del materiale lapideo.	al m <sup>2</sup>	<b>€54,65</b>

### 7.5.3 *L'esposizione delle opere*

Il sistema espositivo temporaneo delle opere sarà organizzato tramite due metodi, uno a parete e uno all'interno degli ambienti.

Nel primo si sfrutterà il controsoffitto degli ambienti tramite un sistema "ad appensione" agli elementi metallici della nuova struttura orizzontale con pannelli rettangolari in materiale plastico a rete che permetteranno la vista della sottostante nuova decorazione delle pareti (e per i quali dovrà essere garantita il totale allontanamento delle pareti). Il peso proprio limitato dei pannelli e delle opere esposte potranno permettere l'aggancio e la sospensione degli stessi ai profili metallici in acciaio perimetrali del controsoffitto.

Il secondo sarà costituito anche in questo caso da pannelli rettangolari di materiale plastico sorretti da una struttura a telaio con elementi d'acciaio corten con profili "a C" e "a doppia T".

#### 7.5.4 I sistema HVAC

Primo obiettivo della conservazione è, come visto, «*un clima costante e mite per il pubblico, condizione sì considerabile ovvia da raggiungere ma molto costosa e difficile da mantenere. Non è semplice combinare comfort umano, necessità di conservazione e costi contenuti.*»<sup>67</sup> Sebbene sia molto difficoltoso fornire all'interno di un edificio condizioni adatte sia alla conservazione sia al comfort dei visitatori riteniamo che le limitate dimensioni dell'ex chiesa e il programma funzionale scelto possano permettere l'installazione e l'utilizzo efficace di un doppio sistema di riscaldamento: uno generale a fini conservativi, per mitigare le condizioni di freddo intenso e/o di UR elevata, e uno localizzato per il comfort degli utenti.

#### Interni

<p><b>3.1</b> 1C.20.050</p>	<p>Posa di controsoffitto in pannelli di gesso (40 x 40 x 1,5 cm) armati con filo di ferro zincato e pannelli in tessuto (120 x 40 cm), con orditura a vista e cornice perimetrale di finitura, compresa: orditura di sostegno costituita da idonei profilati portanti ed intermedi, preverniciati nella parte vista; compreso l'impiego di trabattelli, tutte le assistenze murarie, la pulizia finale con allontanamento dei materiali di risulta. Nei tipi: a superficie liscia.</p>	al m <sup>2</sup>	<b>€33,37</b>
<p><b>3.2</b> 1C.22.050</p>	<p>Posa di nuova <i>bussola</i> d'ingresso in acciaio corten, a due battenti con sopra luce, con serratura di chiusura tipo Yale. Compresa l'assistenza muraria, i piani di lavoro, il montaggio, i fissaggi, gli accessori d'uso. Esclusi i vetri: con profilati normali e mano di anti-ruggine (peso medio indicativo 20 kg/m<sup>2</sup>).</p>		
<p>1C.23.150</p>	<p>Fornitura e posa di vetro basso emissivo di spessore: normale 6 mm (± 0,20).</p>		
		profili metallici, al kg	<b>€6,72</b>
		vetri, al m <sup>2</sup>	<b>€57,00</b>
<p><b>3.3</b> 1C.13.100</p>	<p>Impermeabilizzazione del pavimento tramite posa di barriera al vapore con foglio di polietilene dello spessore di 0,3 mm, applicato a secco, compresi sormonti e assistenze murarie alla posa: con foglio in polietilene dello spessore di 0,3 mm, applicato a secco e sigillato mediante nastro adesivo, comprese assistenze edili alla posa.</p>	al m <sup>2</sup>	<b>€3,36</b>

<sup>67</sup> D. CAMUFFO, *op. cit.*, p. 31. Testo originale: «*A constant climate, people need a mild climate, and a constant mild microclimate seems the most obvious conclusion, but it is expensive and it is very difficult to keep RH unchanged. And it is not easy to combine man comfort, conservation needs and low costs*», traduzione dell'Autore.

<p><b>3.4</b> 1C.10.200</p>	<p>Realizzazione del riscaldamento a pavimento in lastre (0,50 x 1 x 2,50 m, spessore 45 mm) in polistirene espanso EPS250 con elementi diffusori sagomati in alluminio puro preincollati e conformi alla norma UNI-EN 1264, e tubi multistrato PE-RT/ALU/PE-RT 16x2 mm con barriera all'ossigeno, elevata flessibilità, stabilità della forma, bassissima dilatazione lineare ed elevata conduttività. Dovranno essere forniti i listelli di legno di rinforzo perimetrale (45x30 mm) e i pannelli <i>speciali</i> per curve e "cambi passo". Il pavimento sarà a posa <i>flottante</i> con listelli di legno, larghezza 35÷65 mm, spessore 10 mm, compresa lamatura, ceratura e assistenze murarie. La realizzazione dell'impianto dovrà comprendere la posa nella <i>bus-sola</i> d'ingresso di collettori in acciaio inox AISI 304 completo di valvole a sfera, valvola manuale di sfogo aria, rubinetto di scarico ½", zanche di supporto e guarnizioni in gomma insonorizzanti.</p>
al m <sup>2</sup>   <b>€131,00</b>	
<p><b>3.5</b></p>	<p>Ventilazione meccanica controllata (vedi § 7.4.1)</p>
<p><b>3.6</b></p>	<p>Nuova realizzazione di impianto elettrico con pannelli fotovoltaici in copertura, impiantistica, scatole di derivazione fuori traccia e canaline in rame e corpi illuminanti (faretti) a LED.</p>
<p><b>3.7</b> 1E.17.010</p>	<p>L'impianto fotovoltaico sarà costituito da: modulo fotovoltaico in silicio monocristallino compreso di sostegno per qualsiasi tipo di tetto in materiale anticorrosivo inossidabile; inverter di taglia e caratteristiche adatte alle dimensioni dell'impianto; cavidotti, cablaggio condutture, cavi solari unipolari di sezione proporzionale al dimensionamento dell'impianto ed accessori; dispositivo di interfaccia installato in apposito quadretto metallico e collegamento alla rete: con potenza complessiva da 1 fino a 6 kwp.</p>
Al kwp   <b>€6.915,21</b>	

## CONCLUSIONI

Conclusioni più approfondite potranno essere compiute una volta terminato il periodo di monitoraggio previsto. Lo scopo di questo lavoro è di illustrarne la sua prima parte, dalla quale si sono comunque dedotti risultati d'indagine sufficienti da poter essere utilizzati come *linee-guida* per le prossime campagne di studio.

È innegabile che l'ex chiesa di San Nicolao è attualmente in una fase di conservazione molto critica: i mezzi e gli strumenti impiegati negli ultimi trent'anni per l'interruzione dell'ingresso dell'acqua sono stati da un lato utili per la conservazione ma stanno tuttavia evidenziando i loro limiti di efficacia e di obsolescenza tecnica. Non si può prevedere il recupero dell'edificio senza progettare l'adeguata destinazione interna, probabilmente ricercandola tra le funzioni oggi necessarie alla comunità di Bellano.

Ulteriori indagini di studio sull'edificio dovranno riguardare (oltre come detto al monitoraggio micro-climatico e del contenuto umido delle murature) la storia costruttiva dell'ex chiesa, qui parzialmente esposta nel capitolo 4. *Qual era la funzione e la (probabile) successione cronologica dei solai interni?*; il prospetto meridionale, quello più ricco di informazioni, può essere ulteriormente studiato per analizzarne gli elementi costitutivi; le lacune dei recentissimi intonaci cementizi stanno in alcuni punti *dando alla luce* frammenti di decorazione sottostante che possono essere ulteriormente analizzati.

Si può infine concludere che l'ex chiesa di San Nicolao è stata nei secoli un importante *punto di riferimento* per la comunità di Bellano, importanza oggi compromessa non solo dai fenomeni di degrado ma anche da una *generale dimenticanza*; compito dei prossimi anni sarà quello di restituire integrità alle strutture e alle decorazioni e dotare l'edificio di una nuova funzione che possa ripristinare l'antico valore.





## **BIBLIOGRAFIA**

### Capitolo I

- Adriana BERNARDI, *Conservare opere d'arte: il microclima negli ambienti museali*, Il Prato, Padova, 2004
- Dario CAMUFFO, *Microclimate for Cultural Heritage. Conservation, Restoration, and Maintenance of Indoor and Outdoor Monuments*, Elsevier, Amsterdam, 2014
- Giovanni CARBONARA, *Trattato di restauro architettonico*, UTET, Torino, 1996
- Giovanni e Ippolito MASSARI, *Risanamento igienico dei locali umidi*, Hoepli, Milano, 1985

### Capitolo II

#### Trattati di architettura

- a cura di Bernd EVERS e Christof THOENES, *Teoria dell'architettura. 117 trattati dal Rinascimento a oggi*, Taschen, Colonia, 2003
- Hanno–Walter KRUFIT, *Storia delle teorie architettoniche da Vitruvio a oggi*, Laterza, Bari, 1988

#### Archeologia dei materiali

- Aurora CAGNANA, *Archeologia dei materiali da costruzione*, Società archeologica padana, Mantova, 2000
- Norman DAWEY, *Storia del materiale da costruzione*, Il Saggiatore, Milano, 1965
- Fulvio GIULIANI CAROLI, *L'edilizia nell'antichità*, Carocci Editore, Roma, 2006
- Umberto MENICALI, *I materiali dell'edilizia storica: tecnologia e impiego dei materiali tradizionali*, NIS, Roma, 1992
- Tiziano MANNONI ed Enrico GIANNICCHEDDA, *Archeologia della produzione*, Einaudi, Torino, 1996

### Vitruvio

- Marco VITRUVIO Pollione, *I dieci libri dell'architettura, tradotti e commentati da Daniel Barbaro*, Edizioni Librarie Siciliane – Bardi Editore, Roma, 1993
- Marco VITRUVIO Pollione, *De Architectura*, edizione a cura di Franca Bossalino e Vilma Dazzi, Edizioni Kappa, Roma, 2002

### Leon Battista Alberti

- Leon Battista ALBERTI, *L'architettura, tradotta in lingua fiorentina da Cosimo Bartoli, Gentiluomo & Accademico Fiorentino con la aggiunta de' disegni*, Arnoldo Forni Editore, Bologna, 1985
- Leon Battista ALBERTI, *De re aedificatoria*, edizione a cura di Giovanni Orlandi e Paolo Portoghesi, Il Polifilo, Milano, 1989
- Gaetana CANTONE, *La città di marmo. Da Alberti a Serlio la storia tra progettazione e restauro*, Officina Edizioni, Roma, 1978
- Alberto Giorgio CASSANI, *La fatica del costruire. Tempo e materia nel pensiero di Leon Battista Alberti*, Unicopli, Milano, 2000
- Michel PAOLI, *Leon Battista Alberti*, Bollati Boringhieri, Torino, 2007

### Francesco Milizia

- Francesco MILIZIA, *Principj di Architettura Civile, con tavole di Giovanni Battista Cipriani, a spese Remondini di Venezia. 1785*, Roma, 1991
- Italo PROZZILLO, *Francesco Milizia: teorico e storico dell'architettura*, Guida Editori, Napoli, 1971

### Capitolo III

- Eleonora TRIVELLIN, *La manualistica edilizia della «rivoluzione tecnologica» in Italia*, in *Costruire in laterizio* n. 81, maggio–giugno 2001

### Jean Baptiste Rondelet

- Jean Baptiste RONDELET, *Trattato teorico e pratico dell'edificare, prima traduzione italiana per cura di Basilio Soresina, prima edizione napoletana*

*migliorata e corretta da Raffaele Pepe, Napoli 1840*, Editrice Librerie Dedalo, Roma, 2004

Giovanni Pegoretti

◦ Giovanni PEGORETTI, *Manuale pratico per l'estimazione dei lavori architettonici, stradali, idraulici e di fortificazione per l'uso degli ingegneri ed architetti*, A. Monti, Milano, 1844/1863

Capitolo IV

◦ Archivio di Stato di Como

◦ AA.VV., *Lario orientale: riviera orientale, Valsassina, Val d'Esino, Muggiasca, Valvarrone*, Nodo Libri, Como, 1993

◦ a cura di Maria Pia ALBERZONI, Annamaria AMBROSIONI, Alfredo LUCIONI, *Sulle tracce degli Umiliati, Vita e Pensiero*. Pubblicazioni dell'Università Cattolica, Milano 1997

◦ Carlo AMORETTI, *Viaggio da Milano ai tre laghi Maggiore, di Lugano e di Como e ne' monti che li circondano*, Giovanni Silvestri, Milano, 1817

◦ Giuseppe ARRIGONI, *Notizie storiche della Valsassina e delle terre limitrofe dalle più remote fino alla presente età*, Giacomo Pirola, Milano 1840, Forni Editore, Bologna, 1972

◦ Giuseppe ARRIGONI, *Documenti inediti riguardanti la storia della Valsassina e delle terre limitrofe, raccolti, annotati e pubblicati dall'ingegner Giuseppe Arrigoni*, Giuseppe Pirola, Milano, 1857

◦ Benedetto GIOVIO, *Historiae Patriae Libri Duo. Storia di Como dalle origini al 1532*, copia anastatica dell'edizione del 1887, Edizioni New Press, Como, 1982

◦ a cura di Mina GREGORI, *Pittura in Alto Lario e in Valtellina dall'Alto Medioevo al Settecento*, Cariplo, Milano 1995

◦ Maurizio MONTI, *Storia di Como. I*, Pietro Ostinelli, Como 1831

- Stefano Francesco MUSSO, *Recupero e restauro degli edifici storici. Guida pratica al rilievo e alla diagnostica*, EPC Libri, Roma 2010
- Caterina RASICA, *La ex chiesa di San Nicolao a Bellano. Il costruito storico e la gestione del microclima: problemi di conservazione e d'uso*, Tesi di Laurea in Ingegneria Edile/Architettura, Relatore Prof. Paolo Bossi, Correlatore Prof. Davide Del Curto, Politecnico di Milano, Anno 2011/2012
- Carlo REDAELLI, *Notizie Istoriche della Brianza, del distretto di Lecco, della Valsassina e de' luoghi limitrofi da' più remoti tempi sino ai nostri giorni*, Tipografia di Felice Rusconi, Milano 1825
- Eleonora SAITA, *Umiliati*, in <http://www.lombardiabeniculturali.it/archivi/profili-istituzionali/MIDL00017D>
- Oleg ZASTROW, *La chiesa dei Santi Giorgio Nazaro e Celso a Bellano*, Stefanoni Editore, Lecco 1993
- Oleg ZASTROW, *Architettura gotica nella Provincia di Lecco*, Banco Popolare di Lecco, Lecco 1992
- TeDOC (Servizio Tesi e Documentazione), Politecnico di Milano
- [www.lombardiabeniculturali.it](http://www.lombardiabeniculturali.it)

#### Capitolo V

- Dario CAMUFFO, Chiara BERTOLIN, *Towards standardisation of moisture measurement in cultural heritage material*
- Norma UNI 10829:1999 *Beni di interesse storico e artistico – Condizioni ambientali di conservazione – Misurazione ed analisi*

#### Capitolo VI

- AA.VV., *Listino dei prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzione*, Comune di Milano. Area Territorio, Direzione centrale OO.PP. e centrale unica appalti, Direzione centrale tecnica, 2012

- AA.VV., *Prezzario Restauro dei beni artistici*, DEI. Tipografia del Genio Civile, Roma 2010
- Stefano CAPOLONGO, Laura DAGLIO, Ilaria OBERTI, *Edificio, Salute, Ambiente. Tecnologie sostenibili per l'igiene edilizia e ambientale*, Hoepli, Milano 2007
- Stefania FRANCESCHI e Leonardo GERMANI, *Manuale operativo per il restauro architettonico. Metodologie di intervento per il restauro e la conservazione del patrimonio storico*, DEI. Tipografia del Genio Civile, Roma 2005
- Paolo GASPAROLI, *Le superfici esterne degli edifici. Degradati, criteri di progetto, tecniche di manutenzione*, Alinea, Firenze 2002
- Neal PUTT e Sarah SLADE, *Teamwork for Preventive Conservation*, IC-CROM, Roma 2004
- Garry THOMSON, *The Museum environment*, Butterworth, Londra, 1986
- Paolo TORSELLO e Stefano MUSSO, *Tecniche di restauro architettonico*, UTET, Torino, 2003

## Capitolo VII

- Chiara BAGLIONE, *Un museo per contemplare. A Colonia un museo progettato da Peter Zumthor riporta l'enfasi sul ruolo dell'architettura nel preservare e accrescere l'aura dell'oggetto artistico*, in *Casabella* n. 760, novembre 2007, pp. 4–21
- Marco BIRAGHI, *Storia dell'architettura contemporanea II 1945–2008*, Einaudi, Torino, 2008
- Tor BROSTRÖM, Carl-Eric HAGENTOFT, Magnus WESSBERG, *Humidity Control in Historic Buildings through Adaptive Ventilation – A Case Study*
- a cura di Dario CAMUFFO, *Il riscaldamento nelle chiese e la conservazione dei beni culturali. Guida all'analisi dei pro e dei contro dei vari sistemi di riscaldamento*, Electa, Milano, 2006

- Veronica DAL BUONO, *Peter Zumthor, Kolumba Museum, Colonia (Germania)*, in *Costruire in Laterizio* n. 125, settembre–ottobre 2008
- Massimo DEL PRETE, *Kolumba Art Museum, Colonia. Il museo della contemplazione*, in *Abitare la Terra* n. 32, 2012, p. 21
- Antonella HUBER, *Le ragioni del museo: una lettura museografica delle collezioni dell'Università di Bologna*, CLUEB, Bologna, 1999
- Antonella HUBER e Marco MULAZZANI, *Il museo italiano. La trasformazione di spazi storici in spazi espositivi. Attualità dell'esperienza museografica degli anni '50*, Lybra Immagine, Milano, 1997
- Poul Klenz LARSEN, Magnus WESSBERG, Tor BROSTRÖM, *Solar energy augmented adaptive ventilation in historic buildings*, [www.nsb2014.se/wordpress/wp-content/Historical\\_Buildings](http://www.nsb2014.se/wordpress/wp-content/Historical_Buildings), pp. 648–655
- Andrea LUCIANI, *Historical climates and conservation environments. Historical perspectives on climate control strategies within museums and heritage buildings*, Tesi di Dottorato in Conservazione del Patrimonio Architettonico, Relatore Alberto Grimoldi, Correlatore Tor Broström, Politecnico di Milano, Anno 2009/2013 — Ciclo XXIV
- Manfredo TAFURI, *Storia dell'architettura italiana 1944–1985*, Einaudi, Torino, 1986
- Norma UNI 15757: 2010, *Specifiche concernenti la temperatura e l'umidità relativa per limitare i danni meccanici causati dal clima ai materiali organici igroscopici*