

**LA CITTÀ DI MONZA:
OPPORTUNITÀ E VALORIZZAZIONE DELLE AREE DISMESSE
IL PROGETTO DI RIUSO PER L'AREA DELL'EX MACELLO COMUNALE**





Politecnico di Milano
Scuola di Architettura Civile
Corso di Laurea Magistrale in Architettura delle Costruzioni

Architettura per il Costruito
Tesi di Laurea Magistrale
a.a. 2013-2014

LA CITTÀ DI MONZA: OPPORTUNITÀ E VALORIZZAZIONE DELLE AREE DISMESSE IL PROGETTO DI RIUSO PER L'AREA DELL'EX MACELLO COMUNALE

PARTE 2 DAL MACELLO SUINI ALL'AUDITORIUM DAL SEDIME DEL MACELLO BOVINI AL PERCORSO MUSEALE

Relatore: Raffaella Neri
Correlatore: Christian Campanella

con la collaborazione di
Elsa Garavaglia
Sergio Croce
Daniele Palma
Christian Amigoni

Chiara Dell'Orto – Lina Maria Sánchez Jiménez – Marivita Suma

INDICE

pagina

09 PARTE PRIMA // DAL MACELLO SUINI AL NUOVO AUDITORIUM

10 APPROCCIO AL CASO STUDIO

11	1. Il Macello Suini
12	1.1 I processi di lavorazione
16	2. Rilievo dell'esistente e criteri di intervento
16	2.1 Rilievo geometrico
17	2.2 Rilievo materico -patologico
18	2.3 Gli interventi di conservazione
20	3. Il progetto del nuovo
24	4. Riferimenti progettuali
24	4.1 Il Teatro Farnese, G. Aleotti
26	4.2 Niccolò Paganini Auditorium, R. Piano
27	4.3 PROMETEO Musical Space, R. Piano
28	4.4 La Schaubuhne, P. Stein
29	4.5 Auditorium Giovanni Arvedi, architetti Palù e Bianchi

31 ANALISI DEI CARICHI

32	5. Approccio metodologico
32	5.1 Studio della vulnerabilità
33	5.2 Monitoraggio
35	5.3 Lettura delle lesioni
36	5.4 Valutazione della sicurezza secondo la NTA cap.8
37	6. Introduzione al calcolo analitico
38	7. Peso copertura incidente puntualmente sulla muratura
39	8. Peso copertura incidente su un pilastro
42	9. Pressoflessione sul pilastro centrale
45	9.1 Calcolo del nocciolo d'inerzia
46	10. Approfondimento Adina: la muratura
53	11. Fondazioni
54	11.1 Calcolo dello sforzo agente su un pilastro di fondazione
56	12. Analisi tensione ammissibile capriata
57	12.1 Dimensionamento dell'elemento teso
57	12.2 Dimensionamento dell'elemento compresso
60	13. Approfondimento Adina: la capriata (stato di fatto)
61	13.1 Verifica alle tensioni ammissibili
63	14. Eventuali altri monitoraggi e consolidamenti

64	15. Diagnosi e monitoraggi : premessa
64	16. Schede degli interventi
65	D 1. Ispezione visiva
66	D 2. Martinetti semplici
67	D 3. Martinetti doppi
68	D 4. Prova sonica
69	D 5. Termografia
70	D 6. Analisi delle malte
71	MS 1. Deformometro meccanico di precisione
72	MS 2. Livellazione di alta precisione
73	MS 3. Livello zenitale
76	17. Conclusioni sullo stato di salute

83 TECNOLOGIA E MATERIALI

84	18. Tecnologia costruttiva e materiali
85	19. Analisi dei nodi costruttivi con Therm
85	19.1 Definizione
86	19.2 Analisi del nodo parete-serramento
91	19.3 Conclusioni
92	20. Strategie controllo luminoso
97	21. Strategie controllo acustico
98	21.1 Le strategie adottate
99	21.2 Calcolo del tempo di riverberazione

101 IMPIANTI TECNICI

102	22. Analisi dello stato di fatto
103	23. Il progetto dell'impianto
106	23.1 Le stratigrafie
110	24. Carichi termici
110	24.1 Calcolo carico termico invernale
114	24.2 Stima del carico termico estivo
115	25. Il dimensionamento dell'impianto
115	25.1 Il caso invernale
118	25.2 Il caso estivo
125	26. La certificazione energetica
125	26.1 Il Macello Suini
126	26.2 L'auditorium
129	27. Le misure anticendio

135 **PARTE SECONDA // DAL SEDIME DEL BOVINI AL PERCORSO MUSEALE**

136 **APPROCCIO AL CASO STUDIO**

- 137 1. Il Macello Bovini: il sedime
- 138 2. Il progetto del nuovo
- 142 3. Riferimenti progettuali
 - 142 3.1 Il teatro romano di Sagunto
 - 143 3.2 Il Muro di Berlino
 - 144 3.3 Il Muro del pianto
 - 145 3.4 L'Alhambra
 - 145 3.5 Gli allestimenti in Villa Pansa
 - 146 3.6 La biblioteca e l'auditorium di Curno

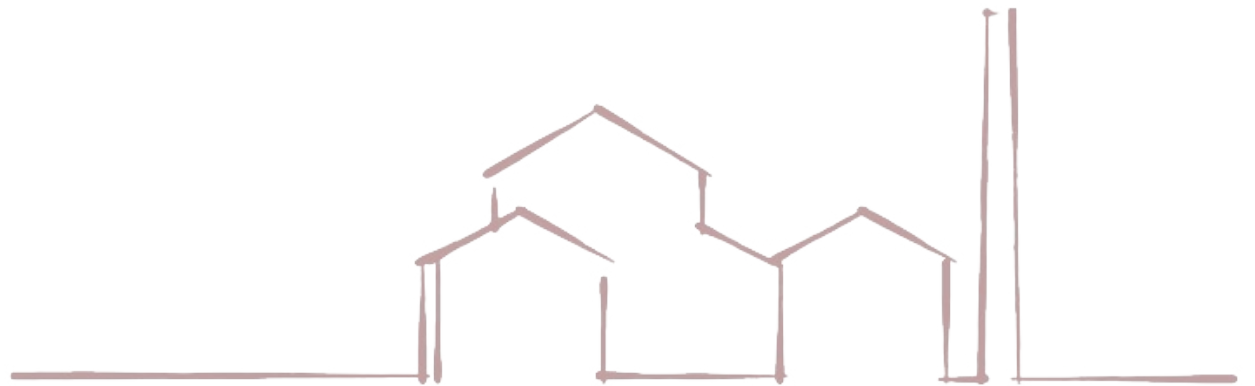
148 **ANALISI DEI CARICHI**

- 149 4. Introduzione al calcolo analitico
- 150 5. Il dimensionamento della trave parete
 - 150 5.1 L'analisi statica
 - 155 5.2 Verifica dell'altezza minima della trave
- 156 6. Il dimensionamento del pilastro
 - 156 6.1 Quantificazione dei tondini in acciaio del pilastro
 - 157 6.2 Verifica della pressoflessione
 - 159 6.3 Il numero dei ferri
 - 160 6.4 La dimensione del copriferro
- 162 7. Il dimensionamento delle fondazioni
- 167 8. Tecnologia costruttiva e materiali

169 **BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA**

- 173 Normativa

PARTE PRIMA // DAL MACELLO SUINI AL NUOVO AUDITORIUM



APPROCCIO AL CASO STUDIO

MACELLO SUINI

1. IL MACELLO SUINI

L'edificio del Macello Suini, costruito nel 1902, è un edificio isolato, libero su tutti i lati, ad eccezione di una tettoia posta sul lato est, che si innesta tramite due bracci nella muratura del fabbricato. L'edificio di pianta rettangolare è orientato con i lati corti esposti a nord e a sud e i lati lunghi ad est e ad ovest, con lunghezza pari a 31,59 m e larghezza di 19,35 m. Nonostante la grande altezza dell'edificio non vi sono piani intermedi. L'intero Macello viene inaugurato nel 1906 ed il progettista è l'ingegnere Ottorino Jotta. Egli deve progettare un edificio strettamente industriale, dove oggi sono ancora visibili i "macchinari" che rendevano possibile il lavoro al suo interno, come il carroponete e i binari per muovere le carcasse degli animali, le vasche per la bollitura o i tavoli da lavoro. Tuttavia non dimentica alcuni accorgimenti estetici, come cornici attorno alle finestre e bordi appena sotto la base del tetto.

Il Macello Suini, considerato un passo in avanti per la tipologia di edificio da macello, si presenta come una cattedrale composta da tre navate: una centrale, dove avveniva la depilatura e la lavorazione degli intestini, lunga 32 m, larga 10 m e alta 14,67 m e due laterali con i comparti per altre lavorazioni larga 3,50 m e alta 8,38 m.

Le pareti della navata centrale presentano in sommità 12 finestre di 1x1,40 m, pensate chiuse da persiane e quindi senza vetri fin dall'inizio per garantire la ventilazione e la fuoriuscita del vapore acqueo prodotto dalla lavorazione. Al di sotto di queste finestre si hanno 5 archi con interasse 5 m (lo spazio di due finestre) e alti 7 m e 2 con interasse 2,50 m (in corrispondenza delle porte laterali) e alti 6 m. Le navate laterali hanno invece un'altezza inferiore e presentano 12 finestre superiori solo con persiane di 1x1,40 m e altre 12 inferiori di 1x2,30 chiuse da un serramento con vetro. Le bucaure chiuse da persiane presentano in esterno un piccolo sporto metallico a protezione dall'ingresso della pioggia. È possibile entrare nell'edificio da tutti e quattro i lati, in particolare sul fronte nord e sud abbiamo la presenza di due grandi portoni, a nord chiuso da un serramento metallico e vetro, mentre a sud chiuso solo da un cancello; sui fronti laterali, in modo simmetrico, sono situati due ingressi minori in asse con gli archi più piccoli, uno chiuso solo da un cancello e l'altro chiuso sia da un cancello che da una porta con serramento metallico e vetro.

Tutta la struttura è in muratura con mattoni pieni, di spessore 53 cm nelle pareti laterali e di 63 cm nei due muri di spina centrali. Alcune facciate esterne e in particolare le parti sommitali si presentano prive di malta, dilavata dagli agenti atmosferici, in questi punti si può notare la posizione dei mattoni e la loro ammorsatura ben fatta. Non si conosce la stratigrafia interna ma si ipotizza che la muratura sia piena e non a sacco, questa ipotesi influisce sulla definizione della resistenza strutturale dell'edificio.

Le coperture degli spazi a falda presentano la medesima stratigrafia ma una diversa soluzione tecnologica per la posa: nella navata centrale sono ancora visibili le 5 capriate metalliche di tipo Polonceau, incastrate nella muratura in corrispondenza dei pilastri - di dimensione 1x0,63 m - degli archi a tutto sesto che reggevano una copertura a falda doppia, e nelle navate laterali sono rimasti alcuni



puntoni lignei a sostegno di una copertura a falda unica inclinata. Anche se ora non è più visibile se non in pochi punti, da ricerche d'archivio sappiamo che queste diverse strutture dovevano sostenere il peso di una copertura con la seguente stratigrafia: terzere e travicelli in legno, sottotegole e tegole marsigliesi.

1.1 I PROCESSI DI LAVORAZIONE

Il processo della macellazione e della prima lavorazione dei suini è costituito da fasi sequenziali, ognuna delle quali occupa un posto ben preciso nell'edificio in esame. Innanzitutto gli animali, dopo il loro ingresso al Macello Comunale, venivano pesati e visitati da un veterinario, il quale li smistava in base al loro stato di salute. Gli animali non ritenuti sani infatti venivano o posti in quarantena o portati direttamente all'edificio denominato "Distruzione carni infette". Gli altri animali ritenuti sani venivano invece portati alle rispettive stalle.

La porcilaia, prima posta davanti all'edificio del macello, furono poi spostata in un edificio nell'angolo sud-ovest del sistema. Da qui i suini venivano condotti sotto la tettoia metallica sul lato est del macello: qui poi, obbligati a camminare uno dietro l'altro e una recinzione impediva loro di svincolarsi, venivano storditi e ancora vivi appesi alla guidovia, posta in alto nella parte centrale del portico. Il binario della guidovia ha la forma a U e dalla tettoia conduce all'interno dell'edificio fino alla navata centrale; lungo questo percorso i maiali venivano uccisi e dissanguati.

Arrivati al centro venivano tolti dal binario e posti nelle vasche di scottatura dove c'era acqua a 60°. Restano ancora oggi le due grandi vasche rivestite in legno esternamente e in metallo nella parte interna oltre ai boiler per la produzione di acqua calda situati ai quattro angoli dell'edificio. Il procedimento di scottatura creava una discreta quantità di vapore acqueo e altri fumi che devono essere smaltiti; per questo motivo le finestre della parte alta dell'edificio non presentavano infissi ma solo persiane esterne, in modo da impedire alle precipitazioni di entrare ma allo stesso tempo permetteva ai fumi di uscire.



Fotografia del portico esterno: in alto la presenza della guidovia.

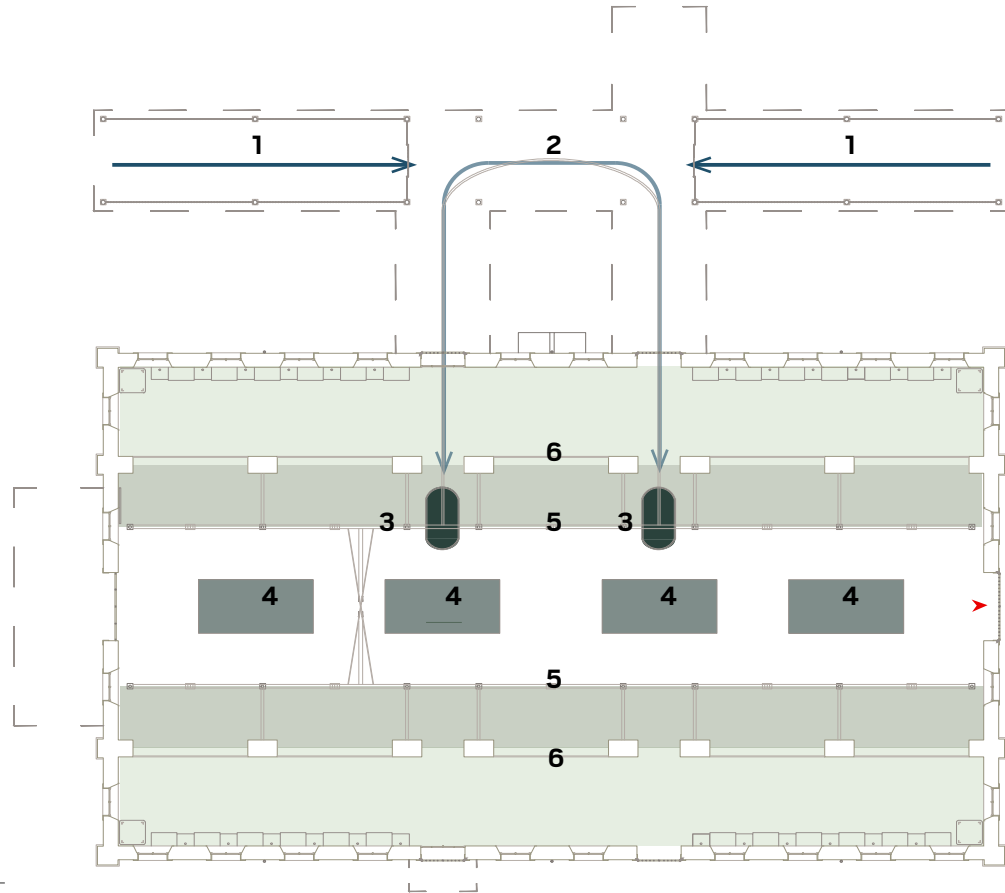
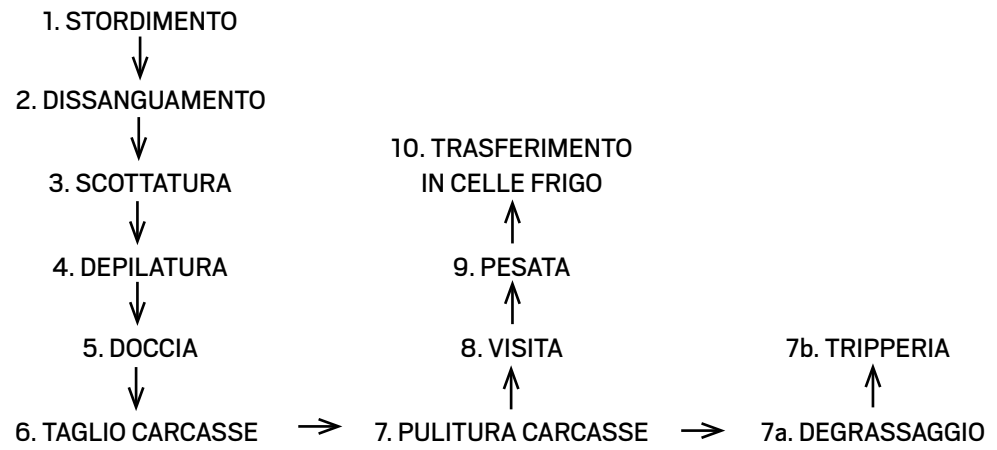
Una volta puliti con l'acqua, venivano posti sui quattro bancali centrali, vicini alle vasche e qui depilati. Si passava poi al taglio delle carcasse: gli animali venivano di nuovo appesi ad una struttura metallica interna dell'edificio, dove la movimentazione delle carcasse era facilitata dalla presenza di un carroponete mobile, e venivano sezionati in punti specifici. Il carroponete è costituito da una parte fissa composta da due binari paralleli posti a circa 2 metri dal muro di spina ad archi e collegato in alcuni punti con esso per irrigidimento, e una parte mobile perpendicolare alla struttura primaria, che si solleva da terra permettendo gli spostamenti senza disturbare le altre fasi del processo. Tutta questa struttura è in metallo e presenta pilastri tondi e travi, solitamente IPE, imbullonate fra loro. Da cartografia storica si apprende che i pilastri sono incastrati nel terreno e fissati in esso mediante una struttura a croce si sezione maggiore.

La lavorazione si spostava poi nelle navate laterali, dove, dalle carcasse tagliate, venivano prelevate le viscere interne per essere degrassate e lavate nei lavabi presenti ai lati della parete. Ciascun lavabo

è associato a un piccolo piano di lavoro. A questo punto la carne già trattata veniva portata direttamente nelle celle frigorifere, soprattutto le carcasse tagliate e pesate, mentre altre parti del suino doveva passare nel reparto tripperia per altre lavorazioni. Questo ultimo reparto era collocato in un edificio differente posto di fronte al Macello Suini.

Da ricerche d'archivio risulta che probabilmente le dimensioni dell'edificio garantivano la presenza di 32 comparti di lavorazione. All'inizio la produzione non poteva essere notevole in quanto mancava un edificio per la conservazione delle carni, e quindi le stesse dovevano essere tagliate, lavorate e immediatamente vendute al compratore finale. Tuttavia fu proprio la crescita della domanda a imporre la costruzione, in tempi rapidi, del volume delle Celle Frigorifere, così da poter aumentare la produzione.





Schema sintetico dei passaggi della macellazione dei suini. Sono indicate le fasi e la localizzazione all'interno dell'edificio di tali fasi.



2 RILIEVO DELL'ESISTENTE E CRITERI DI INTERVENTO

Fotografie scattate nell'area di progetto durante i rilievi geometrici e topografici. Si notano le strumentazioni utilizzate, le parti rilevate in modo diretto e altre mediante l'uso della fotografia.



2.1 RILIEVO GEOMETRICO

Il rilievo geometrico è stato condotto in più fasi e con diverse strumentazioni al fine di ottenere tutte le informazioni utili al progetto di conservazione prima e di riuso dopo. Per questo scopo è stato utile sia il rilievo complessivo della geometria dell'edificio che il rilievo delle strutture e delle parti portanti, individuando già in una prima battuta i possibili dissesti da monitorare successivamente.

Il primo passo è stato il rilievo mediante una battuta topografica utilizzando la stazione totale, con la quale sono stati definiti alcuni punti sulla facciata sud e ovest dell'edificio del Macello Suini, utilizzati successivamente anche per il fotoraddrizzamento. Inoltre col medesimo strumento sono stati rilevati altri punti sugli edifici di fronte al Macello Suini, riuscendo a mettere in relazione spaziale le due stecche con l'oggetto principale del rilievo. Lo stato di fatto degli edifici ha impedito la rilevazione di altri punti notevoli degli stessi.

La stazione totale si compone di un teodolite e di un distanziometro laser e permette la misurazione di angoli e distanze, per cui tale livellazione trigonometrica rientra nei metodi altimetrici. Dei punti collimati venivano quindi registrate informazioni sia circa l'angolo di presa della misurazione che la distanza dal punto della stazione. In questo modo, tenendo fissa la stazione sono stati misurati sia alcuni punti notevoli della facciata sud del Macello Suini che delle facciate nord delle stecche della "Tripperia" e della "Distruzione carni infette". Per effettuare le misure distanziometriche sono stati letti dei punti sulle facciate o mediante l'uso di un prisma riflettente o scegliendo dei punti facilmente individuabili, come gli angoli delle bucatore per il rilievo dei punti meno accessibili, ad esempio le finestre del secondo ordine. Particolare accortezza è stata posta nel rilevare punti su un medesimo piano, evitando quindi i cornicioni e le gronde. Tutte le fasi della misurazione sono state accompagnate dal rilievo fotografico, in modo da poter registrare le operazioni compiute e averne memoria.



Successivamente si è operato mediante l'uso di distanziometri laser, bindelle e metri rigidi per le misurazioni longitudinali sia degli elementi principali del corpo di fabbrica (archi e pilastri), che dei particolari tecnologici (finestre e porte) e infine per gli arredi presenti ancora in loco (carroponte, tavoli, boiler, lavandini). Si è cercato sempre di riferirsi ad un sistema generale in modo da poter collocare i singoli elementi così misurati in tale sistema. Ad esempio si è rilevato il carroponte, le sue strutture e le sue parti, ma anche la sua collocazione spaziale rispetto ai muri di spina e quindi ai pilastri.

La cartografia e iconografia storica, ed in particolare le tavole con i disegni di progetto, sono stati elementi utili come base di partenza per il rilievo. Essi sono stati utilizzati per un primo raffronto e per definire tutti gli elementi che non era possibile rilevare in modo diretto, come la capriata. Tuttavia si è subito notato un grande scarto dimensionale fra il progetto disegnato e quello realizzato.

Un altro strumento invece più affidabile è stato il fotoraddrizzamento. Esso infatti, mediante l'indi-

viduazione sulle fotografie dei punti battuti topograficamente, diventa uno strumento chiave per la definizione delle altezze generali del fabbricato.

A causa del crollo delle coperture è risultato difficile poter entrare agevolmente all'interno del manufatto e rilevarne tutti gli aspetti. Allo stesso tempo è invece risultato un fattore positivo l'aver trovato sul terreno alcuni legni, molto probabilmente appartenuti agli elementi di sostegno della copertura, per cui si è potuto conoscerne la dimensione in modo diretto. Tuttavia molti di essi si presentavano degradati a causa dell'umidità o lesionati, quindi la misura è stata presa in considerazione in modo critico.

Altro problema che è stato riscontrato è la crescita di vegetazione infestante sia all'interno del volume, ora scoperto, che ai suoi lati. Non è stato possibile quindi effettuare un rilievo fotografico completo, in particolare del fronte est, il quale è anche in parte recintato poiché utilizzato dalla struttura del Canile Comunale.

2.2 RILIEVO MATERICO - PATOLOGICO

Per i motivi suddetti di non accessibilità di alcune porzioni, il rilievo materico-patologico è stato concentrato sui fronti maggiormente liberi, ovvero la facciata sud ed ovest.

Gli strumenti utilizzati per tale rilievo sono state le informazioni ricavate dalla cartografia storica e di progetto, le fotografie e l'ispezione visiva diretta sul manufatto.

Il dilavamento di molte porzioni della facciata, a causa degli agenti atmosferici e dell'assenza della gronda in opera, hanno permesso la lettura della stratigrafia degli intonaci e della tessitura muraria. L'individuazione quindi delle dimensioni del mattone pieno, modulo base per la costruzione, e la conoscenza dello spessore murario, hanno permesso di ipotizzare in modo abbastanza certo la tipologia della muratura. Si ipotizza muratura piena a tre teste, con i mattoni all'interno disposti in modo da incastrarsi fra loro e quindi irrigidire la struttura, se sono state rispettate le regole del buon costruire.

Circa i materiali utilizzati per la costruzione individuiamo principalmente : i mattoni pieni, la malta di allettamento, le malte per gli intonaci esterni ed interni, i vetri ed il metallo per i serramenti ed il legno per le persiane delle finestre superiori, gli arredi fissi e mobili per le lavorazioni sono sempre in metallo o in legno e alcuni ripiani di lavoro sono in pietra.

I degradi principali individuati sono dati dall'assenza di manutenzione negli ultimi trenta anni e dall'assenza totale di tutte le coperture. Inoltre l'edificio non è isolato rispetto al terreno su cui poggia. Per questi motivi si individuano problemi legati alla presenza di vegetazione infestante, altri dovuti a fenomeni di umidità, sia di risalita dal terreno che di tipo discendente provocate dalle piogge meteoriche e dall'assenza in opera di elementi come cornicioni e gronde per la raccolta delle acque. I degradi più diffusi sono lacune e mancanze di porzioni di intonaco o di parti delle persiane. Non si riscontrano invece particolari dissesti strutturali tranne qualche lesione sui portoni principali di ingresso.



2.3 GLI INTERVENTI DI CONSERVAZIONE

Il progetto di conservazione parte sia dalle considerazioni della conoscenza del manufatto (geometria, materiali e degradi) che dalle ipotesi progettuali, al fine di definire gli interventi più appropriati alle esigenze sia dell'edificio che del progetto di riuso.

L'obiettivo del recupero è permettere in esterno la lettura dell'edificio così come si presenta oggi, mentre solo in interno si vedrebbero tutti gli interventi studiati al fine di creare il nuovo auditorium e per definire un comfort termo-acustico secondo la normativa vigente.

Il primo e fondamentale passo è stato la definizione della nuova copertura e di un isolamento dal terreno sottostante, così da eliminare le cause maggiori di creazione dell'umidità. La copertura doveva rispondere alle esigenze termiche e acustiche di comfort date anche dalla scelta di trasformare il Macello Suini in un piccolo auditorium. Circa invece l'isolamento dal terreno si è operato in due modi: in interno sono state definite delle nuove fondazioni con vespaio areato, mentre esternamente si è creato un cordolo che collegato al vespaio permette la ventilazione continua delle fondazioni e distanzia queste ultime dal verde limitrofo. Isolate dall'umidità discendente e ascendente, le murature avranno la possibilità di asciugarsi. Gli interventi successivi non potranno essere operati fino a che le murature non sono perfettamente asciutte.

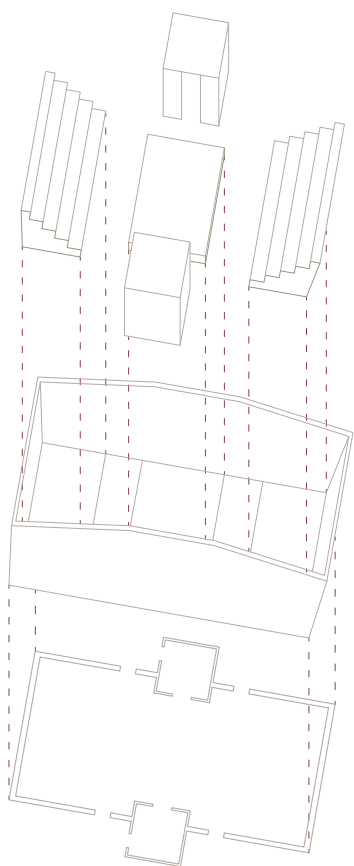
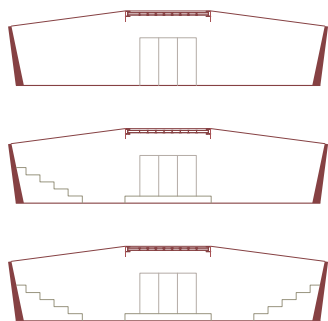
Molti serramenti del primo ordine di finestre presentano problemi di ossidazione e mancano molti vetri a chiusura degli stessi. Le chiusure con persiane degli ordini superiori hanno invece problemi legati ai degradi al materiale ligneo e in alcune parti mancano degli elementi. Si prevede l'inserimento di un nuovo infisso interno al fine di rispettare le norme circa la trasmittanza termica e il recupero degli infissi esistenti, ovvero il reinserimento dei vetri mancanti o la sostituzione di quelli rotti con altri analoghi e allo stesso modo le persiane mancanti verranno sostituite. I serramenti ossidati verranno puliti e quelli in legno subiranno dei trattamenti al fine di recuperare la struttura esistente. Tutte le piccole pensiline metalliche poste a protezione delle persiane verranno trattate al fine di rimuovere le parti ossidate e successivamente si porrà un protettivo.

I diversi fronti presentano lacune e mancanze di intere porzioni di intonaco. Al fine di mantenere la lettura dello stato di fatto verranno operati dei rappezzi delle lacune di piccole dimensioni, mentre le porzioni dove la muratura è rimasta a vista verranno solamente pulite e consolidate con un pregnaente adatto. L'intonaco, nel punto del distacco, verrà sigillato in modo da non subire ulteriori degradi per infiltrazione.

Prospetto sud e ovest dell'edificio un tempo adibito a Macello Suini. Si riportano i vari degradi, a ciascun colore corrisponde un materiale, come indicato in legenda. Circa le patologie guardare legenda e didascalie book generale.



3 IL PROGETTO DEL NUOVO



Il Macello Suini si presenta ora come l'edificio più grande e rappresentativo del complesso, il primo su cui si posa l'occhio appena si compiono pochi passi dall'ingresso. La sua maestosità data dalle sue forme e dal suo impianto lo rende uno degli edifici più interessanti. Un tempo però non era questo il protagonista, perché il Macello Bovini, andato distrutto con la nevicata del 1985, faceva da schermo con la sua lunga facciata. Il progetto del nuovo vuole ripristinare simbolicamente la presenza del vecchio Macello Bovini. Si costruisce così un muro, quasi come una quinta teatrale che maschera l'edificio analizzato per chi entra ma che ne sottolinea la scenograficità appena superato.

Tuttavia essendo l'edificio più importante si è deciso che anche la nuova funzione dovesse essere la più rappresentativa. Per questo la riqualificazione del bene prevede l'inserimento di un auditorium, progettato come spazio flessibile. Il nuovo spazio si configura come una piccola arca, dalla forma svasata, capace di accogliere chi entra nel vecchio Macello Suini ma anche chi entra nel nuovo auditorium. Oltre la forma anche il materiale, legno dalle tonalità calde, richiama un luogo confortevole, come un piccolo scrigno da scoprire. L'arca si configura come uno spazio simmetrico che genera ulteriori luoghi simmetrici all'interno della navata centrale. Il palco è infatti disposto centralmente, donando così una configurazione nuova alla classica tipologia dell'auditorium, permettendo lo svolgimento di performance più sperimentali e un'interazione diversa e maggiore fra pubblico e attori.

Esso si collocherà al centro della navata principale e avrà come elementi fissi, una parete continua dal perimetro rettangolare che definisce il contorno della scatola, e il graticcio superiore per la disposizione dei tendaggi e delle luci. Il palco sarà definito come una pedana centrale che, a seconda delle esigenze, verrà sollevata o abbassata sino alla quota del pavimento, e allo stesso modo quattro gradoni delle tribune potranno alzarsi dalla quota del pavimento mediante movimenti idraulici e a compasso. Una quinta tribuna invece sarà ricavata ruotando, grazie a dei martinetti idraulici, una porzione del rivestimento della scatola. In questo modo sarà possibile definire tre configurazioni differenti: la prima in cui tutto a filo col pavimento permetterà di ottenere una sala unica; una seconda dove verranno sollevate solo le tribune di un lato e il palco, permette lo svolgimento di una rappresentazione monodirezionale e lasciando un grande spazio per il backstage; la terza prevederanno sia tribune che palco sollevati per cui si potranno svolgere rappresentazioni teatrali o musicali bifrontali. La capienza dell'auditorium varia quindi a seconda della performance e della conformazione scelta, tenendo conto che ciascun gruppo di gradinate può ospitare un massimo di 75 persone, per un totale di 150 posti a sedere.

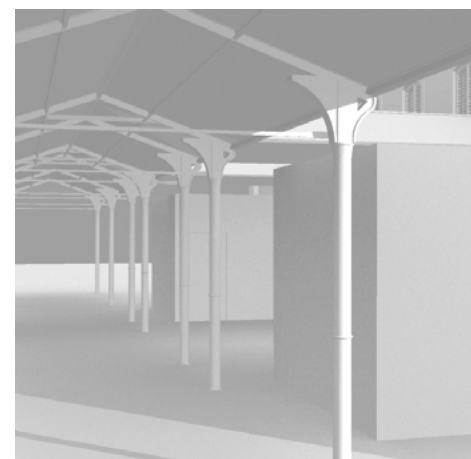
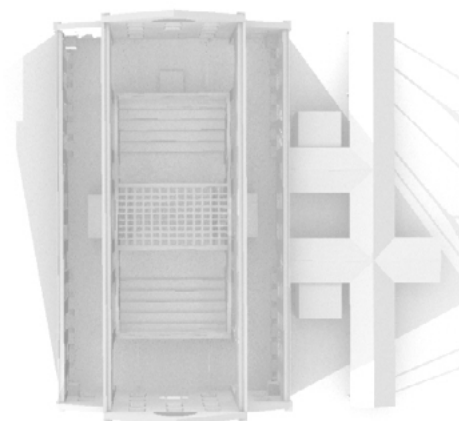
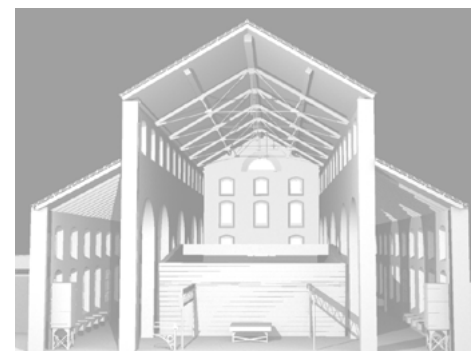
Gli spazi accessori, ovvero i bagni e i camerini, sono definiti come dei piccoli volumi quasi cubici rivestiti in metallo. I bagni verranno collocati sotto il portico a est in maniera simmetrica, mentre i camerini si innesteranno in corrispondenza del palco all'interno dell'arca. Questi volumi sono pensati come piccole aggiunte che non prevalgono sul resto per dimensione e cercano di mimetizzarsi cromaticamente col contesto. Il materiale scelto è l'acciaio ossidato che ricorda il colore degli arredi

in ferro, ossidati dal tempo, lasciati in opera, come i lavelli sulle pareti perimetrali.

L'auditorium non possiede copertura propria, e avrà quindi uno scambio termico con il volume totale del Macello, e anche per quanto riguarda il suono, sarà anche questo influenzato dai rumori presenti in tutto l'edificio. Per questo motivo e al fine di ottenere una forma pulita che potesse tenere dentro anche tutta la parte impiantistica, è nella parete perimetrale dell'arca stessa che troveranno alloggiamento tutti gli impianti. Le pareti dell'auditorium avranno infatti una struttura metallica rivestita in legno e cava all'interno. Nella parte più bassa saranno collocate le piastre radianti, mentre nella parte sommitale troveranno alloggiamento dei pannelli fonoassorbenti per ridurre le riverberazioni del suono. Con un passo regolare si distribuiranno anche i canali per il cambio dell'areazione. Il maggior comfort sarà quindi raggiunto in prossimità dell'arca. Tutto il sistema di generazione è esterno al sistema del Macello, sarà situato nella primitiva porcilaia, e collegato al volume dell'auditorium mediante canali che passeranno sotto la pavimentazione.

Le strategie utilizzate per il controllo dell'acustica all'interno del volume dell'auditorium sono state due: la definizione del graticcio collocato sullo spazio del palco, sul quale possono essere montati i pannelli fonoassorbenti secondo varie disposizioni poiché modulari, e lo studio della parete di fondo. Quest'ultima è realizzata con listelli di legno che presentano nella parte esterna una finitura molto sottile in un legno dai colori caldi, mentre nella parte retrostante si compongono di una superficie microforellata capace di assorbire le riverberazioni del suono che si introduce negli interstizi dei listelli. Nella parte bassa della parete, dove possono trovarsi le gradinate, non è previsto un rinforzo della parte fonoassorbente, perché già la presenza delle persone e dei tessuti dell'abbigliamento si pone come fermo alle riverberazioni. Nella parte alta invece sono collocati nello spessore della parete dei pannelli in lana di roccia, a scopo di fonoassorbimento.

Il rivestimento è ottenuto con listelli regolari di legno trattato della linea Spigoacustic. Si scelgono i pannelli dalle capacità fonoassorbenti secondo la necessità della tipologia degli spettacoli previsti, ovvero si sceglie la microforatura dei pannelli. Questi scelti hanno una finitura in legno naturale di quercia dello spessore di 16 mm, montato su di un supporto in MDF, dietro cui è attaccato termicamente uno strato fonoassorbente dello spessore di 0.25 mm. I listelli utilizzati verranno montati distanziandoli fra loro di 20 mm in modo da favorire il passaggio dell'aria calda prodotta dalle piastre retrostanti e anche creare delle trappole acustiche per il suono. I listelli inoltre avranno due larghezze, una maggiore che rivestirà la maggior parte dell'involucro, sia esterno che interno, e altri più piccoli che saranno collocati in gruppi da cinque -in modo da occupare lo stesso spazio di uno grande- in due punti particolari. Un primo in alto in corrispondenza della fuoriuscita dell'aria, nascondendo così l'erogatore del ricambio aria, e un secondo a circa 2 metri di altezza in corrispondenza della quinta gradinata. Essa infatti si genera dalla rotazione di parte del rivestimento, ovvero di un listello grande più tre minori. Tale rivestimento in legno si può facilmente montare in opera su delle piccole travi in metallo, a loro volta fissate ai pilastri principali che definiscono la struttura primaria della scatola dell'auditorium. I pilastri presenteranno una forma rastremata che definisce l'inclinazione dell'arca.



Entrando nell'edificio si ha ancora la possibilità di osservare le strutture un tempo utilizzate per le lavorazioni. In particolare nella porzione nord sono stati lasciati l'intero carroponte, un tavolo di lavoro e la bilancia, e lungo tutte le navate laterali vi sono i lavelli e i boiler per l'acqua calda. Nella porzione sud viene lasciato solo il carroponte e viene allestito invece un punto di accoglienza. Il carroponte seppur frazionato ha una sorta di continuità poiché viene inglobato nella parte svasata dell'auditorium da entrambi i lati, come se fosse tagliato da essa. Sono infatti gli spazi di servizio a mantenere gli arredi esistenti e invece si lascia libero il nuovo inserimento.

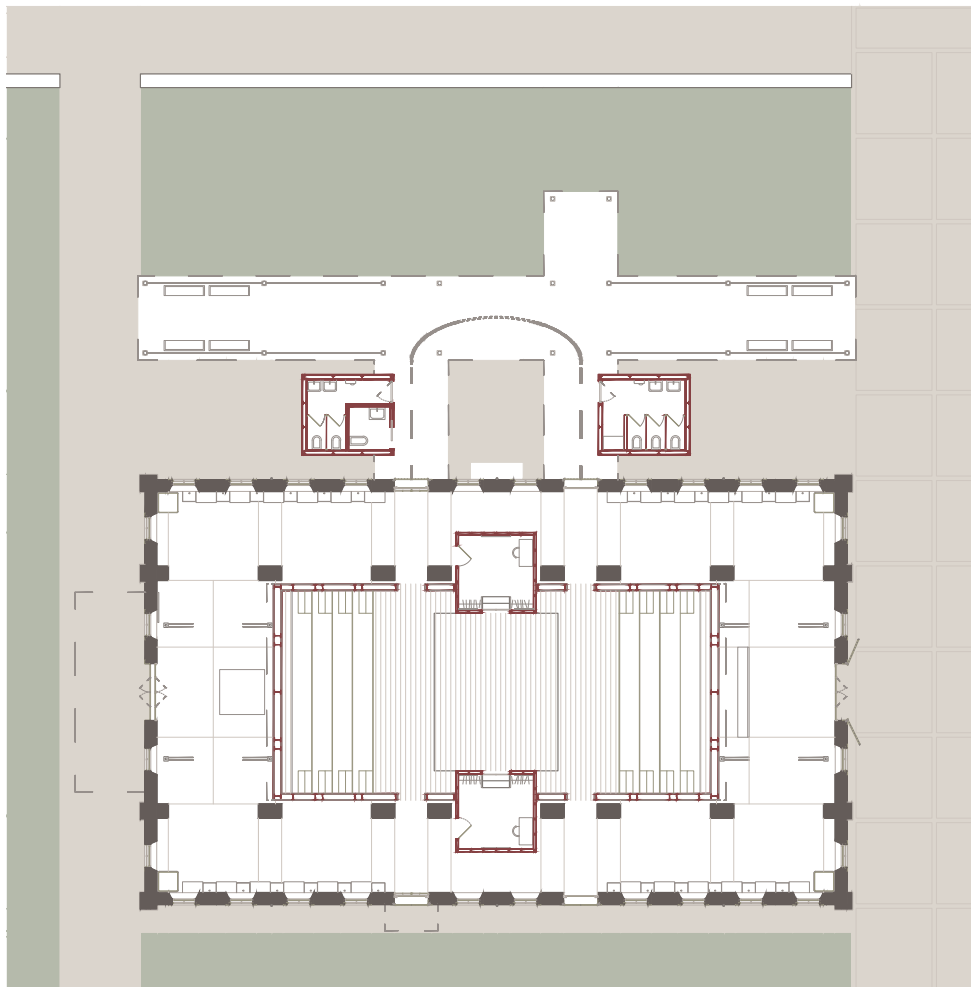
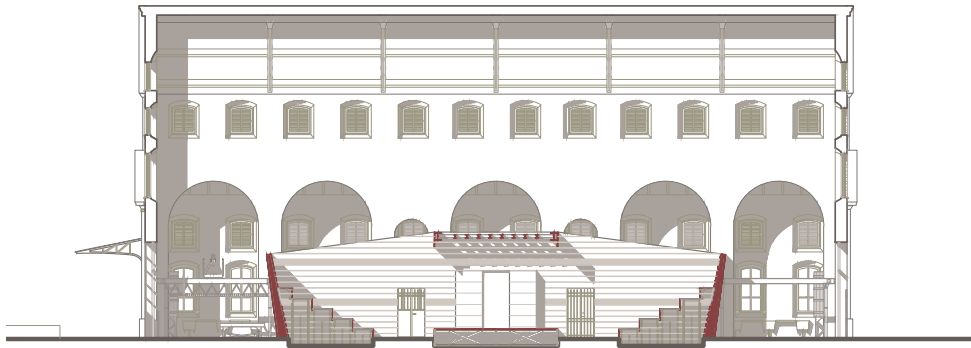
Il progetto di riuso prevede inoltre, una nuova copertura per l'edificio del Macello Suini, che possa dialogare sia con l'esistente edificio ma anche con il resto del complesso del Macello secondo un criterio di tipo estetico. Si sceglie quindi di riusare il più possibile le vecchie strutture –capriate e gli alloggiamenti già presenti per le travi della copertura laterali– e la posa simile a quella del precedente progetto, migliorando però le prestazioni termiche e acustiche. Si è scelto quindi di utilizzare delle tegole in rame, le quali sono molto leggere e hanno forma simile alle marsigliesi presenti negli altri edifici del contesto.

Oggi il Macello si presenta inaccessibile a causa del crollo della copertura, e per questo non è possibile conoscere la pavimentazione. Tuttavia ipotizzando la presenza di una pavimentazione di tipo industriale non in buono stato, sia a causa del crollo che a causa della vegetazione infestante, e dovendo scavare per la costruzione delle vasche di contenimento dei martinetti idraulici e per il passaggio degli impianti, si prevede la definizione di un nuovo rivestimento. Si scelgono due pavimentazioni diverse, una in legno per l'auditorium e una in cemento elicoterato per il resto. Tale scelta nasce dalla volontà di sottolineare ancora una volta il carattere industriale del Macello da un lato e la nuova aggiunta dall'altro.

Circa l'inserimento di nuovi volumi e partizioni interne, si è scelto di utilizzare strutture in metallo rivestite. Questa scelta permette da un lato la facile lettura tra nuovo e vecchio ma allo stesso tempo, la tipologia di tecnologia facilita un eventuale rimozione delle parti nuove, senza dover incidere in modo particolare sulla struttura già esistente. In questo modo si rispetta il principio della reversibilità, mentre circa la possibilità di essere il meno invasivi possibile si è deciso che le nuove partizioni si distacchino dai pilastri esistenti, non incidendo né sovraccaricando la struttura verticale esistente.



Sezione trasversale dell'ingresso dal lato sud del progetto per il nuovo auditorium all'interno dell'ex Macello Suini.



0 1 2 5

Sezione longitudinale, trasversale (entrambe tagliate nel punto mediano dell'edificio) e pianta del progetto per il nuovo auditorium all'interno dell'ex Macello Suini.

4. RIFERIMENTI PROGETTUALI

Abbiamo analizzato alcuni esempi di architetture di auditorium e piccoli teatri, lasciandoci ispirare dai materiali, dalle forme ma soprattutto dalla capacità di reinterpretare luoghi già esistenti. Molti esempi infatti cercano il rapporto fra l'esistente e il nuovo progetto di recupero, rapporto dato nei casi scelti dalla valorizzazione del contenitore che viene lasciato spesso così come si presentava e un contenuto dalla forma precisa e netta, distinguibile nel contesto.

Altro tema interessante è stato il rapporto fra i teatranti/musicisti e gli spettatori: si è cercato di individuare un nuovo modo di disporre le parti rendendo più partecipativa la presenza degli spettatori e quindi avvolgendo i protagonisti degli spettacoli.

4.1 IL TEATRO FARNESE

GIOVAN BATTISTA ALEOTTI, 1618, PARMA, ITALIA



Il duca Ranuccio I Farnese, signore di Parma, vuole la costruzione di un teatro che mostri la potenza della sua famiglia e per questo nel 1617 viene chiamato Giambattista Aleotti, architetto e ingegnere, per il progetto, anche se in seguito interverranno altre figure. Il teatro viene ideato e costruito in un anno per essere pronto per l'arrivo a Parma di Cosimo de' Medici. Questi mai arriverà e così il teatro rimane inutilizzato dal 1618 al 1628, quando c'è lo spettacolo inaugurale in occasione di un matrimonio dei Farnese.

Il Teatro Farnese viene costruito all'interno del Palazzo Farnese nella Sala delle Armi, una grande aula di 110 x 32 m e alta 24, completamente libera. È una delle sale che costituiscono questo palazzo detto "della Pilotta", che contiene servizi di integrazione del già esistente Palazzo Ducale. La Sala delle Armi fa da contenitore al teatro che, costruito interamente in legno, vi si adagia all'interno.

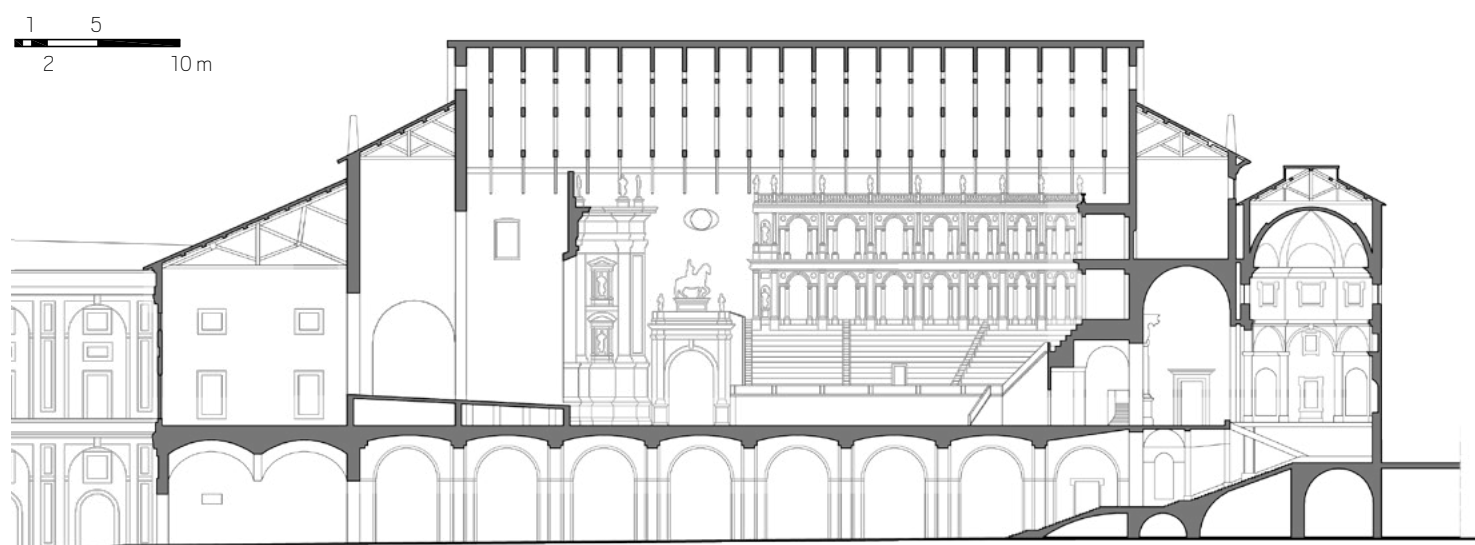
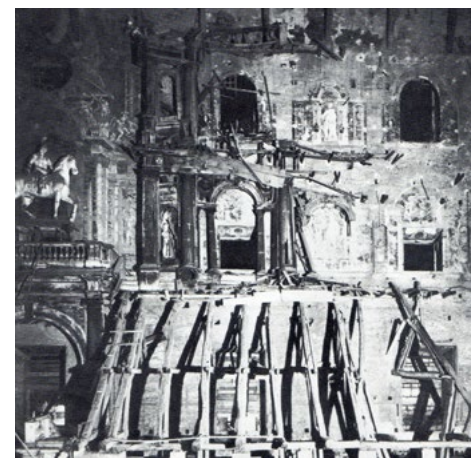
Il Teatro si trova al primo piano del palazzo e vi si accede tramite una scalinata monumentale già esistente. Dal portale d'ingresso si è condotti direttamente al centro della cavea e si è colpiti dalla maestosità e dalla grandezza di tutto il Teatro. Esso è costituito da tre parti: le gradinate a U, sormontate da un doppio ordine di serliane (il primo di ordine dorico, il secondo ionico), da un attico e da un ulteriore doppio ordine disegnato in prospettiva sul soffitto in modo da aprire ancora di più lo spazio; il palcoscenico con un enorme arcoscenico, al di là del quale si cela un complesso sistema di macchinari per realizzare quella che sarà la prima scena mobile, novità introdotta per la prima volta in un teatro e da una zona intermedia a filtro.



Il progettista tiene conto del rapporto con la Sala esistente e con il palazzo tanto che l'interesse dei pilastri degli archi al piano terra diventa il modulo compositivo del Teatro stesso. Tutto è regolato da precisi rapporti di proporzione, ma non tutto è stato ben studiato: con l'orchestra ai piedi e una sala di tali dimensioni a sentire bene erano gli spettatori posti in alto e inoltre quelli seduti nelle gradinate parallele per poter vedere bene devono ruotarsi verso il palcoscenico. Furono mantenute non solo

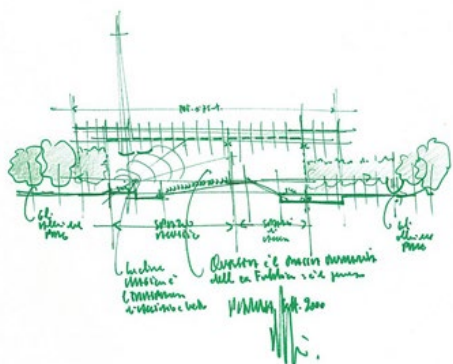
le buche pontarie della Sala d'Armi, ma anche alcune delle finestre per dare luce e aria all'interno. Il Teatro può contenere 4000-4500 spettatori, ma non sono state ben progettate le uscite in caso di emergenza. I materiali utilizzati sottolineano ancora di più, l'idea che il Teatro è stato come appoggiato nel suo contenitore. Esso è infatti realizzato interamente in legno, d'abete per le parti strutturali di gradinate, proscenio e palcoscenico, di pioppo per le decorazioni. Originariamente si dice che fosse anche dipinto.

Purtroppo la storia di questo Teatro non è stata molto fortunata. Già nel 1867 si fa un grande lavoro di restauro perché sta crollando il tetto e dunque sono andate perdute le capriate lignee originarie e il soffitto decorato. Le capriate, dovendo coprire la grande luce di 32 m, hanno una struttura molto complessa tanto da essere alte ben 9.6 m. Nel 1944, durante la guerra, c'è stato un bombardamento che ha colpito proprio il Teatro, distruggendolo completamente. Quello che noi oggi vediamo è dunque la ricostruzione avvenuta nel 1956, quando si decise di restituire l'esatta architettura del monumento riposizionando per anastilosi i legni rimasti e costruendo il resto con legno grezzo.



4.2 NICCOLÒ PAGANINI AUDITORIUM

RENZO PIANO, 1997-2001, PARMA, ITALIA

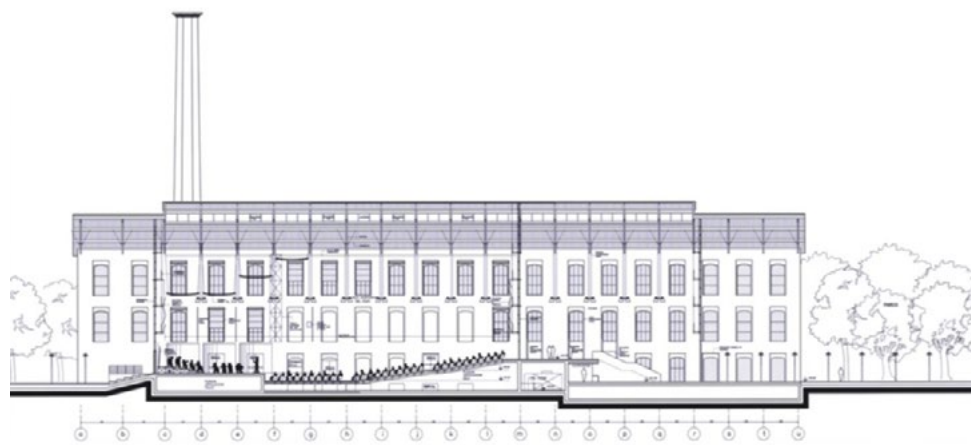


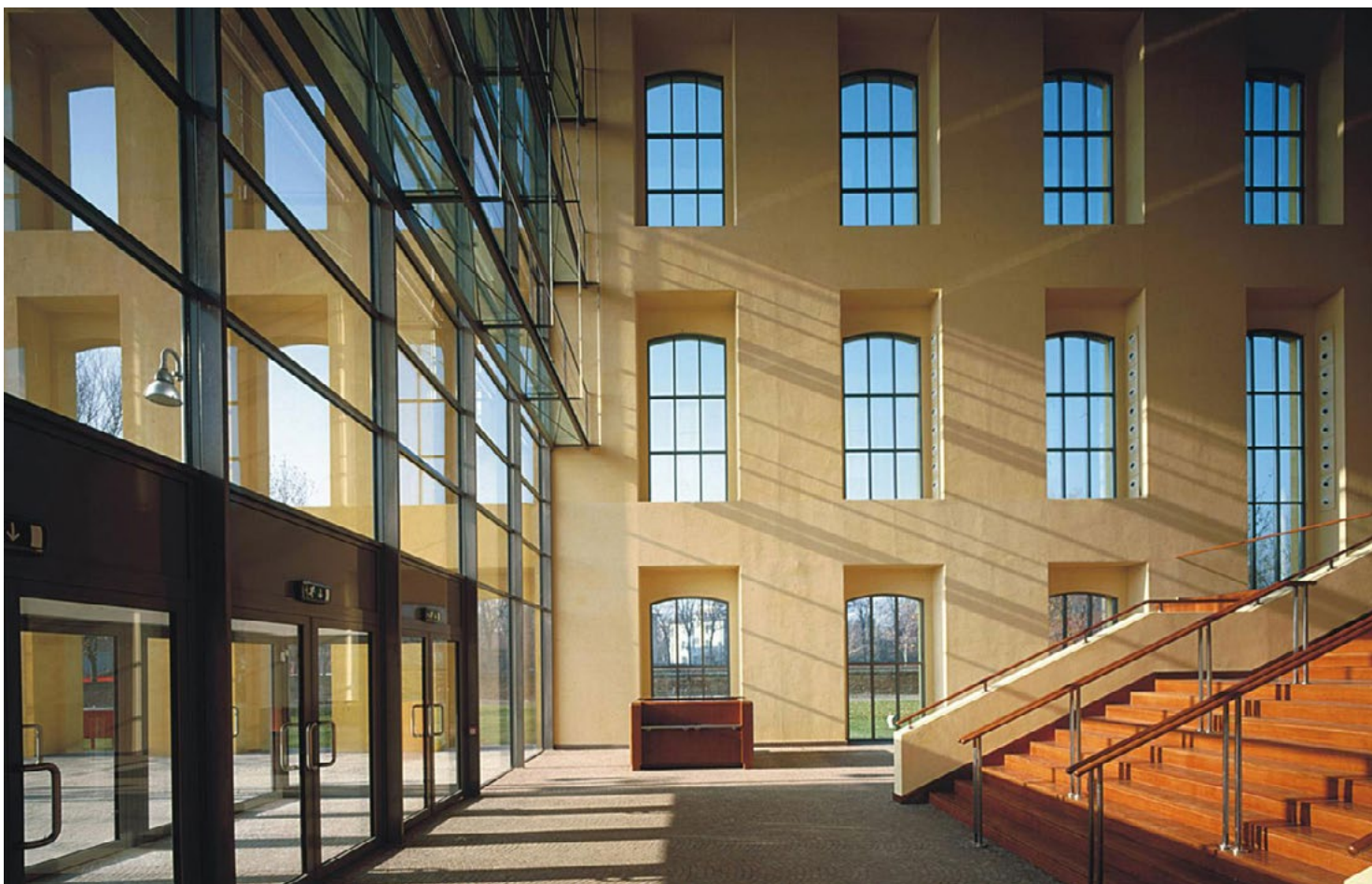
“Quando si costruisce su una struttura esistente in un contesto urbano, si deve avere una buona conoscenza del tessuto che contraddistingue la città, dei potenziali collegamenti tra l’edificio esistente e la nuova visione che devono essere compresi a fondo.” Altro fattore che si deve tenere in conto è che si lavora in questi casi su pezzi di storia locale, legati quindi alla memoria e alle emozioni dei luoghi e delle persone che qui ci hanno vissuto.

L’edificio del nuovo auditorium di Parma si inserisce in un progetto più grande di riqualificazione delle aree industriali dismesse a est della città, che da luoghi chiusi tornano a diventare spazi per il pubblico. Questo lotto comprende sia una grande parte a verde con alberi a grande fusto, sia delle fabbriche dismesse come la raffineria di zucchero Eridania. In particolare questa ha un forte impatto visivo grazie ai due lunghi muri paralleli che ne definiscono i volumi. La dimensione di uno dei due volumi era quella corretta per diventare la nuova scatola musicale. Le pareti del vecchio edificio sono così coincise con quelle del nuovo. La stecca maggiore è stata svuotata completamente e se ne è aumentato il senso di profondità inserendo delle partizioni vetrate sia all’interno per definire la zona foyer e la zona vera e propria della sala da musica, sia sostituendo le facciate corte. Questa smaterializzazione dei fronti crea un gran effetto scenografico poiché lo sfondo del palco diviene il parco retrostante, che varia al variare delle stagioni.



Dovendo cercare un rapporto ma soprattutto un compromesso fra la trasparenza e l’acustica, si sono studiati una serie di espedienti. Prima di tutto l’inserimento di pannelli in legno di ciliegio sospesi dal traliccio sul palco, ulteriori pannelli sono invece inseriti nella parte posteriore del palco, mentre le pareti vetrate sono state lavorate aggiungendo dei deflettori sempre in vetro che quindi non modificano la percezione unitaria dello spazio, ma garantiscono la qualità del suono. Il palco, sollevato, diventa la cassa di risonanza per la musica qui prodotta.

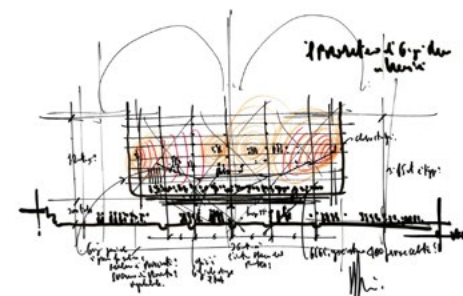


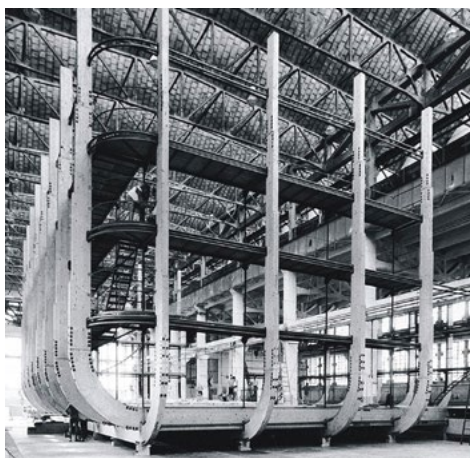


I muri perimetrali sono stati lasciati così com'erano, rinforzandoli strutturalmente, insieme alla fondazione e alla copertura, sostenuta oggi da nuove capriate. La sala può contenere fino a 780 persone e si presenta leggermente inclinata verso il palco. Essa è stata lasciata completamente libera, mentre tutte le parti accessorie sono state lasciate nel volume accanto dove si trovano le sale prova, gli spogliatoi e i servizi.

4.3 PROMETEO MUSICAL SPACE RENZO PIANO, 1983-1984, VENEZIA, ITALIA

Commissionato in occasione della IXL Biennale della Musica da Luigi Nono per la sua nuova opera, il Prometeo, diventa uno spazio in cui architettura e musica si confrontano, dando vita ad una relazione intima e profonda. Piano decide di non definire una sala da concerto del tipo classico, ma si cimenta con la creazione di un nuovo volume che andrà a incastonarsi in edifici già esistenti. Questo





sarà infatti uno dei primi spunti da cui nasce il progetto: la necessità di smontare la “scatola” per spostarla in altri luoghi e la creazione di uno spazio che già da solo potesse rispondere ai requisiti acustici, senza quindi essere influenzato dal volume in cui si inserisce.

Il Prometeo Musical Space nasce infatti come allestimento all'interno della Chiesa sconsacrata di San Lorenzo in Venezia, ma verrà anche portato a Milano, all'interno delle fabbriche dismesse dell'Ansaldo. Esso è pensato quindi come una grande cassa di risonanza che si eleva rimanendo quasi sospesa nello spazio che l'accoglie. L'accesso alla sala viene garantito da alcune scale disposte in modo simmetrico. Viene inoltre studiata una disposizione innovativa dove i 400 posti a sedere per gli spettatori sono collocati su un piano orizzontale in basso, mentre gli 80 musicisti si distribuiscono sulle pareti laterali, organizzate con gallerie a diversi livelli, rampe e scale. In questo modo si assicura la possibilità dello spostamento dei musicisti e di conseguenza della musica che permea così lo spazio.



Circa il materiale si sceglie il legno lamellare per tre motivi differenti: per una questione strutturale, per la questione acustica e perché potendolo dividere in sezioni si rende il volume dell'auditorium trasportabile. Il legno oltre ad avere ottime capacità dal punto di vista acustico, ha anche la possibilità di essere modellato in forme morbide che permettono la creazione delle parti curvate sulla base del volume.

4.4 LA SCHAUBUHNE JURGEN SAWADE, 1978-1981, BERLINO, GERMANIA

Il primo gruppo di edifici costruiti sulla Lehniner Paltz a Berlino attorno al 1927-1928, volevano essere un piccolo pezzo di città: vi era infatti un caffè e ristorante, un edificio di appartamenti, una strada per il commercio e un teatro cabaret. Tra questi edifici si distingueva il cinema Universum progettato da Erich Mendelsohn per la compagnia teatrale della Schaubuhne che gravitava attorno alla figura di Peter Stein. Il teatro fu in parte distrutto da un bombardamento durante la seconda guerra mondiale.



Nel 1978 l'architetto Sawade riprogettò gli interni e in parte gli esterni dell'edificio, avendo come tema la flessibilità degli spazi. Il progetto si incentra infatti sulla possibilità di definire soluzioni diverse a seconda dello spettacolo portato in scena, per cui lo spazio si definisce come una scena continua in cui non c'è differenza fra il luogo dell'azione scenica e il luogo dedicato agli spettatori. Inoltre la definizione tecnologica rendeva il teatro un luogo tecnicamente avanzato, motivo per il quale però si è preferito concentrarsi sulla definizione funzionale a discapito invece di un possibile progetto dell'apparato decorativo. Altra ricerca condotta dal progettista è stata la ricerca di una relazione nuova fra spettatori e attori.

Tutto il teatro, sia i pavimenti, che le pareti laterali e i soffitti sono definiti da una maglia modulare di un metro di lato. I pavimenti possono essere sollevati o abbassati grazie alla presenza di perni idrau-

lici, le pareti invece possono accogliere scenografie o pannelli fonoassorbenti che vengono appesi ai fori presenti, e infine a soffitto vi è la presenza del graticcio di metallo nero su cui vengono fissati pannelli morbidi per l'assorbimento del suono e vi sono le gru per gli spostamenti delle scenografie.

La grande sala dalle dimensioni 67,5 m di lunghezza e 21 m di larghezza può essere suddivisa in tre, mediante l'ausilio di pannelli scorrevoli. Le sale unite accolgono un massimo di 2000 spettatori, mentre le sale più piccole contano 300, 500 e 700 persone. È possibile quindi lo svolgimento fino a tre spettacoli in simultanea, oppure l'unione di più sale a seconda delle necessità di volta in volta riscontrate.

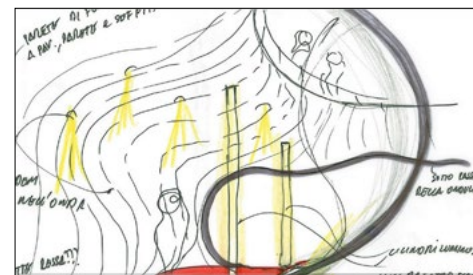
Anche in questo progetto il materiale utilizzato per il rivestimento delle pavimentazioni è il legno dell'Oregon, scelto per le sue qualità estetiche ed acustiche, oltre alla facilità di montaggio.



4.5 AUDITORIUM GIOVANNI ARVEDI

ARCHITETTI PALÙ E BIANCHI, 2010, CREMONA, ITALIA

L'auditorium Giovanni Arvedi si colloca all'interno del Museo del violino di Cremona, ricavato nel Salone delle adunate, poi divenuto palestra di Palazzo dell'Arte. La sala dalle dimensioni pari a 36 m di lunghezza, 14 di larghezza e 10 di altezza, non poteva subire modifiche in pianta, invece si è proceduto abbassando la quota del pavimento di ulteriori 4 metri, garantendo così proporzioni migliori per l'acustica. I progettisti sono stati accompagnati nelle scelte di forma e per i materiali dell'ingegnere Yasuhisa Toyota, che ha sviluppato la parte del calcolo per l'ottimizzazione acustica. Il progetto però non vuole essere solo il frutto di un calcolo matematico, ma si è affidato anche al progetto artigianale delle parti, ricordando in questo modo il lavoro dei liutai, oggetto dell'esposizione museale.



Al contenitore dalla geometria rigida è stato aggiunto un nuovo volume dalle forme morbide e si-



nuove, che si stratifica come su terrazzamenti. Si creano così diverse gradinate disposte ad ellisse attorno a un palco centrale di 85 mq. Esso è stato progettato per ospitare esecuzione di solisti e di complessi da camera, attorno a cui gravitano 460 posti a sedere per gli spettatori. Ancora una volta il nuovo contenuto si inserisce nel contenitore preesistente, ma a differenza dell'auditorium Paganini, dove il progetto seguiva la geometria del volume, in questo caso le due forme non coincidono, anzi lavorano per contrapposizione.

Un progetto definito ardimentoso e moderno, che vede l'uso di due soli materiali, l'intonaco bianco e grigio per le superfici delle pareti e del soffitto ed il legno, usato sia per le strutture di sostegno a centina che come rivestimento di tutte le parti. Le due essenze scelte sono l'acero naturale impiallacciato in doghe con una finitura che non modifica le proprietà acustiche e il cedro giallo utilizzato per il rivestimento del palco. Le doghe dello spessore fino a un millimetro sono state utilizzate per rivestire tutte le superfici delle gradinate, donando così un color miele a tutta la sala.

Tutte le bucatore presenti in sala sono state dotate di controporte e controfinestre nuove necessarie per assicurare un buon isolamento acustico dall'esterno. Il disegno del nuovo serramento ricorda il serramento già presente in opera.





ANALISI DEI CARICHI

5. APPROCCIO METODOLOGICO

Il presente volume ha come scopo lo studio strutturale del Macello Suini, tenuto conto della situazione di partenza, del progetto di riuso e di tutto l'apporto dato dal monitoraggio al fine di verificare lo stato sia durante che dopo le operazioni di recupero del manufatto.

Si sono studiati: la struttura portante, i carichi portati – cercando di comprendere dove e come essi agivano – e quindi le spinte che provocavano, i quadri fessurativi e i possibili meccanismi di danno. A partire infatti dall'ispezione e dallo studio dei quadri fessurativi si analizzano i danni e si cercano le possibili cause. Si cerca inoltre di comprendere sia di come era stata progettata la struttura e i pacchetti tecnologici, sia come potrebbe presentarsi la struttura dopo la posa dei nuovi carichi.

Lo studio è nato dall'osservazione diretta in situ, dallo studio del materiale fornito dal rilievo geometrico e fotografico insieme all'osservazione della cartografia storica e allo studio di fonti monografiche sulle tecnologie usate all'epoca. Attraverso questi documenti si è potuto procedere ad una prima analisi dei carichi e degli sforzi e alla definizione della tipologia delle diverse strutture. Inoltre si è potuto individuare i punti critici dei diversi edifici, andando così poi a studiare nel dettaglio questi punti.

Il primo approccio difatti risulta essere di tipo sperimentale-osservativo, nel quale vengono individuati i carichi principali, le forze in gioco e la distribuzione delle stesse all'interno della struttura. Questo primo passo si traduce in uno schema del tipo in figura 2, a partire dal quale si individuano i possibili effetti di tali carichi e tali spinte. Il primo possibile movimento che andrà indagato è il cedimento differenziale degli elementi portanti su cui insistono i carichi della copertura e a cascata si studieranno le possibili fessurazioni degli elementi ad arco, lo stato di salute delle apparecchiature murarie e le facciate corte (nord e sud), soggette a possibile ribaltamento.

Il calcolo analitico è servito a verificare le ipotesi di alcuni quadri fessurativi e/o a comprendere dei meccanismi di danno. In questo modo si sono accertate alcune situazioni, che diverranno quindi punti di lavoro per il consolidamento strutturale.

Si potrà in questo modo procedere, suggerendo delle soluzioni di controllo, di monitoraggio e infine di intervento rispetto ai problemi trovati. Molte questioni sono studiate da un punto di vista teorico, per cui necessitano poi un confronto in opera. Oggi infatti risulta difficile un'osservazione perfetta in situ data la condizione in cui si trova il manufatto. Nella parte quarta sono indicati le diverse operazioni volte a comprendere la condizione di carico e di salute in opera prima e dopo l'aggiunta dei carichi.

5.1 STUDIO DELLA VULNERABILITÀ

L'edificio da recuperare dovrà essere sicuro anche per una possibile risposta ai sismi. Si osservano quindi le vulnerabilità del manufatto, ovvero la sua propensione al danneggiamento.

Dal punto di vista delle vulnerabilità tipiche si osservano le geometrie del fabbricato. La pianta di tipo regolare rettangolare risulta un fattore positivo, poiché rende la struttura scatolare, ovvero le parti collaborano fra di loro per la risposta a possibili forze esterne. La presenza di archi perpendicolari alla facciata è invece indice di una possibile forza spingente su quest'ultima. Si riscontra infatti in facciata la presenza di lesene come rafforzamento dei punti di scarico degli archi.

Circa invece le vulnerabilità specifiche si osserva quanto segue:

1. La muratura è di tipo pieno a tre teste, non si conosce però la tessitura, ovvero l'ammorsamento interno dei mattoni;
2. Non ci sono segni storici né morfologici circa trasformazioni del manufatto, il che è positivo;
3. La connessione fra le murature verticali ortogonali è buona, mentre la connessione copertura-muratura avviene tramite inserimento di elementi di sostegno della copertura all'interno di nicchie ricavate nello spessore murario;
4. Le parti principali degradate sono gli elementi lignei di sostegno delle coperture laterali, mentre la capriata presenta un probabile allentamento del suo tiraggio; altro dato importante è la presenza di lesioni sulle piattebande delle aperture dei portoni principali, che sembrano suggerire l'apertura di alcune cerniere del sistema statico dell'arco;
5. Non si rivela alcun sisma precedente in queste zone, né la zona è ad alto rischio sismico;
6. Non vi sono stati interventi recenti sul manufatto.

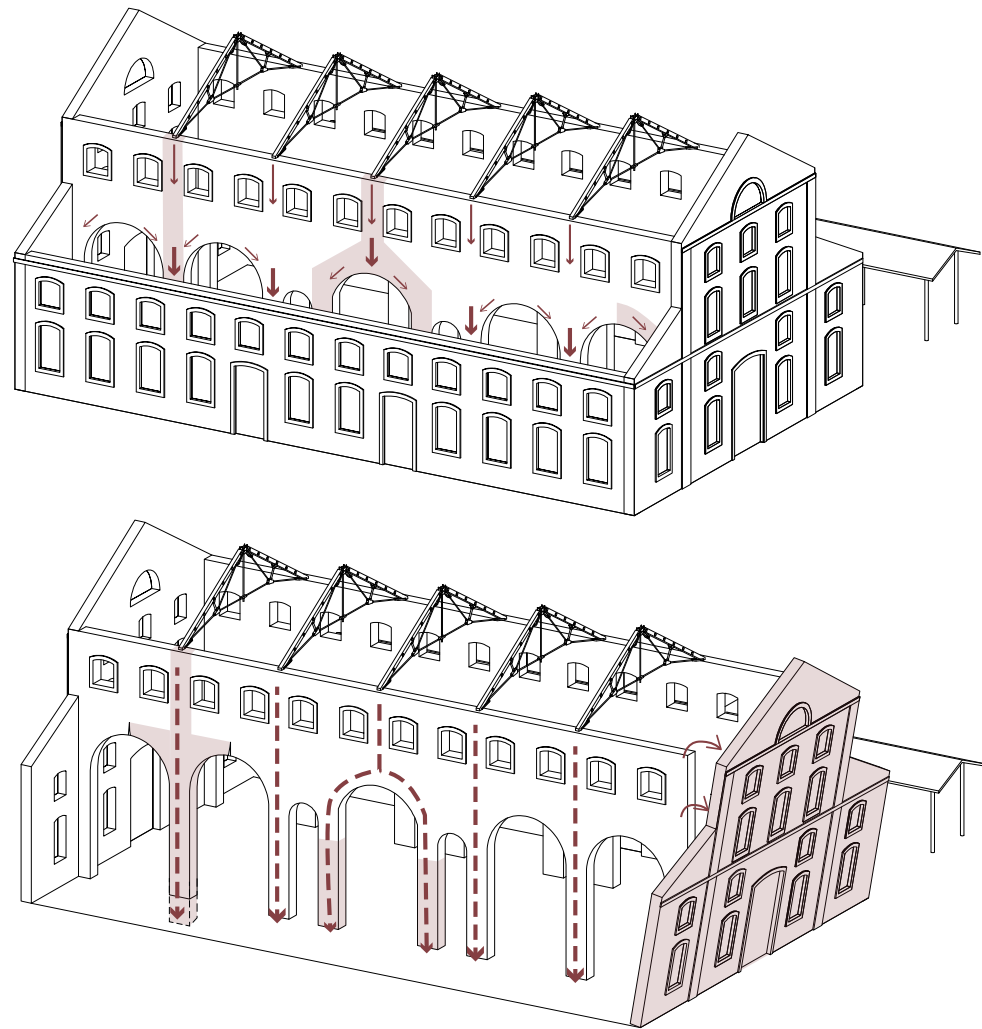
5.2 MONITORAGGIO

Esso risulta un passaggio importante al fine della sicurezza strutturale degli edifici, soprattutto nella fase di aggiunta dei nuovi carichi, dove il controllo nel tempo di variazioni geometriche, possono indicare una corretta o meno scelta progettuale e funzionale.

Il controllo delle strutture si attua mediante il rilievo dello spostamento di alcuni punti precisi nel tempo. Per cui si intersecano i valori delle coordinate spaziali con quelle delle coordinate temporali.

La conoscenza dello stato di sforzo di una struttura ci permette il suo controllo. Circa le strutture già in opera possiamo spesso conoscere bene la loro geometria e il materiale di cui sono composte (es. pilastri liberi o travi a vista), ma non il peso degli elementi che incidono su di essa. Al fine quindi di comprendere lo stato di sforzo possiamo agire o calcolando le sollecitazioni, aiutandoci mediante i diagrammi di sforzo interno (N,T,M), oppure indagando le deformazioni. Queste ultime sono date da una variazione dello stato di sforzo e si manifestano come uno spostamento di alcune coordinate.

Il controllo di tipo statico necessita di lunghi tempi, poiché vengono confrontate le coordinate di due punti in due momenti differenti, considerandoli come fermi in quell'istante della misurazione. Poiché in realtà nulla è mai fermo si deve cercare di avere un livello di precisione inferiore al movimento dell'oggetto, di modo da eliminare i così detti rumori di fondo. Inoltre un altro grosso problema è dato dalla variazione dimensionale dovuta dalla temperatura. In inverno difatti si ha una contrazione della



In alto assonometria con evidenziate le situazioni di carico e le direzioni delle forze principali. Si individuano in particolare tre casistiche: la prima data dalla pressione esercitata dalla capriata sulla quale scarica il peso la copertura principale; la seconda è data sempre dalla pressione della capriata ma questa volta il carico non è spinte degli stessi. In basso ipotesi dei possibili dissesti causati dalle spinte prima analizzate.

lunghezza dei materiali (e di conseguenza ad esempio le fessurazioni aumentano la loro larghezza) e al contrario in estate una dilatazione (per cui le fessure si restringono). Per questo motivo risulta necessario effettuare le misurazioni per un minimo di 5 stagioni, così da comprendere se le variazioni misurate hanno come causa alla base un dissesto in atto o semplicemente sono dovute a una variazione termica. Le misurazioni avvengono quindi ogni tre mesi il più possibile nello stesso giorno e orario, ovvero ogni cambio di stagione, e si confronteranno sia le variazioni parziali (tra una misura e l'altra) che le variazioni annuali (tra due misure prese a distanza di un anno).

Altro fattore importante è la scelta del sistema di riferimento, ovvero del punto per effettuare le misurazioni. Alcuni dissesti sono infatti "interni" al sistema oggetto che si misura (ad esempio l'infles-

sione di una trave) altri possono essere misurati solo se si considera come fermo un punto esterno al sistema (ad esempio San Vitale a Ravenna ha avuto un abbassamento di tutto il complesso leggibile solo da un punto di vista esterno al sistema chiesa).

I punti scelti come caposaldo per il controllo strutturale devono essere posizionati in posti puliti e inaccessibili ai non addetti ai lavori così da avere la certezza che non siano manomessi.

Dopo aver studiato, tramite modelli, il funzionamento statico dell'edificio prima e dopo gli interventi progettati, si dispongono una serie di prove in punti scelti per il controllo. I punti di indagine sono quelli che, secondo il modello di studio o la logica, possono essere maggiormente soggetti ad una variazione geometrica. In ciascun paragrafo successivo verrà specificato il tipo di strumento, il tipo di prova da effettuare e dove. Esse si svolgeranno prima dell'introduzione dei nuovi carichi in modo da verificare in opera se i valori trovati sperimentalmente sono corretti, e dopo che la struttura è stata caricata per valutare eventuali assestamenti. Si considereranno significativi quei movimenti che, fra due operazioni di controllo, avranno un valore superiore allo scarto quadratico medio del valore dell'accuratezza con cui sono stati determinati.

5.3 LETTURA DELLE LESIONI

La lettura delle lesioni si compone di due parti: il rilievo del quadro fessurativo e la misurazione nel tempo dell'andamento delle lesioni. Il rilievo ha lo scopo di evidenziare le lesioni presenti, definendo le loro caratteristiche come la lunghezza e l'apertura, permettendo a un operatore esperto la lettura delle possibili correlazioni fra loro. Sarà quindi l'operatore a decidere quali lesioni sono da indagare maggiormente procedendo quindi con la misurazione delle stesse.

Uno dei primi sintomi leggibili sugli edifici che indicano un dissesto, sono proprio le lesioni. Esse possono essere di vario tipo e indicano diverse situazioni.

Lesioni di tipo verticali nascono da stati di sforzo di compressione, mentre orizzontali indicano una rotazione dell'elemento e quindi uno "strappo" dello stesso.

Lesioni di tipo obliquo sono invece indice di un cedimento fondale. Il cedimento fondale può essere di tipo terminale, ovvero interessare solo la porzione finale di un manufatto, oppure può essere di tipo intermedio, ovvero interessare l'abbassamento di una porzione centrale del manufatto. Esso può essere di tre tipi (corto, medio o lungo) in base al rapporto tra sforzo e tensione. Si manifestano in modi differenti con una proporzione fra lunghezza e altezza determinati. Circa il quadro fessurativo tipico si ricordano le lesioni di tipo verticale nella parte alta di un fabbricato come indice di un momento, e lesioni nella parte bassa di tipo diagonale, dovute al taglio.

Altre lesioni che si potrebbero riscontrare sono sugli archi. Questi sistemi sono infatti governati da cinque cerniere, le quali rendono statico il sistema, ma tuttavia possono attivarsi rendendo il sistema labile. I portoni principali di ingresso all'edificio presentano già delle lesioni, quindi risulta necessario verificare la profondità di queste, se sono ancora attive o se il sistema si è assestato. In base alle

risposte che si otterranno dall'analisi sarà possibile definire un criterio di intervento, se di consolidamento attivo o passivo.

5.4 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SECONDO LA NTA CAP.8

La norma tecnica suggerisce quattro criteri per la valutazione della sicurezza. Essi sono:

- a. Criterio storico-critico, il quale indaga circa il sistema strutturale e le sollecitazioni, soprattutto il come è stato costruito e se ha subito delle modifiche nel tempo.
- b. Criterio empirico-qualitativo, il quale richiede un'osservazione diretta in situ, lo studio della geometria del manufatto e delle sue modifiche. Esso implica l'individuazione della sezione resistente, la qualità e lo stato di conservazione, ovvero il rilievo dei dissesti, dei quadri fessurativi e i meccanismi di danno. In particolare questo criterio propone il confronto con altri modelli simili.
- c. Criterio analitico-quantitativo, ovvero l'analisi strutturale di tipo matematico.
- d. Criterio sperimentale, quindi provare direttamente sull'edificio mediante esperimenti la capacità di resistenza, ad esempio la prova di carico.

Per effettuare una corretta valutazione è necessario poter caratterizzare meccanicamente i materiali, sia attraverso lo studio dei documenti, ma anche grazie a verifiche in situ e ad indagini sperimentali. Tuttavia non è sempre possibile effettuare tutte le diverse tipologie di prove soprattutto in caso di beni vincolati.

Inoltre bisogna considerare che rapportandoci con un edificio storico non sarà mai possibile conoscere pienamente e a fondo tutto dell'oggetto. Per questo si introduce un fattore detto coefficiente parziale di sicurezza che possa tener conto delle carenze nella conoscenza del modello.

La normativa definisce il valore delle azioni e le loro combinazioni per quanto riguarda i nuovi carichi. Circa i carichi permanenti si adotta un coefficiente parziale modificato dato il rilievo geometrico e dei materiali.

Le diverse analisi sul manufatto ci permettono di avere una conoscenza più o meno specifica della sua geometria, dei suoi dettagli costruttivi e delle sue proprietà meccaniche. Si definiscono quindi tre classi di conoscenza: LC1 limitata, LC2 adeguata, LC3 accurata.

Conoscere un manufatto vuol dire poter determinare gli Stati Limite di Esercizio (SLE) e Ultimi (SLU), ovvero le condizioni superate le quali la struttura non risponde più allo stesso modo di come era stata progettata. Gli SLE si suddividono in SLD (stato limite di danno) e SLO (stato limite di operatività), mentre gli SLU si suddividono in SLV (stato limite di salvaguardia della vita) e SLC (stato limite di collasso).

6. INTRODUZIONE AL CALCOLO ANALITICO

Di seguito sono riportate le diverse analisi effettuate sui punti più interessanti dell'edificio. Nella parte terza del volume, le tabelle con le stratigrafie e i pesi dei pacchetti murari e delle coperture, differenziati fra la stratigrafia storica e quella di progetto.

Si riportano anche due approfondimenti effettuati in prima analisi con il programma agli elementi finiti Adina. Tali approfondimenti sono stati condotti prima di effettuare ulteriori indagini sul manufatto e prima della conclusione del progetto, e per questo sono più suscettibili di errori. Tuttavia si è sempre preferito lavorare con un margine di sicurezza in modo da porci nella condizione più sfavorevole.

L'inserimento di nuovi carichi (sia per la copertura che per le fondazioni) prevede un controllo di tipo statico, per cui vengono analizzate le strutture presenti ora in opera e si verifica che le stesse possano reggere i nuovi carichi che si apportano. In particolare si studia il punto di incidenza delle caricate sulla muratura, dove si prevede l'inserimento di un fazzoletto metallico in modo da distribuire meglio il carico sulla muratura sottostante. Si studierà ancora l'incidenza del peso della copertura e della muratura alta sui pilastri caricati in asse e sui due pilastri centrali che sono caricati fuori asse, verificando che non si creino problemi di pressoflessione. Si studierà inoltre la resistenza che deve sopportare la fondazione, dovuta anche ai carichi del palco e delle tribune. Si rimanda a ciascun paragrafo circa le specifiche tecniche delle indagini e circa le operazioni da effettuare per le migliori strutturali. Si prevedono opere di monitoraggio strutturale sia per la conoscenza del manufatto sia per il controllo successivamente al posizionamento dei nuovi carichi.



Sezione trasversale dell'edificio, metà edificio storico e metà edificio di progetto. In evidenza i punti critici che sono stati studiati nei paragrafi successivi.

7. PESO COPERTURA INCIDENTE PUNTUALMENTE SULLA MURATURA

Si procede col calcolo della forza puntuale incidente sulla muratura nel punto di appoggio della capriata metallica, dato dalla copertura sovrastante. La forza sarà pari alla somma del peso della capriata e di un sesto del peso della copertura (ovvero dell'area di influenza considerata). Si dividerà a metà poiché il peso portato da una capriata si divide egualmente fra i due appoggi. Per quanto riguarda l'edificio storico, si ipotizza il peso della copertura che sosteneva.

$$[formula 1] \quad F_c = [P_{capriata} + (P_{copertura} / 6)] / 2 \text{ [N]}$$

dove $P_{capriata} = 415,54 \text{ kg}$

$$ed. storico \quad P_{capriata} + (P_{copertura}/6) = 66.824,51 \text{ kg}$$

$$F_c = 33.620,02 \text{ kg} = 329.699,83 \text{ N}$$

$$ed. progetto \quad P_{capriata} + (P_{copertura}/6) = 9.298,99 \text{ kg}$$

$$F_c = 4.857,26 \text{ kg} = 47.633,46 \text{ N}$$

Si calcolerà poi lo sforzo nel punto di appoggio della capriata attraverso la formula:

$$[formula 2] \quad \sigma = P/A_0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

dove $P = F_c$ e $A_0 =$ area staffa metallica:

$$A_0 = 57600 \text{ mm}^2$$

$$ed. storico \quad \sigma = 329.699,83 \text{ N} / 57.600 \text{ mm}^2 = 5,72 \text{ N/mm}^2$$

$$ed. progetto \quad \sigma = 47.633,46 \text{ N} / 57.600 \text{ mm}^2 = 0,83 \text{ N/mm}^2$$

Se lo sforzo così trovato è maggiore della resistenza a compressione della muratura, si inserirà una staffa metallica che avrà il compito di distribuire le forze in modo più esteso. Tale resistenza può essere ricavata da tabelle, ma andrà valutata in opera mediante la prova con i martinetti doppi o in laboratorio ricostruendo una porzione di muratura simile a quella rilevata in opera.

Si nota come lo sforzo trovato sia di gran lunga minore di quello previsto per l'edificio storico. Questo grazie ai nuovi materiali e alla nuova tecnologia per cui si ha che il peso della nuova copertura sia inferiore di quello della copertura storica. Si ipotizza quindi di non trovare lesioni di tipo verticale, che avrebbero indicato un problema di compressione dell'apparato murario.

Tutti questi ragionamenti partono dall'ipotesi che la muratura del Macello Suini sia di tipo pieno e non a sacco. Un muro pieno è infatti più compatto e ha una resistenza a compressione maggiore di una muratura a sacco. Si ipotizza una verifica della stratigrafia mediante un'ispezione con endoscopio, preferendo l'uso di canali già presenti nella muratura, se esistenti.

8. PESO COPERTURA INCIDENTE SU UN PILASTRO

La navata centrale è scandita da un susseguirsi di archi grandi e piccoli che hanno, come elemento verticale di sostegno, dei pilastri a base rettangolare con il lato maggiore parallelo alla lunghezza del corpo di fabbrica. Quattro pilastri per lato, situati nella porzione più esterna, sono caricati assialmente poiché nel loro punto medio insiste l'appoggio della capriata. In questi punti la forza è pari alla F_c calcolata con la formula 1, a cui bisogna aggiungere il peso della porzione di muratura (F_m) sopra di esso. L'area della porzione di muratura sarà calcolata per via grafica (vedi Figura 4). Lo sforzo sarà calcolato come rapporto fra la forza agente e l'area del pilastro su cui insiste la stessa.

$$F_p = F_c + F_m$$

$$F_m = A_{\text{grafica}} \cdot \text{peso specifico (di ciascun materiale)}$$

$$A_p (\text{area del pilastro}) = 545.900 \text{ mm}^2$$

[formula 3]

$$\sigma = F_p / A_p \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\text{ed. storico } F_p = (329.699,83 + 190.580) \text{ N} = 520.279,83 \text{ N}$$

$$\sigma = 520.279,83 \text{ N} / 545.900 \text{ mm}^2 = 0,95 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{ed. progetto } F_p = (47.633,46 + 186890) \text{ N} = 234.523,46 \text{ N}$$

$$\sigma = 234.523,46 \text{ N} / 545.900 \text{ mm}^2 = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

Gli sforzi calcolati al punto 1 e 2, verranno confrontati con la resistenza a compressione della muratura, misurata in opera mediante l'uso di *martinetti piatti singoli e doppi*. Ciò al fine di verificare che i nuovi sforzi trovati possano essere compatibili con la resistenza vera dell'edificio. Inoltre si paragonano i risultati ottenuti dal calcolo numerico con le tabelle che sintetizzano le resistenze tipiche a compressione della muratura storica a partire da un pdf intitolato "La normativa italiana sulle murature" scritto dall'ing. Andrea Nobili, del dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile dell'Università di Modena e Reggio Emilia.

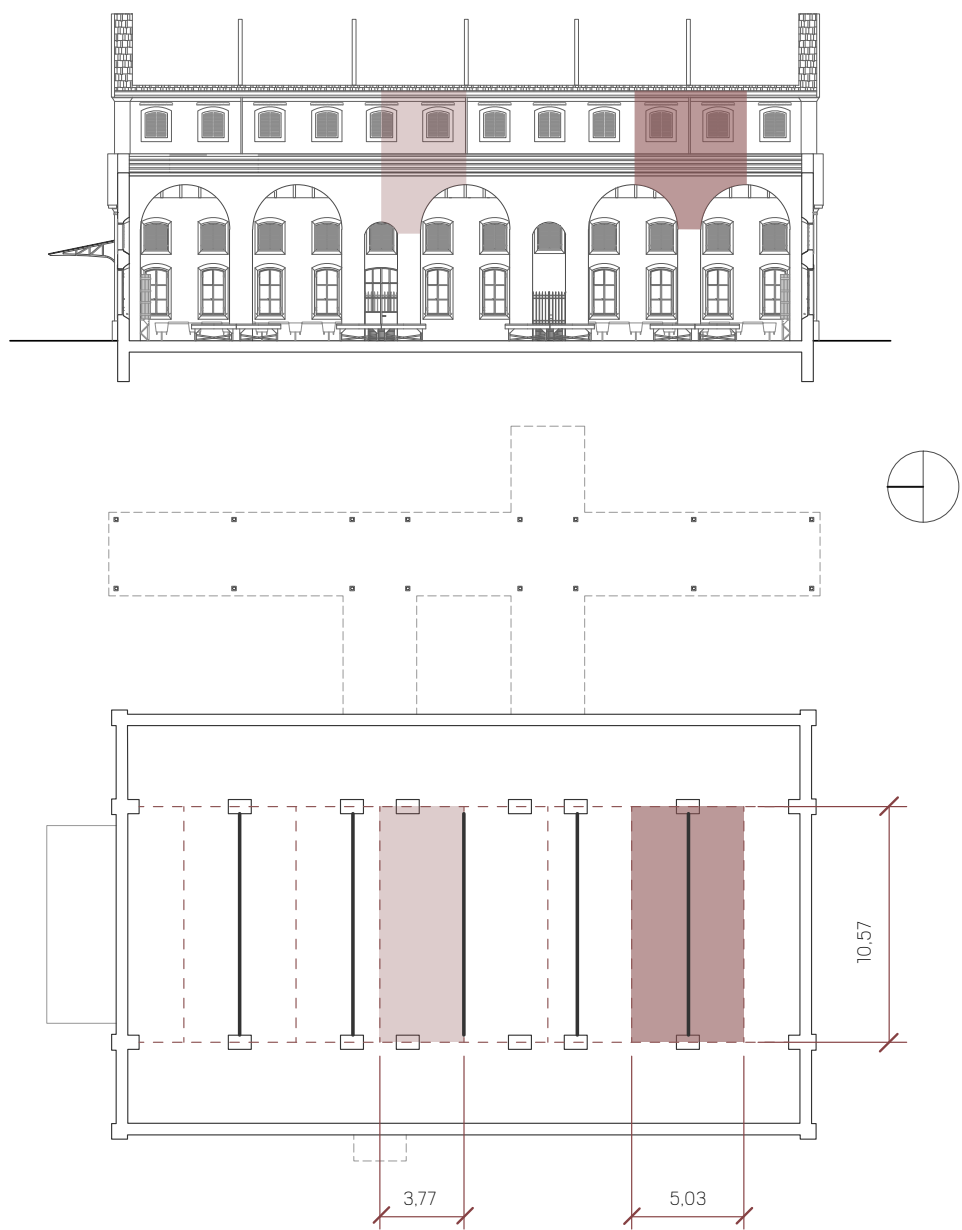
In particolare abbiamo che entrambi i valori di σ sono di gran lunga inferiori alla "resistenza caratteristica a compressione", mentre se li paragoniamo con la "tensione ammissibile della muratura a compressione" abbiamo che non sempre gli stessi valori sono nel range delle tensioni ammissibili. Verrà effettuato un controllo attraverso l'uso dei martinetti, una prova di tipo parzialmente distruttivo al fine di verificare lo stato di sforzo (σ) in un punto della muratura, per questo motivo si sceglie la base di un pilastro in asse con la capriata, dove si concentra maggiormente il carico. Questo valore sperimentale sarà confrontato con i risultati analitici prima descritti.

Si effettueranno inoltre due tipi di controlli: il primo riguarderà un possibile *cedimento differenziale* del terreno e solo successivamente il controllo sarà della *verticalità degli elementi portanti*.

Tutti i pilastri difatti sono stati costruiti con la stessa tecnologia e materiali per cui non dovrebbero esserci schiacciamenti di un elemento a favore di un altro. Il controllo sul terreno verrà effettuato

mediante una *livellazione di alta precisione*, la quale collegherà alcuni punti presi sui pilastri e sulle facciate interne con dei punti all'esterno dell'edificio. In questo modo si potranno individuare sia movimenti di tipo relativo che di tipo assoluto, quindi sia all'interno del sistema "Macello Suini" che dell'edificio in relazione al sistema complessivo del Macello. La livellazione sarà effettuata durante le prime operazioni di cantiere di modo che sia possibile intervenire sulla struttura nelle operazioni di recupero. Inoltre la livellazione sarà utile per verificare eventuali cedimenti dopo la posa della nuova copertura e dopo la costruzione dell'auditorium. Si ricorda infatti che adesso la struttura verticale, un tempo caricata da una copertura in marsigliesi in cotto, risulta scarica da circa un trentennio, mentre il carico sulle fondazioni risulta costante nel tempo, poiché gli arredi e le attrezzature sono ancora in opera e la copertura invece è crollata all'interno dell'edificio.

In opera si devono osservare accuratamente le basi dei pilastri al fine di verificare l'assenza di lesioni. Esse, se date da un eccesso di carico (compressione), saranno prevalentemente di tipo verticale. Si prevedono inoltre indagini di tipo sonico atte a mostrare la situazione all'interno del pilastro, ovvero l'omogeneità del materiale o eventuali fessurazioni non visibili sotto l'intonaco.

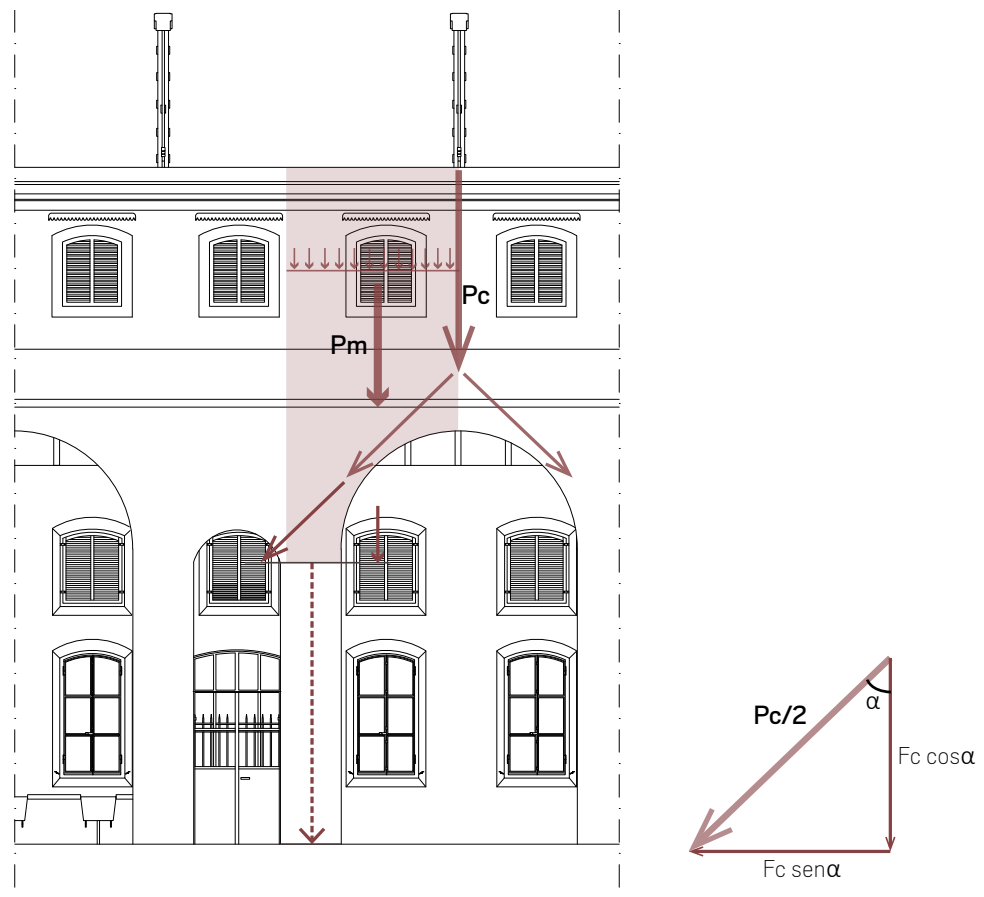


Sezione longitudinale e pianta dello stato di fatto con evidenziate le porzioni di muratura studiate poiché incidenti nel calcolo delle forze agenti sul pilastro caricato assialmente (viola scuro) e sul pilastro caricato fuori asse (viola chiaro). In pianta sono riportate anche le dimensioni dell'area di influenza considerate nel calcolo.

9. PRESSOFLESSIONE SUL PILASTRO CENTRALE

La capriata centrale è collocata in asse con un arco, per cui il suo carico viene equamente distribuito attraverso le tangenti allo stesso. I pilastri a sostegno dell'arco possono quindi essere interessati da un fenomeno di pressoflessione, a causa dell'eccentricità del carico che non cade in modo perpendicolare all'asse. Il risultato è quindi un possibile schiacciamento di parte della sezione del pilastro. La pressoflessione nasce infatti quando c'è presenza di sforzo assiale e momento flettente e quest'ultimo è superiore al primo. Un arco entra in pressoflessione se la linea delle pressioni esce fuori dal terzo medio, in questo caso si attivano le cerniere di rotazione e la struttura diventa ipostatica.

L'analisi verterà sia sullo studio delle reazioni interne alla sommità del pilastro, sia alla sua base. In questo punto si suppone che le reazioni avranno una risonanza maggiore, poiché maggiore è il braccio delle forze agenti, quindi le problematiche maggiori potranno essere riscontrate alla base.



Schema delle forze interne all'imposta e alla base di un pilastro caricato non in modo assiale.

Si calcola l'incidenza della forza della capriata e si considera come momento stabilizzante il peso dato dalla muratura sovrastante il pilastro e, nella parte inferiore del pilastro, si aggiunge lo stesso peso dell'elemento verticale. Entrambe queste forze presentano un'eccentricità rispetto all'asse del pilastro.

In opera bisogna procedere con l'ispezione del quadro fessurativo in particolare modo della base del pilastro. Si cercherà la presenza di lesioni di tipo orizzontale sul lato interno all'arco grande caricato dalla capriata e di tipo verticale sul lato esterno. Le lesioni orizzontali si riscontrano nella parte tesa, mentre quelle verticali nella porzione compressa. Se si dovessero vedere delle lesioni si deve procedere con una verifica accurata delle stesse al fine di comprendere se l'assestamento è terminato o ancora in atto e la profondità, quindi la pericolosità di queste lesioni. Questo punto deve essere monitorato soprattutto in fase di aggiunta dei nuovi carichi dovuti alla nuova copertura. Se si dovessero leggere lesioni di grande importanza si procede con l'inserimento di una catena all'interno dell'arco così da rendere le due parti più collaboranti fra loro.

- peso muratura: $P_m = 14.869,90 \text{ kg} = 145.823,93 \text{ N}$ (calcolo per via grafica)
- peso pilastro: $P_p = 5.916,10 \text{ kg} = 58.017,13 \text{ N}$
- peso dato dalla capriata: $F_c = 69.221,81 \text{ kg} = 678.834,20 \text{ N}$ -> questo carico viene diviso in due perché la forza si divide simmetricamente in due parti, e con direzione secondo le tangenti all'arco ($\alpha = 45^\circ$), per cui verrà considerato come peso della capriata il valore pari a : $339.417,15 \text{ N}$
 $F_o = F_c \sin \alpha = 240.004,13 \text{ N}$; $F_v = F_c \cos \alpha = 240.004,13 \text{ N}$
- dimensioni pilastro : $b = 630 \text{ mm}$; $h = 1030 \text{ mm}$; $y = h/2 = 515 \text{ mm}$;
 $A_a (\text{area imposta arco}) = b * h = 648.900 \text{ mm}^2$
- asse di inerzia: $I_x = 1/12 bh^3 [\text{mm}^4] = 630 * 1030^3 * 1/12 = 57.368.167.500 \text{ mm}^4$
- eccentricità della forza esercitata dal peso della muratura: $e_m = 590 \text{ mm}$
- eccentricità della forza esercitata dal peso della capriata: $e_c = 730 \text{ mm}$

Si calcolerà quindi la pressione assiale esercitata sul pilastro e il momento flettente, utilizzando la formula di Navier, sia in sommità che alla base del pilastro.

a. calcolo all'imposta dell'arco

$$\sigma_z^N = (P_m + F_v) / A_a \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\sigma_z^M = M * y / I = (P_m * e_m - F_v * e_c) * y / I_x \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\sigma_z^N = (385.828,06 / 648.900) \text{ N/mm}^2 = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_z^M = (145.823,93 * 590 - 240004,13 * 730) * (515 / 57.368.167.500) \text{ N/mm}^2 = -0,80 \text{ N/mm}^2$$

b. calcolo alla base del pilastro

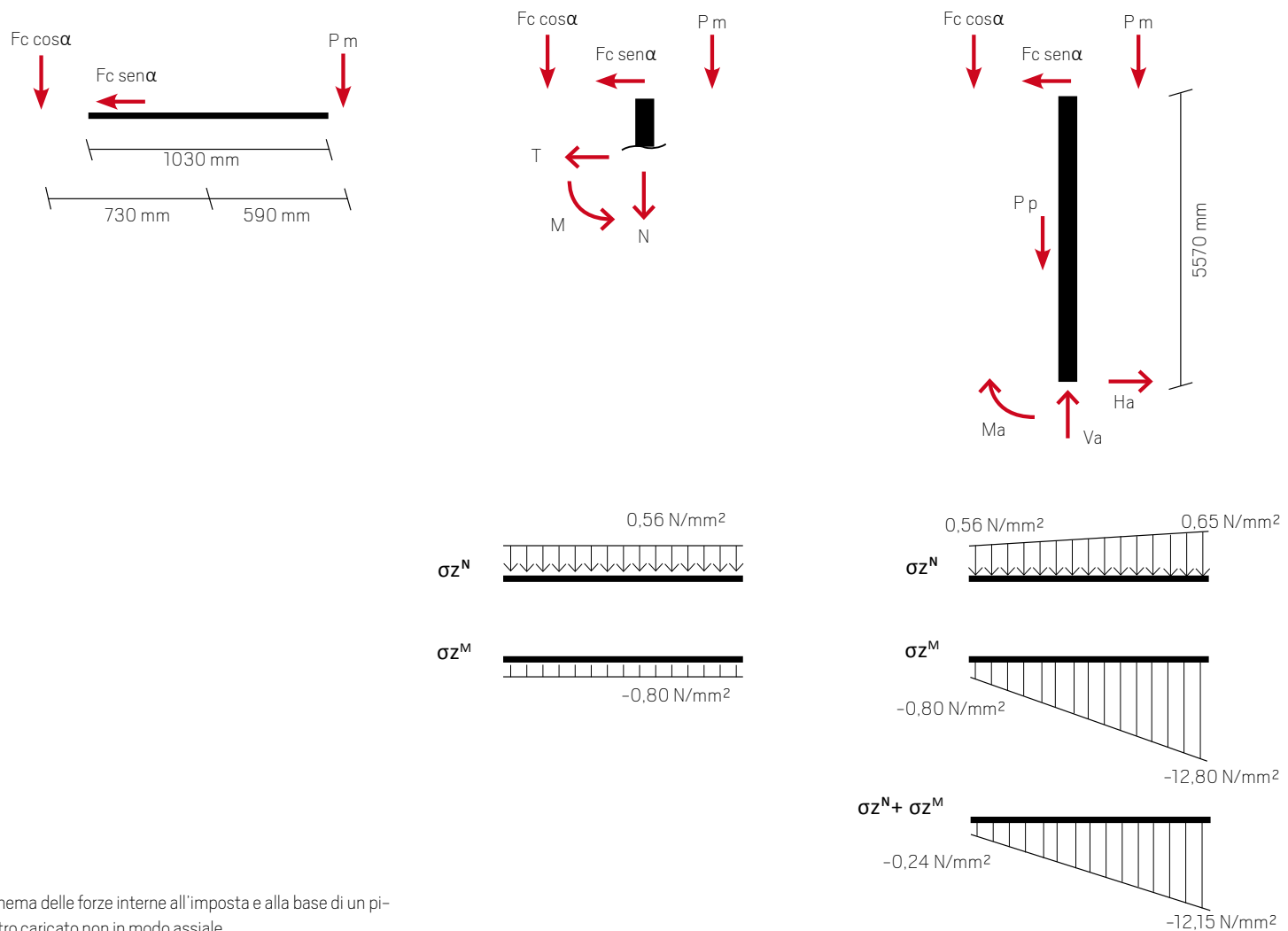
$$\sigma_z^N_{\max} = (P_m + F_v + P_p) / A_a \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\sigma_z^M = M * y / I = (P_m * e_m - F_v * e_c - F_o * h_p) * y / I_x \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\sigma_z^N_{\max} = (443.845,19 / 648.900) \text{ N/mm}^2 = 0,65 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_z^M (h=0) = -0,80 \text{ N/mm}^2 ; \sigma_z^M = -12,80 \text{ N/mm}^2$$

Rispetto a questo punto particolare si opererà un duplice monitoraggio, dapprima visivo alla ricerca di lesioni sulla parte bassa del pilastro, e un controllo circa la verticalità del pilastro. Il secondo lo si può effettuare attraverso l'uso del pendolo diritto che ci mostra anche piccoli spostamenti nel piano, avendo un'accuratezza del 0,01 mm. Questo monitoraggio verrà applicato durante la prova di carico e durante il posizionamento della nuova copertura. Nel caso in cui invece si dovessero individuare delle lesioni alla base del pilastro, si procederà con l'inserimento di deformometri. Attraverso l'uso delle prove soniche sarà inoltre possibile individuare, senza rimuovere l'intonaco presente, la presenza o meno di vuoti d'aria, ovvero di possibili lesioni, all'interno del pilastro, per cui non visibili ad occhio nudo.



Schema delle forze interne all'imposta e alla base di un pilastro caricato non in modo assiale.

9.1 CALCOLO DEL NOCCILO D'INERZIA

Dato che sul pilastro insistono due forze entrambe con una eccentricità, si procede al calcolo della loro risultante, verificando che essa giaccia nel nocciolo d'inerzia.

Tre sono i casi possibili:

1. La risultante cade all'interno del terzo medio. In questo caso ci troviamo di fronte ad un caso di compressione semplice dove l'asse neutro giace all'interno del nocciolo stesso.
2. La risultante cade sul bordo del nocciolo. Anche in questo caso abbiamo la sezione compressa, tuttavia è il caso limite poiché l'asse neutro coincide con uno degli spigoli del pilastro. Esso dovrà essere monitorato e non sovraccaricato ulteriormente.
3. La risultante cade fuori dal nocciolo d'inerzia. Questo è il caso in cui il pilastro è pressoflesso, per cui avranno luogo delle lesioni di taglio date dal momento flettente sulla base del pilastro e lesioni di tipo verticale date dalla compressione.

Calcolo degli assi d'inerzia

$$I_x = 1/12 bh^3 \text{ [mm}^4] = 630 \cdot 1030^3 \cdot 1/12 = 57.368.167.500 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 1/12 hb^3 \text{ [mm}^4] = 1030 \cdot 630^3 \cdot 1/12 = 21.462.367.500 \text{ mm}^4$$

Calcolo dei raggi di inerzia

$$i_{x_0} = \sqrt{I_x/A} \text{ [mm]} = \sqrt{57.368.167.500 \text{ mm}^4 / 648.900 \text{ mm}^2} = 297,33 \text{ mm}$$

$$i_{y_0} = \sqrt{I_y/A} \text{ [mm]} = \sqrt{21.462.367.500 \text{ mm}^4 / 648.900 \text{ mm}^2} = 181,86 \text{ mm}$$

Calcolo del nocciolo d'inerzia

$$G_x = i_{x_0}^2 / (h/2) \text{ [mm]} = (88408,33 \text{ mm})^2 / (1030/2 \text{ mm}) = 171,67 \text{ mm}$$

$$G_y = i_{y_0}^2 / (b/2) \text{ [mm]} = (33075 \text{ mm})^2 / (630/2 \text{ mm}) = 105 \text{ mm}$$

Calcolo della risultante

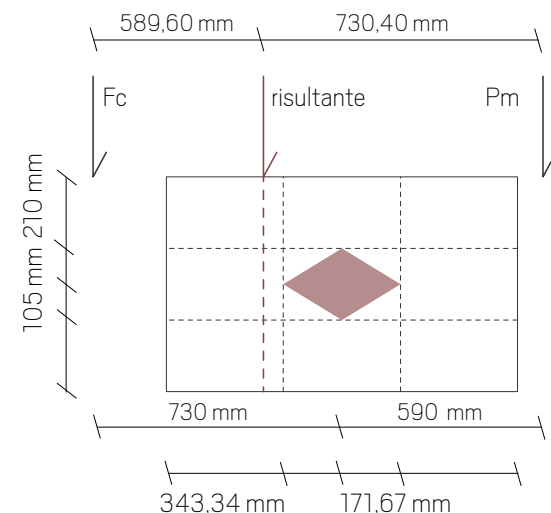
$$F_v \cdot x + P_m \cdot (x - 730 - 590) = 0$$

$$240.004,13 \text{ N} \cdot x + 145.823,93 \text{ N} \cdot (x - 1320 \text{ mm}) = 0$$

$$x = \frac{145.823,93 \text{ N} \cdot 1320 \text{ mm}}{240.004,13 \text{ N} + 145.823,93 \text{ N}} = 589,60 \text{ mm}$$

$$240.004,13 \text{ N} + 145.823,93 \text{ N}$$

La risultante cade fuori dall'asse di inerzia di circa 5 cm, dato che in realtà l'eccentricità della forza data dalla capriata è a 730 mm dal centro, per cui la somma delle forze non cade nel nocciolo d'inerzia. Il pilastro è quindi pressoflesso.

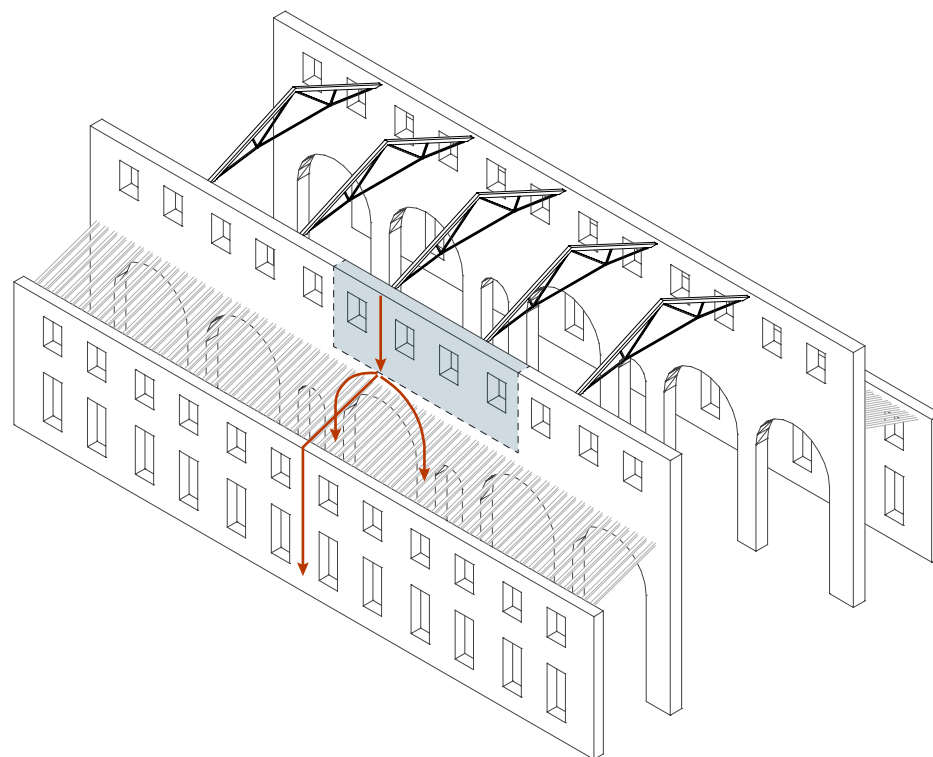


10. APPROFONDIMENTO ADINA: LA MURATURA

Quello che si vuole indagare attraverso l'analisi agli elementi finiti è il comportamento della muratura nel caso in cui si pensasse di ridare all'edificio una copertura, totalmente mancante da 18 anni, in vista di un progetto di riuso. Si valuteranno la distribuzione dei carichi verticali, gli spostamenti e se c'è rischio di ribaltamento della porzione alta del prospetto laterale, nel caso in cui la capriata funzioni oppure no, diventando dunque spingente.

È stata scelta una porzione di muratura di una parete della navata centrale con quattro finestre, in modo da avere due arrivi della capriata, e si analizza il comportamento della struttura fin sopra l'intradosso dell'arco: è dunque la porzione di muratura che assorbe tutto il carico della capriata che poi viene scaricato a terra grazie agli archi e alle navate laterali.

Per il modello agli elementi finiti, si ipotizza la parte in muratura da indagare come se fosse un elemento piastra, forato in corrispondenza delle finestre. Questo elemento in Adina si chiama "Shell", è bidimensionale con l'assegnazione di uno spessore unico, che in questo caso corrisponde allo spessore della muratura di 0,63 m. Il piano su cui è posto è quello yz, con l'asse y per l'orizzontale, l'asse



Assonometria sintetica dello stato di fatto. In evidenza la porzione di muratura presa in esame e lo studio della distribuzione delle forze risultanti dalla spinta della capriata.

z per il verticale e l'asse x uscente dal piano del foglio. La porzione di muratura scelta per l'analisi presenta quattro finestre e l'arrivo di due capriate.

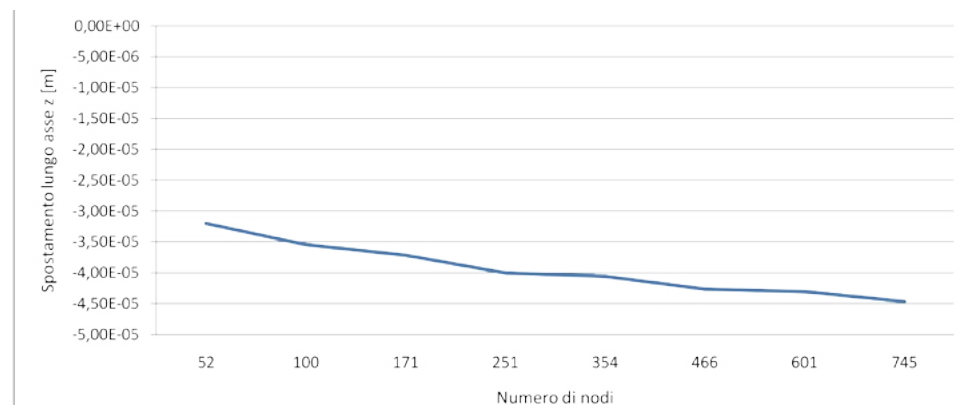
Si ipotizza una capriata, caricata con il peso di una nuova copertura e con vincoli cerniera-carrello nel punto di aggancio alla parete. In questo modo la capriata carica la muratura tramite una forza verticale, il cui valore è di 844.455,9 N.

Si ipotizzano vincoli cerniera-cerniera e dunque la capriata risulta spingente verso la muratura, sollecitandola attraverso una forza verticale, di modulo uguale alla precedente, e una forza orizzontale, che crea i maggiori problemi, in quanto può far avvenire un ribaltamento. Il valore della forza orizzontale è 229.249 N e Adina inserisce nel modello direttamente la risultante di queste due forze.

CASO 1

Nel caso in cui la capriata trasferisca alla muratura il solo carico verticale, si è voluto verificare lo spostamento che questa può subire lungo l'asse z ed è stata realizzata la relativa curva di convergenza. Gli spostamenti che si verificano sono dell'ordine del centesimo di mm, quindi da monitorare ma non preoccupanti e avvengono tutti in direzione -z.

Il grafico degli stress nel piano yz è quello mostrato nelle figure seguenti dove la prima immagine riguarda il modello con 52 nodi totali, la seconda con 745 nodi. Nella prima immagine i passaggi tra i



ELEMENTI FINITI	NODI per elemento	NODI TOTALI	SPOSTAMENTO z [m]	SPOSTAMENTO y [m]
1	4	52	-3,19911E-05	8,33485E-08
2	6	100	-3,54207E-05	8,80515E-08
4	9	171	-3,71767E-05	7,38462E-08
6	12	251	-4,00136E-05	7,02250E-08
9	16	354	-4,05960E-05	7,28644E-08
12	20	466	-4,26304E-05	7,18234E-08
16	25	601	-4,30746E-05	7,09020E-08
20	30	745	-4,46596E-05	6,97603E-08

vari colori sono netti, in quanto il programma riconosce che un elemento finito ha determinate caratteristiche magari completamente diverse da quello che ha di fianco. Con la discretizzazione dei risultati, si può notare invece la vera distribuzione dei carichi. Se confrontiamo questa con la deformata della struttura (aumentata del 10%), è visibile come la muratura è sollecitata a compressione (tratto blu) nel punto di arrivo della capriata, che man mano diminuisce (tratto rosso). La sollecitazione pare trasferirsi diagonalmente, cosa che si può verificare anche con un calcolo a mano per mostrare la distribuzione dei carichi in una muratura che da puntuale diventa a carico distribuito fino a terra. Nel nostro caso, la presenza della finestra determina una variazione di direzione nella distribuzione dei carichi. La deformazione è inoltre simmetrica rispetto alle due finestre e ciò che accade per una capriata, vale anche per l'altra.

CASO 2

Nel caso in cui la capriata trasferisca alla muratura un carico orizzontale e uno verticale, si sono voluti verificare gli spostamenti in direzione z, y, x. Per l'asse z si sono ripresentati gli stessi valori trovati nel caso 1.

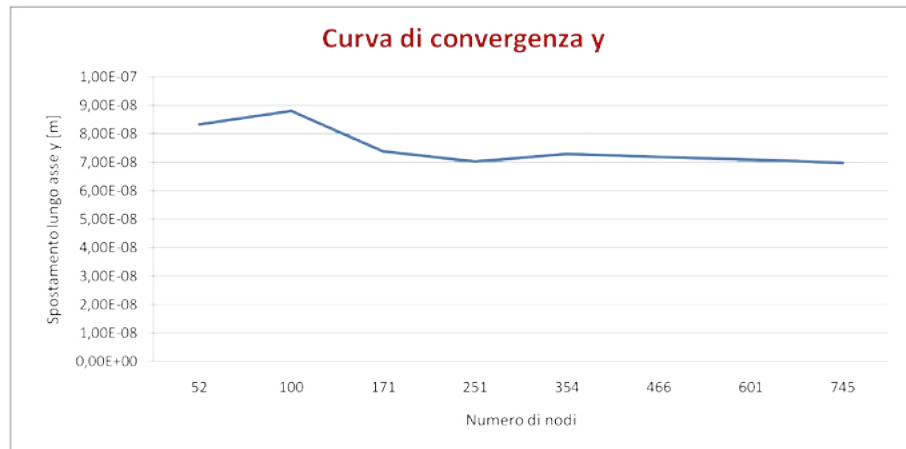
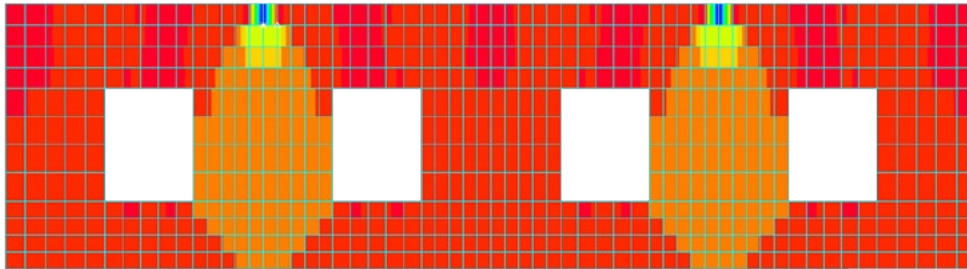
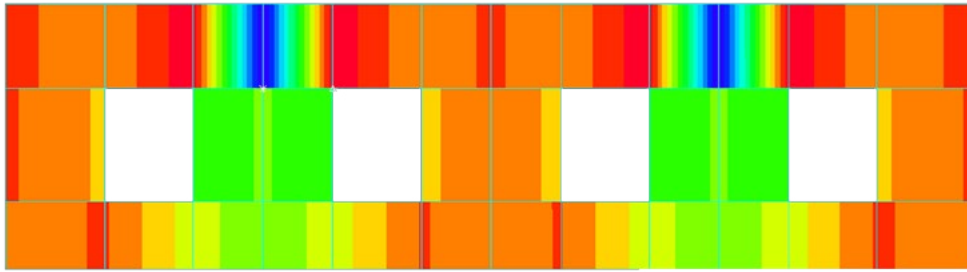
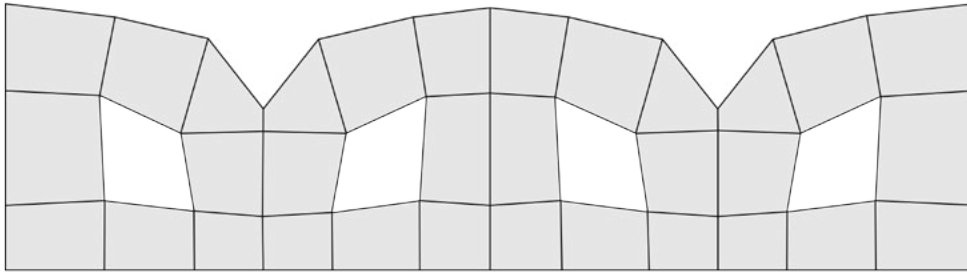
Gli spostamenti verificati per l'asse y sono assolutamente trascurabili. Quelli lungo l'asse x sono invece dell'ordine del decimo di mm quindi da monitorare.

CASO 2_IL RIBALTAMENTO

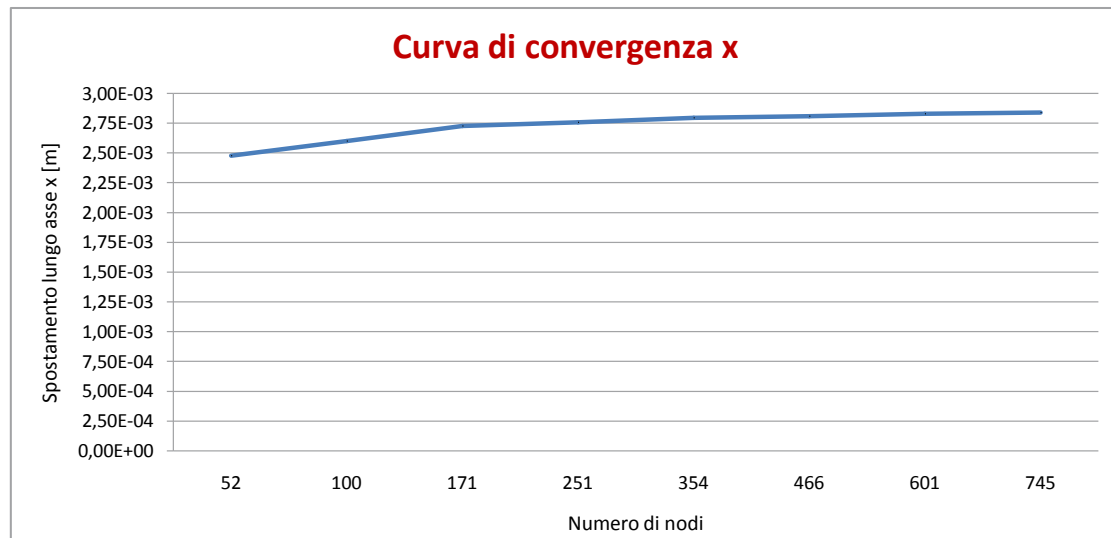
In questo secondo caso, il più critico, si è voluto verificare l'eventuale ribaltamento della struttura, causato dai carichi a cui è sottoposta. Il ribaltamento avviene tramite un momento ribaltante M_y , ruotando dunque attorno all'asse y. Vengono scelti dei nodi casuali in punti diversi della struttura, come vicino alla finestra, su muro pieno, vicino all'incastro o vicino all'arrivo della capriata. Di questi nodi si individuano M_y e N (forza assiale lungo z) e si verifica l'eccentricità a cui cade la forza rispetto ad una base di $1 \times 0,63$ m. Nel caso in cui la forza non cada nel nocciolo d'inerzia, si valuta la sezione parzializzata e il rispetto o meno della ammissibile per la resistenza a compressione della muratura, stimata da norma e legata alla malta tra i mattoni, presunta bastarda, a $2.000.000 \text{ N/m}^2$.

Come si nota dalla tabella, i nodi che presentano un'eccentricità che non supera quella massima si trovano in corrispondenza del carico della capriata. Sono uguali sia da una parte che dall'altra e, nonostante la sezione risulti parzializzata, la ammissibile risulta rispettata.

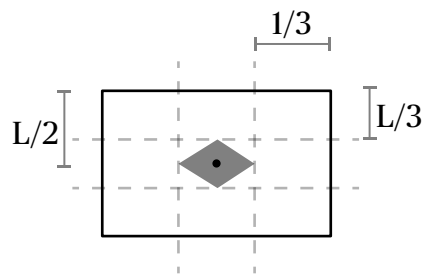
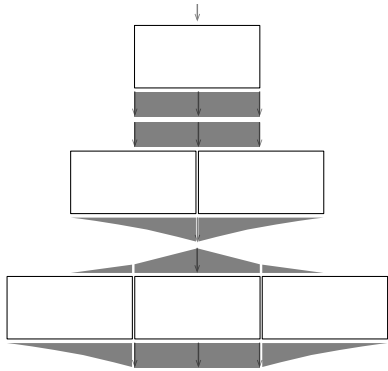
Negli altri casi invece, dove nelle immagini degli stress ci si sposta verso i colori più caldi e man mano che ci sposta in basso, l'eccentricità risulta sempre maggiore rispetto al massimo consentito e solo in un caso si può fare il confronto tra le , risultando tra l'altro per poco ammissibile: in tutti gli altri casi la sezione è completamente soggetta a trazione.



ELEMENTI FINITI	NODI per elemento	NODI TOTALI	SPOSTAMENTO y [m]
1	4	52	8,33485E-08
2	6	100	8,80515E-08
4	9	171	7,38462E-08
6	12	251	7,02250E-08
9	16	354	7,28644E-08
12	20	466	7,18234E-08
16	25	601	7,09020E-08
20	30	745	6,97603E-08



ELEMENTI FINITI	NODI per elemento	NODI TOTALI	SPOSTAMENTO x [m]
1	4	52	2,47870E-03
2	6	100	2,60032E-03
4	9	171	2,72970E-03
6	12	251	2,75782E-03
9	16	354	2,79760E-03
12	20	466	2,81180E-03
16	25	601	2,83188E-03
20	30	745	2,84033E-03



$$e = My/N$$

$$e_{\max} = 0,63 : 6 = 0,105 \text{ m}$$

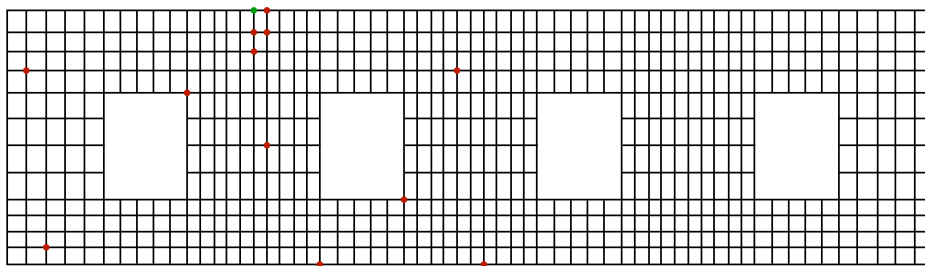
$$U = L/2 - e$$

$$= N/A^* + M/I^* \times y_{\max}$$

$$A^* = b \times 3U$$

$$I^* = (b \times 3U^3)/12$$

$$y_{\max} = 0,63/2 \text{ m} = 0,315 \text{ m}$$



SUPERFICIE_NODO	MOMENTO RIBALTANTE My	FORZA ASSIALE N	e	e terzo medio
476_4	-2,54173E+02	-4,22317E+04	0,006019	0,105
376_4	4,75860E+03	-8,67978E+02	-5,4824	0,105
65_2	-1,14250E+04	2,74271E+03	-4,16559	0,105
321_1	-1,95413E+04	9,13199E+02	-21,3987	0,105
460_3	2,54173E+02	-4,22242E+04	-0,00602	0,105
510_1	-2,42501E+03	-6,55636E+01	36,98714	0,105
476_1	-5,07693E+03	1,10211E+04	-0,46066	0,105
476_2	-6,60455E+03	2,85341E+04	-0,23146	0,105
476_3	-3,70023E+03	2,67653E+03	-1,38247	0,105
351_2	-8,73952E+03	4,23994E+03	-2,06124	0,105
407_1	-4,78673E+03	-1,94649E+02	24,5916	0,105
8_1	-1,35943E+09	5,07180E+02	-2680370	0,105
182_1	-1,18031E+04	2,87200E+03	-4,10971	0,105
500_4	1,13506E+03	-2,75439E+02	-4,12091	0,105
455_2	-3,55183E+03	8,30918E+03	-0,42746	0,105

Dentro o fuori dal nocciolo	U	A	I	σ
Dentro	0,308981	0,926944	0,066371	-46766,4
Fuori	-5,1674	0	0	0
Fuori	-3,85059	0	0	0
Fuori	-21,0837	0	0	0
Dentro	0,30898	0,926941	0,066371	-44345,9
Fuori	-36,6721	0	0	0
Fuori	-0,14566	0	0	0
Fuori	0,083538	0,250615	0,001312	-1472182
Fuori	-1,06747	0	0	0
Fuori	-1,74624	0	0	0
Fuori	-24,2766	0	0	0
Fuori	-2680370	0	0	0
Fuori	-3,79471	0	0	0
Fuori	-3,80591	0	0	0
Fuori	-0,11246	0	0	0

11. FONDAZIONI

Circa il problema delle fondazioni, si opererà come segue. Attraverso uno scavo di tipo geotecnico e con la consulenza di un esperto si valuterà in almeno quattro punti del perimetro esterno dell'edificio dell'ex-Macello dei Suini, la presenza delle fondazioni e la loro consistenza. I saggi saranno operati come disposto in figura e sono in numero di quattro al fine di avere la certezza che il tipo di fondazione che si troverà è continua in tutto l'edificio. Se si dovessero trovare diverse soluzioni di fondazione si procederà con ulteriori scavi al fine di comprendere se esiste una processualità temporale nella sequenza della costruzione delle fondazioni o se la stessa è coeva in ogni suo punto. In particolare tre sono i saggi sul perimetro dell'edificio in muratura, mentre un quarto saggio è previsto nella parte del portico ad est.

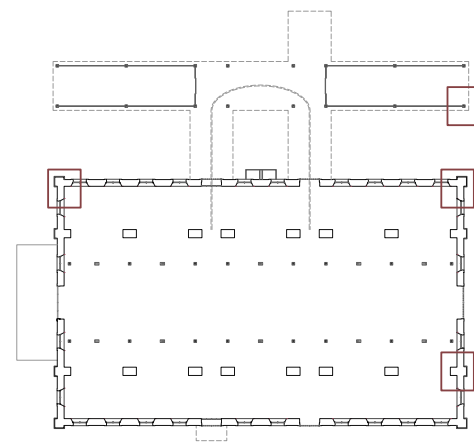
Si ipotizza, dato che la costruzione risale al 1902, che si ritroveranno delle fondazioni con grossi blocchi di pietra poggiata su un letto di malta usato col fine di livellare il terreno. Se ciò accade si procederà con lo studio di tale pietra al fine di verificare la sua disposizione, la sua resistenza meccanica, e in modo da verificare ulteriormente se la stessa potrà resistere alle sollecitazioni imposte dai nuovi carichi come da progetto o se bisogna procedere con un rinforzo delle stesse.

Il procedimento richiede dapprima uno studio e delle prove per la verifica della capacità di resistenza a compressione del terreno. Fatto ciò si valuterà se procedere con una micropalificazione del terreno che ha lo scopo di consolidare e irrobustire lo stesso. Circa l'inserimento dei micropali, esso potrà seguire lo schema di seguito spiegato. Si creerà uno scavo attorno alle fondazioni, il quale verrà protetto attraverso l'inserimento di paratie. Le travi che saranno create a perimetrare l'edificio avranno degli elementi metallici che andranno ad unire queste ultime con la muratura delle fondazioni. I micropali avranno diametro secondo la necessità individuata dal calcolo ingegneristico e si collegheranno alle travi di bordo attorno l'edificio.

Se la fondazione si presenterà in modo discontinuo o non coeso, allora si procederà con il rilievo della stessa, lo studio statico e probabilmente anche con il suo rinforzo. Esso potrà essere condotto mediante l'innesto di travi rovesce che ingabbieranno la struttura sottostante, ancorandosi alla muratura sottoterra e creando una maglia ortogonale al fine di ottenere una struttura collaborante.

Per il calcolo del carico incidente sulle fondazioni, si ipotizza la realizzazione di fondazioni con travi di bordo su tutto il perimetro e ingrossamento dei pilastri degli archi che dividono le navate. Questa ipotesi, e di conseguenza il calcolo riportato, andrà verificata e validata alla luce degli scavi geotecnici volti al fine di comprendere le fondazioni del manufatto.

Si calcola la resistenza che deve avere il pilastro di sinistra, considerando come pesi incidenti su di esso: la porzione di soletta rispetto l'area di influenza considerata, il peso della muratura sovrastante, un dodicesimo della copertura della navata centrale (considerando anche il peso di metà capriata) e un dodicesimo della copertura laterale. La forza peso agente sul pilastro dovrà essere bilanciata dalla resistenza a compressione del terreno sottostante. Si verificherà in opera, tramite appositi stu-



Pianta dello stato di fatto con evidenziate le porzioni di fondazioni su cui si vuole indagare in prima battuta.

di geotecnici, la capacità resistente del terreno. La resistenza a compressione di un terreno e il suo modulo di elasticità vengono determinati con la prova di compressione a espansione laterale libera.

11.1 CALCOLO DELLO SFORZO AGENTE SU UN PILASTRO DI FONDAZIONE

Come si vede dallo schema sottostante, il pilastro è posizionato in modo asimmetrico rispetto alla porzione di soletta su cui insiste il carico da esso portato.

Area del pilastro: 545.900 mm^2

Area di influenza: $(5,03 \times 7,28) \text{ m} = 36,62 \text{ m}^2 = 36.620.000 \text{ mm}^2$

Pesi incidenti: P soletta = $1.402.061,09 \text{ N}$

P muratura = $253.960,03 \text{ N}$

P 1/12 copertura laterale = $43.516,47 \text{ N}$

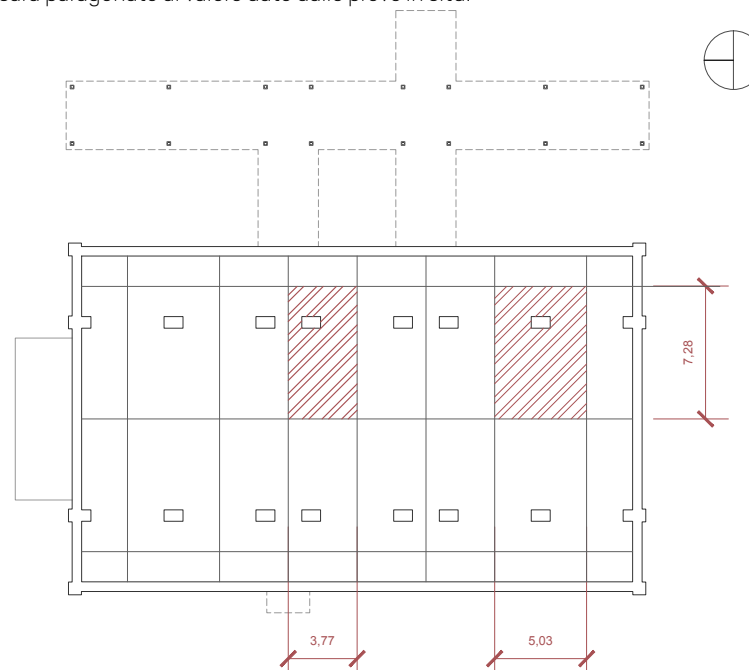
P 1/12 copertura centrale + 1/2 capriata = 23.508 N

Somma dei pesi = $1.723.045,60 \text{ N}$

Si valuta se il σ_{amm} della muratura è superiore al σ calcolato come nella formula 1, $\sigma = P/A_0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ dove P è la somma di tutti i pesi e A_0 è l'area del pilastro.

$$\sigma = 1.723.045,60 \text{ N} / 545.900 \text{ mm}^2 = 315,63 \text{ N/mm}^2$$

Lo sforzo sarà paragonato al valore dato dalle prove in situ.

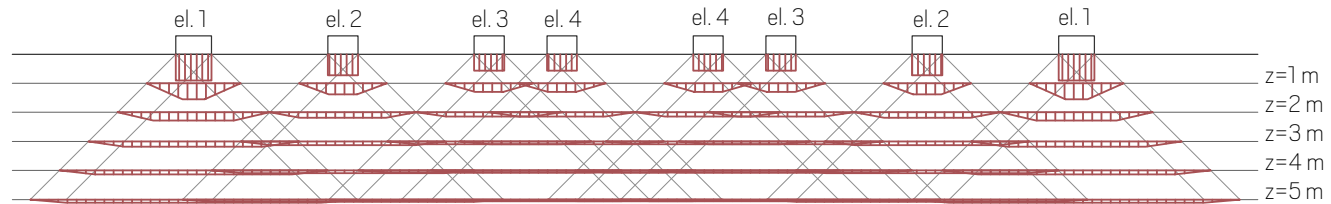


Attraverso il diagramma di Kogler Scheidig, detto anche bulbo delle pressioni, si analizzerà la distribuzione degli sforzi nel terreno dati dalla fondazione. Il cambio d'uso dell'edificio, con il conseguente aumento dei carichi potrebbe infatti provocare dei cedimenti fondali. Nella tabella sottostante si riportano i valori della distribuzione del peso sui vari pilastri. Data la simmetria del manufatto è possibile analizzare solo quattro tipologie diverse di pilastri. La formula recita:

$$P' = (b/2)/z * p_0$$

dove P' è il peso alla quota z , mentre p_0 è il peso iniziale e b la base del pilastro.

Si calcolano quindi diversi P' a cinque diverse quote di 1,2,3,4,5 m.



	area influenza in pianta [mq]	peso portato (p_0) [kg]	b [m]		P1 (z=1)	P2 (z=2)	P3 (z=3)	P4 (z=4)	P5 (z=5)
pilastro facciata	22	3611732,19	1,23		222465,30	111232,65	74155,10	55616,32	44493,06
elemento 1	36,5	293035,86	1,03		150913,47	75456,73	50304,49	37728,37	30182,69
elemento 2	27,3	227191,08	1,03		117003,41	58501,70	39001,14	29250,85	23400,68
elemento 3	27,3	227191,08	1,03		117003,41	58501,70	39001,14	29250,85	23400,68

Diagramma di Kogler Scheidig applicato alla struttura a pilastri della navata centrale dell'edificio e tabella riassuntiva dei calcoli.

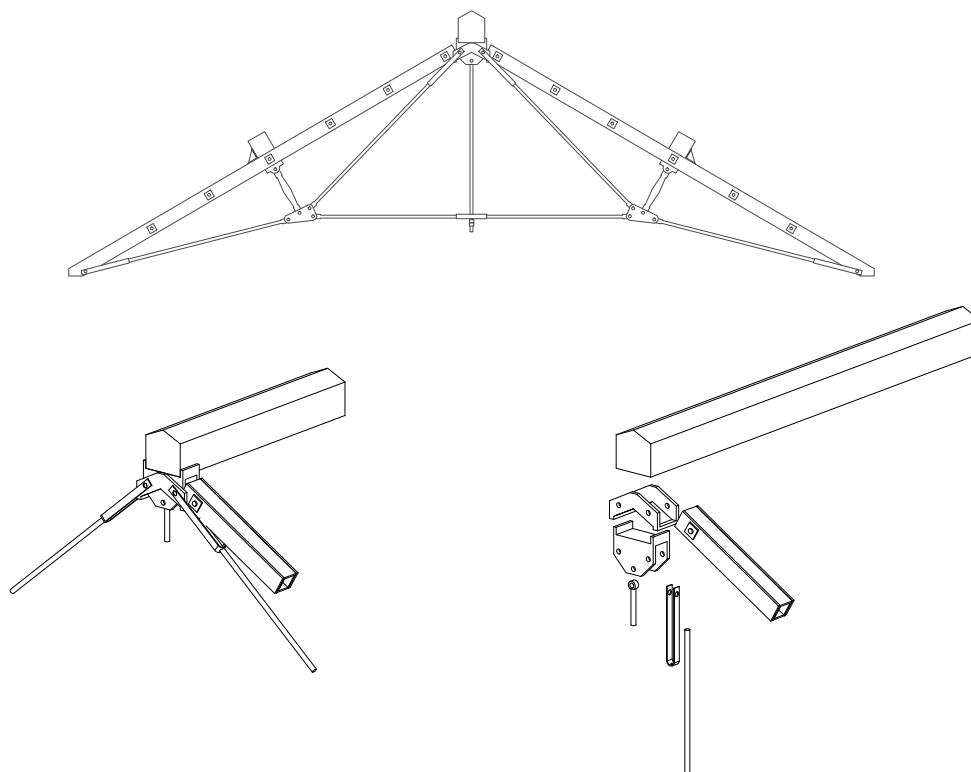
12. ANALISI TENSIONE AMMISSIBILE CAPRIATA

Dato che non è stato possibile rilevare in modo diretto la capriata, si decide di procedere al suo controllo statico, calcolando quale dovrebbe essere il corretto dimensionamento degli elementi, e successivamente confrontare i dati con quelli in opera. Le sezioni che si andranno a rilevare dovranno poi essere diminuite del 5% in modo da porci in sicurezza, assumendo quindi che parte della sezione rilevata è corrosa e quindi non concorre alla resistenza degli elementi. Si ipotizza invece che i cavi della capriata possano aver perso la loro tensione originaria, bisognerà quindi regolare nuovamente il tiraggio della stessa.

Due sono le verifiche condotte:

- di resistenza del materiale per le porzioni tese che collassano al raggiungimento dello snervamento del materiale;
- di resistenza del materiale e di stabilità dell'elemento per quelle compresse che possono collassare anche prima del limite di snervamento sotto talune condizioni.

Il materiale, scelto per il modello di studio, è l'acciaio Fe 360, la cui tensione di snervamento carat-



In alto: Ipotesi costruzione della capriata.

In basso: Ipotesi dell'incastro del punto centrale della capriata, assonometria ed esploso.

teristica secondo la norma UNI EN 10027, è pari a $f_d = 235 \text{ Mpa} = 235 \text{ N/mm}^2$. Questo valore, viene diminuito di un coefficiente pari a 1,5 per ragioni di sicurezza. Il nuovo f_d sarà pari a $f_d(\text{dim}) = 156,7 \text{ N/mm}^2$. Inoltre i risultati trovati delle aree efficaci saranno nuovamente diminuiti del 5%. La sezione così ottenuta sarà quella che andremo a verificare se esistente in opera.

12.1 DIMENSIONAMENTO DELL'ELEMENTO TESO

Gli elementi tesi hanno di solito sezioni minori rispetto agli elementi compressi, perché non subiscono gli effetti del fenomeno di instabilità. La capacità portante dell'elemento teso è condizionata dall'area effettivamente reagente nella sezione d'attacco, ovvero la sezione non comprende eventuali bulloni e fori. Si utilizzano i valori forniti dalla CNR 10011 (paragrafo 6.2) circa le aree nette equivalenti (A_{eff} area effettiva) da impiegare nella verifica.

In opera sappiamo che gli elementi sottoposti a trazione hanno una sezione circolare, decidiamo quindi di calcolare quale dovrebbe essere la loro area effettiva, dati l'azione assiale agente e la tensione di snervamento caratteristica scelta. Le formule dirette saranno quindi tramutate in quelle indirette alla ricerca appunto dell'area necessaria. La prima formula serve per il calcolo agli stati limite, la seconda per le tensioni ammissibili.

$$\sigma^N = N / A_{\text{eff}} \leq f_d \text{ da cui } A_{\text{eff}} \geq N / f_d$$

$$\sigma^N = N / A_{\text{eff}} \leq \sigma_{\text{adm}} \text{ da cui } A_{\text{eff}} \geq N / \sigma_{\text{adm}}$$

dove N = azione assiale di trazione e A_{eff} = area effettiva

La soluzione delle azioni assiali è stata trovata utilizzando il programma Matlab e inserendo come dati le equazioni di congruenza riportate alla pagina successiva.

Dai risultati ottenuti si individuano le aree minime necessarie per gli elementi. Si sottolinea come la struttura così definita non risulta simmetrica. In particolare abbiamo:

$$\begin{array}{llll} F1 = 64 \text{ mm}^2 & F2 = 57 \text{ mm}^2 & F3 = 206 \text{ mm}^2 & F4 = 183 \text{ cm}^2 \\ F5 = 2240 \text{ mm}^2 & F6 = 0 \text{ mm}^2 & F7 = 0 \text{ mm}^2 & F8 = 0 \text{ mm}^2 \\ F9 = 113 \text{ mm}^2 & F10 = 8 \text{ cm}^2 & F11 = 87 \text{ mm}^2 & F12 = 133 \text{ mm}^2 \quad F13 = 284 \text{ mm}^2 \end{array}$$

12.2 DIMENSIONAMENTO DELL'ELEMENTO COMPRESSO

Le aste caricate di punta possono essere soggette a instabilità per carico di punta, per cui possono collassare anche prima di raggiungere il limite ultimo di resistenza del materiale. La verifica che ne risulterà sarà quindi doppia, da un lato la verifica di resistenza a compressione e dall'altro si considera il fenomeno dell'instabilità.

$$\sigma^N = N / A \leq f_d \text{ da cui } A \geq N / f_d$$

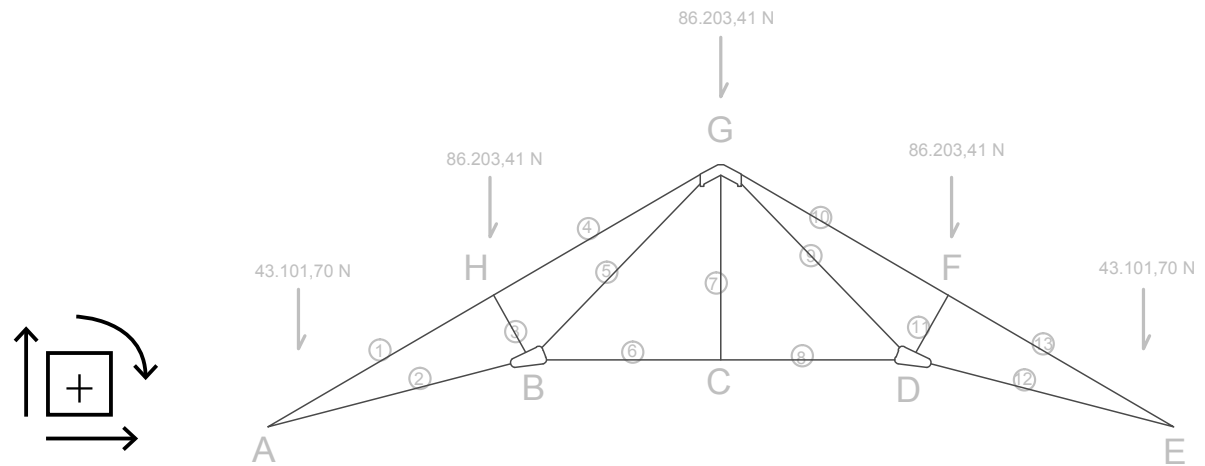
$$\sigma^N = N / A \leq \sigma_{\text{adm}} \text{ da cui } A \geq N / \sigma_{\text{adm}}$$

dove N = azione assiale di compressione e A = area nominale del profilo al netto di eventuali fori

Nel calcolo si sono distinti i due casi, tensione e compressione, semplicemente attraverso l'uso del segno positivo o negativo prima del valore della forza assiale N.

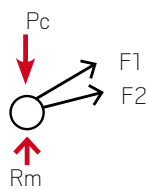
Per quanto riguarda il monitoraggio, si deve considerare che essendo una struttura metallica, essa risentirà in modo maggiore di deformazioni a causa di variazioni termiche. Lo stato di sforzo non può essere calcolato in modo diretto, per cui andrà valutato tramite le formule prima utilizzate, tramite tabelle, normative e programmi di calcolo. Per lo studio della condizione dello stato di fatto è stato utilizzato il programma ADINA. La capriata, se correttamente tirantata si comporta come una trave che scarica le sue forze in modo perpendicolare, quindi in asse con le murature.

Potranno essere inseriti in opera degli impianti di controllo di breve durata di tipo ottico meccanico al fine di valutare nel tempo la risposta della capriata al nuovo carico.



In questa pagina: schema sintetico della capriata con segnati i nodi e le aste e le forze per il calcolo.

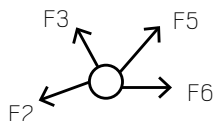
Nella pagina successiva: equazioni di equilibrio.



nodo A

$$\text{orizz. } F1\cos30^\circ + F2\cos14^\circ = 0$$

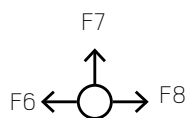
$$\text{vert. } -Pc + Rm + F1\sin30^\circ + F2\sin14^\circ = 0$$



nodo B

$$\text{orizz. } F2\cos14^\circ - F3\cos61^\circ + F5\cos46^\circ + F6 = 0$$

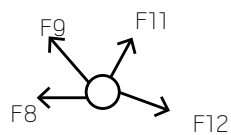
$$\text{vert. } -F2\sin14^\circ + F3\sin61^\circ + F5\sin46^\circ = 0$$



nodo C

$$\text{orizz. } -F6 + F8 = 0$$

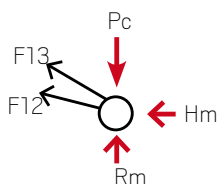
$$\text{vert. } F7 = 0$$



nodo D

$$\text{orizz. } -F8 - F9\cos46^\circ + F11\cos61^\circ + F12\cos14^\circ = 0$$

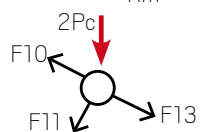
$$\text{vert. } F9\sin46^\circ + F11\sin61^\circ - F12\sin14^\circ = 0$$



nodo E

$$\text{orizz. } -Hm - F12\cos14^\circ - F13\cos30^\circ = 0$$

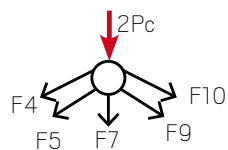
$$\text{vert. } -Pc + F12\sin14^\circ + F13\sin30^\circ + Rm = 0$$



nodo F

$$\text{orizz. } F13\cos120^\circ - F11\cos60^\circ - F10\cos30^\circ = 0$$

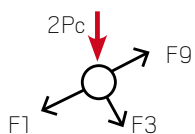
$$\text{vert. } -2Pc - F11\sin60^\circ - F13\sin120^\circ + F10\sin30^\circ = 0$$



nodo G

$$\text{orizz. } F10\cos30^\circ + F9\cos46^\circ - F5\cos46^\circ - F4\cos30^\circ = 0$$

$$\text{vert. } -2Pc - F7 - F4\sin30^\circ - F5\sin46^\circ - F9\sin46^\circ - F10\sin30^\circ = 0$$



nodo H

$$\text{orizz. } F4\cos30^\circ + F3\cos60^\circ - F1\cos150^\circ = 0$$

$$\text{vert. } -2Pc - F1\sin150^\circ - F3\sin60^\circ + F4\sin30^\circ = 0$$

13. APPROFONDIMENTO ADINA: LA CAPRIATA (STATO DI FATTO)

L'analisi svolta col programma ADINA, verte a determinare i carichi agenti e la risposta della struttura nel momento in cui venisse ricollocata una nuova copertura, ad esempio nell'ipotesi di un nuovo riutilizzo dell'edificio.

Si sono analizzati diverse situazioni per avere un quadro completo delle sollecitazioni risultanti.

La capriata è una struttura isostatica, che grazie alla presenza della catena, trasmette come carico sulla struttura cui si appoggia, solo una reazione verticale.

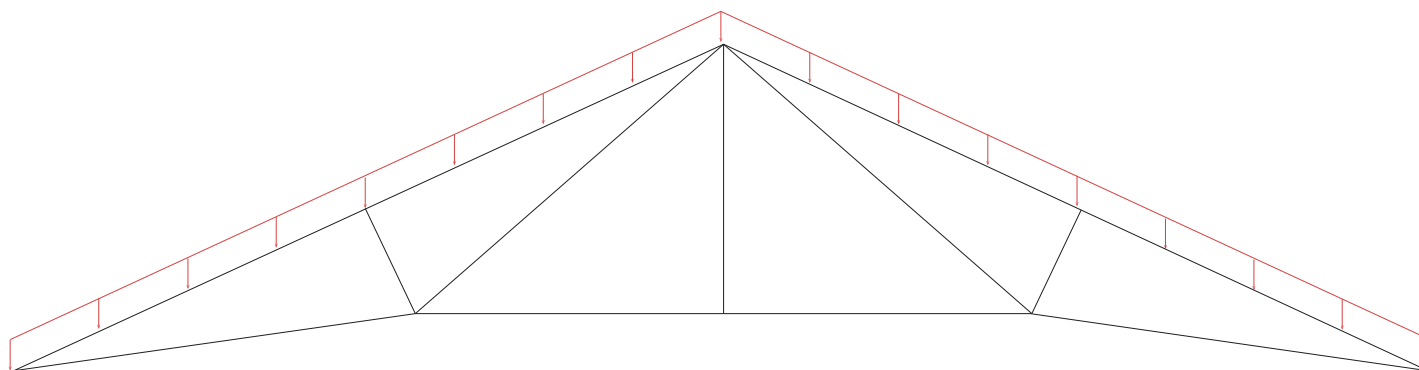
Per questo motivo si è voluto studiare sia il caso in cui la struttura sia perfettamente funzionante e quindi trasmetta solo un carico verticale, sia il caso in cui, per cedimento di un vincolo, la stessa abbia sia una reazione verticale che una orizzontale. Questi due casi si riassumono ponendo come vincoli una prima volta cerniera-cerniera ed una seconda volta cerniera-carrello.

Il materiale scelto è il Ferro 430, usato spesso per strutture metalliche come questa. Esso ha un peso specifico di circa 8 kg/dm^3 , il modulo di Young pari a $E=200'000 \text{ N/mm}^2$ e carico di rottura a trazione di 430 N/mm^2 .

Il carico è stato calcolato come somma degli strati di un'ipotetica nuova copertura. Si è incluso nel calcolo anche il carico della neve posto, come da norma, pari a $1,5 \text{ kN/m}^2$ e il peso proprio della capriata pari a $329,6 \text{ kg}$ ovvero pari a $3232,27 \text{ N}$. Si sono analizzate due situazioni diverse di carico, intendendolo sia come carico distribuito sia come forze concentrate nei tre nodi posti in alto, in corrispondenza delle tre travi poste sulla capriata.

Su ciascuno di essi abbiamo un carico differente, poiché differente è l'area di influenza. I tre carichi sono: a. $63487,35 \text{ N}$, b. $112036,5 \text{ N}$, c. 97079 N .

Come già detto in precedenza, non è possibile rilevare con precisione le dimensioni dei profili, ma



attraverso sopralluoghi e rilievi storici si sono individuati tre "forme" diverse per i diversi componenti della capriata. Essa è composta da due puntoni che, in prima battuta sembravano due IPE, solo successivamente si è compreso che sono due tubolari; dei tiranti che hanno un profilo cilindrico e due bielle con forma a clessidra.

Per quanto riguarda gli elementi si sono posti:

- come profilo ipe e quindi come elementi beam i due puntoni;
- come profilo pipe e quindi come elementi truss tutti i cavi;
- come profilo rectangular le bielle. Esse sono state studiate una volta come elementi beam e una volta come elementi truss.

13.1 VERIFICA ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

La verifica è effettuata con i risultati delle forze trovati dal calcolo a mano. Il calcolo è stato condotto come una trave reticolare caricata sui nodi, con i valori sopra indicati.

Si trovano valori di azione assiale per i puntoni di 30.600N, per i cavi di 252.700 N, e per le bielle di 41.840 N. L'area su cui insiste il carico è per i puntoni di 1700 mm², per i cavi di 1300 mm², per le bielle di 3200 mm².

$\sigma_{\max}(\text{Fe430}) = \text{tra } 190 \text{ N/mm}^2 \text{ e } 240 \text{ N/mm}^2$

puntoni $\sigma = 30'600/1700=18 \text{ N/mm}^2$

cavi $\sigma = 252700/1300=194 \text{ N/mm}^2$

biella $\sigma = 41840/3200=13,07 \text{ N/mm}^2$

Sono verificati i casi dei puntoni e delle bielle, mentre il caso dei cavi assume valori che andrebbero meglio confrontati una volta indagata la natura del materiale.

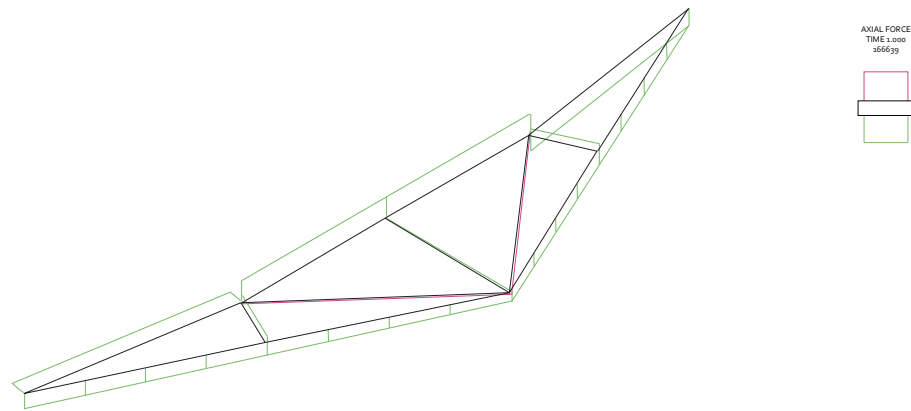
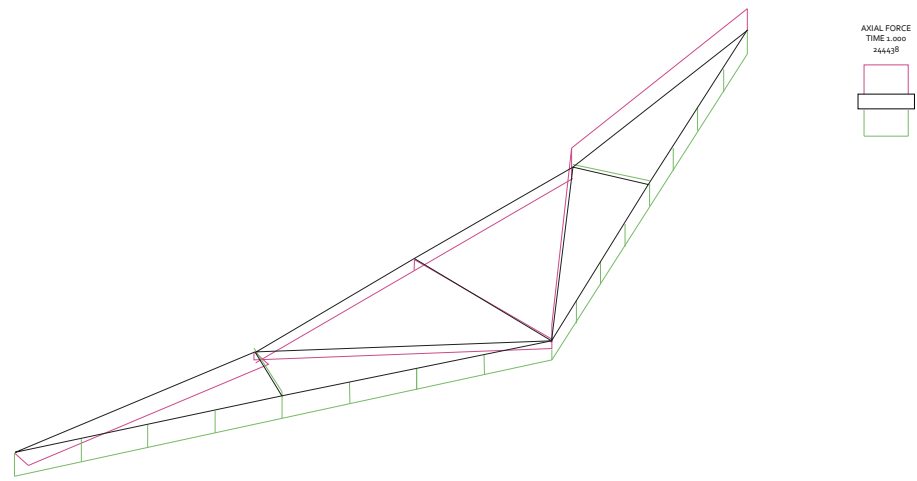
Si riportano i due casi più significativi, poiché più vicini al vero:

3. vincolo: cerniera-carrello; carico: distribuito; bielle: elemento truss

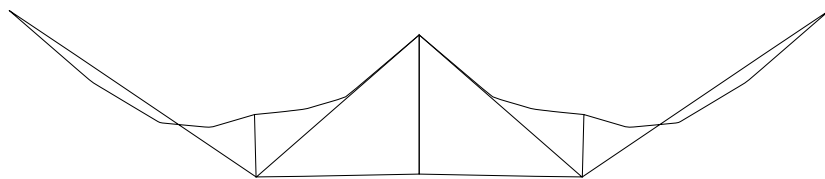
reazione: Node 1 (x) 0.00000E+00 (y) 8.44559E+04;
Node 6 (x) 4.77303E-09 (y) 8.44559E+04

4. vincolo: cerniera-cerniera; carico: distribuito; bielle: elemento truss

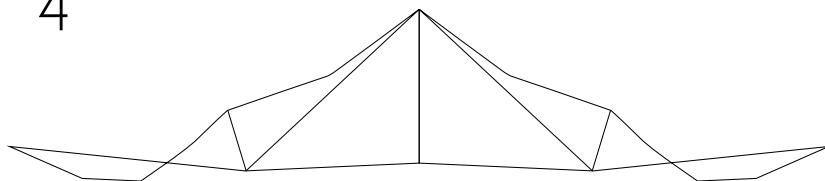
reazione: Node 1 (x) 2.29249E+05 (y) 8.44559E+04;
Node 6 (x) -2.29249E+05 (y) 8.44559E+04



3



4



Si riportano in figura le due conformazioni più vicine al vero. In particolare in alto sono riportati i valori delle azioni interne trovate con il programma Adina e in basso le due deformate risultanti.

14. EVENTUALI ALTRI MONITORAGGI E CONSOLIDAMENTI

a) Gli archi che suddividono in navate lo spazio interno, possono creare un problema di ribaltamento delle facciate corte, poiché il carico da essi portato viene suddiviso in due forze simmetriche e spingenti, come riportato in figura. Per verificare se tali spinte portano la facciata a uscire fuori dall'asse, si può procedere con un monitoraggio attraverso il livello zenitale (vedi scheda capitolo successivo). Esso permette di misurare gli spostamenti sul piano x,y attraverso due scale graduate. Si devono scegliere per la misurazione un punto in basso ed uno in alto, il primo sarà dato da un pilastro realizzato ad hoc, e il secondo sarà un punto sul cornicione della facciata corta.

b) Dalle verifiche ai punti 1,2,3,5 si dedurrà se le capriate ora in opera sono sufficienti a reggere il carico e se quest'ultimo è ben distribuito sulla muratura sottostante. In caso questo non dovesse accadere si può procedere all'inserimento di nuove capriate per creare nuovi punti di scarico, possibilmente in asse con i pilastri, in modo da evitare problemi di pressoflessione.

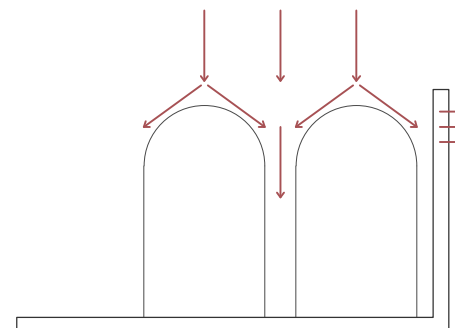
c) Se, dopo i monitoraggi, l'osservazione in situ e la verifica dei calcoli, i pilastri centrali saranno valutati come soggetti a pressoflessione, si può operare attraverso un consolidamento con una catena inframuraria. Essa sarà già in tensione, se la pressoflessione ha un valore particolarmente importante, sarà invece posta in opera come consolidamento passivo, se invece il valore non è alto, così che la catena si attivi solo nel momento in cui la forza esce di molto fuori dal nocciolo di inerzia. Dal calcolo si evince che la risultante esce di 5 cm circa dal nocciolo, si verificherà questo in opera.

d) Il sistema delle catene inframurarie si adopererà nelle navate laterali, se dopo i monitoraggi, l'osservazione in situ e la verifica dei calcoli, si osserverà un ribaltamento delle facciate lunghe est ovest a causa di una forza spingente da parte della copertura laterale.

e) Si opererà un consolidamento di tipo restitutivo alle fondazioni, se si valuterà la necessità di un rinforzo, tramite l'uso di travi rovesce. Queste avranno lo scopo di collegare l'intera fondazione dell'edificio così da creare un corpo rigido.

f) Si suggerisce di controllare la tirantatura delle capriate metalliche.

g) Se nelle prime operazioni di cantiere si individuano problematiche legate a fenomeni di umidità di risalita dal terreno, si può procedere all'uso della termocamera che mostrerà qualitativamente la presenza di acqua. Tale indagine andrà ripetuta dopo l'inserimento del vespaio areato sia sul perimetro esterno che nelle nuovo pacchetto del solaio controterra.



15. DIAGNOSI E MONITORAGGI: PREMESSA

Il progetto di diagnostica precede il progetto di conservazione poiché essa può definire i tempi e i costi dell'intervento. Gli strumenti della diagnostica e del monitoraggio possono infatti fornire dati importanti al fine di valutare le condizioni dello stato di fatto del manufatto, punto di partenza per il progetto delle strutture e dei carichi. Definire le strutture presenti in opera, il loro stato di sforzo e le loro condizioni risulta un primo passo imprescindibile per poi comprendere se e come poter modificare i carichi. Risulta anche fondamentale monitorare i cambiamenti di modo da verificare in corso d'opera la reazione delle strutture ai cambiamenti di carico.

Si procede quindi prima con un'analisi di tipo diagnostico, che parte da un'ispezione generale visiva che ha lo scopo di individuare i punti più critici che andranno poi indagati.

Diverse sono le prove e di conseguenza i metodi, in particolare si ricorda che esistono metodi non distruttivi, semidistruttivi e distruttivi. I risultati possono essere di tipo qualitativo o quantitativo in base allo strumento usato e all'obiettivo dell'indagine. In generale i metodi distruttivi forniscono risultati più precisi ma non è sempre possibile effettuare prove che prevedono la rottura di porzioni di apparecchi murari o l'asportazione di parti del manufatto. Risulta particolarmente difficile nel momento in cui il manufatto è un bene tutelato o di interesse storico, tuttavia anche le analisi di tipo non invasivo riescono a fornire un quadro abbastanza completo e dettagliato dei punti che si analizzano. Queste ultime si dividono a loro volta in indagini di tipo passivo, quindi non invasive o attive, quindi invasive poiché agiscono sul manufatto con stimoli (elettromagnetici, acustici, radioattivi, ecc), per questo motivo devono essere utilizzati correttamente.

L'ultimo passo fondamentale è la programmazione degli interventi di manutenzione al fine di mantenere lo stato di salute buono per l'edificio. È possibile utilizzare il modello 3D, realizzato con il programma Rhinoceros a partire dal rilievo geometrico, per definire un modello BIM (Building Information Modeling) che possa essere la base per i monitoraggi futuri dell'edificio.

I campi di lavoro che andremo ad indagare sono la lettura del quadro fessurativo e relativo monitoraggio, problemi morfologici al fine di indagare le tecniche costruttive e i paramenti delle varie porzioni di muratura, e infine il controllo dell'efficacia delle operazioni di consolidamento.

16. SCHEDE DEGLI INTERVENTI

Di seguito sono riportate le schede dei principali interventi previsti al fine di conoscere e monitorare nel tempo lo stato di salute dell'edificio.

D 1: ISPEZIONE VISIVA

Obiettivo

L'obiettivo di un'accurata ispezione è la verifica e l'individuazione dei punti più critici di una struttura in opera. È possibile la lettura dei quadri fessurativi e la definizione di una prima interpretazione dei meccanismi di danno che hanno provocato tali lesioni.

Si verificheranno anche le condizioni generali delle strutture in opera, in particolare la presenza di umidità nei pressi delle strutture lignee o metalliche, ma anche lo stato di degrado.

Strumento e suo utilizzo

Non ci sono strumentazioni particolari, se non gli occhi e l'uso di lenti a vari ingrandimenti.

Svantaggi

-non è una lettura di tipo oggettivo, ma è tanto migliore quanto l'operatore ha esperienza

Dove eseguire la prova

Questa è la prima prova che deve essere svolta su tutte le superfici verticali, sia in esterno che in interno, facendo maggiore attenzione alla verifica di quadri fessurativi o a condizioni di degrado dei materiali che potrebbero provocare fenomeni di dissesto.

Sarebbe opportuno ispezionare gli alloggiamenti delle travature e delle capriate, potendo salire in opera attraverso l'uso di un trabattello. In questi punti bisogna verificare se sussistono delle condizioni ambientali (umidità) che possono portare a fenomeni di degrado.

D 2: MARTINETTI SEMPLICI

Obiettivo

La prova di tipo semidistruttivo serve a misurare lo stato di sforzo in un punto preciso della muratura. Può servire anche nella verifica di cedimenti differenziali o fuori piombo.

Strumento e suo utilizzo

Lo strumento consiste in tasca a forma rettangolare o di una mezzaluna, sorretta da due manici. Essa viene infilata in una fessura ricavata da un taglio della malta di allettamento fra due mattoni. Prima del taglio del giunto si procede alla misurazione di alcuni punti noti sulla muratura, di modo che attraverso lo strumento si riporti la muratura alle condizioni iniziali. In questo modo si riesce anche a tarare lo strumento di modo da ottenere dei risultati corretti. I punti scelti sono perpendicolari al taglio e a cavallo dello stesso, più un'ulteriore coppia di prova parallela al taglio.

Una volta inserito il martinetto nel taglio dentro la muratura, vengono rimisurati i punti iniziali. A questo punto si inizia a gonfiare la tasca del martinetto e si monitora attraverso un estensimetro a filo removibile e un barometro, la connessione fra la pressione e la posizione dei punti. Il valore di sforzo è calcolato mediante una formula che tiene conto della pressione all'interno del martinetto, della taratura dello strumento e di una costante adimensionale data dal rapporto fra le aree del martinetto e del taglio.



Svantaggi

Il dato ricavato è valido nel punto di misura, non è una misura omogenea. Per questo motivo di solito viene analizzato il punto sottoposto allo sforzo maggiore, come i maschi murari.

Normativa

Norme europee R.I.L.E.M

nr. LUMD2 – TC76 LUM del 1991 per la prova con martinetto piatto singolo, "In-situ strength/elasticity tests on masonry based on the flat jack", in Rilem Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials, E&FN Spon, 1994

Dove eseguire la prova

Si consiglia di effettuare la prova su un pilastro caricato assialmente dalla capriata e su un pilastro che potrebbe, come verificato al punto 3 del secondo capitolo, essere soggetto a pressoflessione. I risultati così trovati saranno comparati fra loro e con i valori trovati dalla prova con i martinetti doppi. Questo al fine di avere ulteriori elementi per valutare lo stato di sforzo all'interno dei pilastri e verificare i risultati trovati sperimentalmente. La prova sarà effettuata a pilastro scarico e dopo l'aggiunta del nuovo carico della copertura.

La stessa prova sarà effettuata in un punto della muratura laterale al fine di valutare lo stato di sforzo della medesima prima e dopo l'inserimento della copertura. Preferibilmente in corrispondenza dell'alloggiamento della struttura lignea di sostegno.



D 3: MARTINETTI DOPPI

Obiettivo

La prova con i martinetti doppi è una prova meccanica a compressione della muratura. In particolare è possibile leggere lo stato di sforzo mono-assiale, verificare la resistenza a cicli di carico-scarico e quindi definire il modulo di deformabilità.

Strumento e suo utilizzo

Lo strumento utilizzato è il martinetto semplice ma accoppiato ad un suo simile ad una distanza verticale di circa 40-50 cm.

Vengono effettuati due tagli, solitamente rimuovendo dei giunti di malta, altre volte individuandoli all'interno di pietre o mattoni, nel caso di murature non compatte o non omogenee. Vengono scelti dei punti perpendicolari ai tagli e in mezzo agli stessi, più un'ulteriore coppia di prova parallela ai tagli che serviranno da controllo durante le varie fasi.

Dapprima infatti si verificano le distanze fra le coppie dei punti, successivamente si opera il taglio e si inseriscono i martinetti e viene fatta una seconda lettura delle coppie, poi vengono gonfiati i martinetti e si misura nuovamente. Anche qui il rapporto fra la pressione all'interno dello strumento e la verifica della dimensionalità potrà aiutare a definire i parametri cercati.

Svantaggi

E' una prova di tipo invasivo e semidistruttivo.

Normativa:

Norme europee R.I.L.E.M

nr. LUMD3 – TC76 LUM del 1991 per la prova con martinetto piatto doppio

RILEM TC 76 LUM D2, 1991, "In-situ stress tests on masonry based on the flat jack", in Rilem Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials, E&FN Spon, 1994

Dove eseguire la prova

Si consiglia di effettuare la prova su un pilastro caricato assialmente dalla capriata e su un pilastro che potrebbe, come verificato al punto 3 del secondo capitolo, essere soggetto a pressoflessione. I risultati così trovati saranno comparati fra loro e con i valori trovati dalla prova con i martinetti singoli. Questo al fine di avere ulteriori elementi per valutare lo stato di sforzo all'interno dei pilastri e verificare i risultati trovati sperimentalmente. La prova sarà effettuata a pilastro scarico e dopo l'aggiunta del nuovo carico della copertura.

La stessa prova sarà effettuata in un punto della muratura laterale al fine di valutare lo stato di sforzo della medesima prima e dopo l'inserimento della copertura. Preferibilmente in corrispondenza dell'alloggiamento della struttura lignea di sostegno.



D 4: PROVA SONICA

Obiettivo

L'indagine denominata "prova sonica", è un'indagine di tipo sperimentale che si svolge in sito e restituisce un dato di tipo qualitativo. Essa sfrutta la teoria delle onde elastiche, associando la velocità di propagazione dell'onda elastica allo spessore della sezione muraria e al tempo di percorrenza. La relazione usata vale per i materiali perfettamente elastici, omogenei e isotropi, e lega la velocità di propagazione delle onde elastiche attraverso un mezzo materiale alle caratteristiche meccaniche e fisiche del materiale provato. In questo modo risulta facile la lettura delle discontinuità, se presenti all'interno della muratura considerata come un corpo solido.

Strumento e suo utilizzo

La muratura viene da un lato di essa sollecitata con l'ausilio di un martello strumentato e dall'altra parte viene rilevata l'onda tramite un accelerometro. Il martello è collegato ad un trasduttore di forza che ne legge l'intensità dell'impulso generato nella percussione e il suo contenuto in frequenza. I punti in cui si effettua la prova sono prestabiliti a priori e sono solitamente dislocati lungo una orizzontale. Al fine di ottenere una lettura più completa e omogenea, soprattutto nel caso in cui l'oggetto di indagine è un pilastro, è possibile effettuare la prova su tutti i lati e mettere in relazione i risultati così ottenuti. Intersecando le informazioni si ottengono dei risultati più precisi. La prova può essere effettuata in diverse modalità: per trasparenza, ovvero martello e trasduttore sono situati in modo parallelo ma su piani opposti, di superficie, ovvero il trasduttore è posto in parallelo ma sullo stesso piano del martello, o radiale, ovvero l'angolo fra il martello e il trasduttore è un angolo retto. Si consiglia infatti di definire una griglia in modo da rappresentare i valori trovati e poter utilizzare i medesimi per un eventuale monitoraggio.

Vantaggi e svantaggi

- E' un'indagine poco costosa e poco invasiva e mi restituisce il modulo elastico di una muratura.
- La lettura di una disomogeneità di una muratura non ha una risposta univoca, ma può essere dato da più fattori, si deve proseguire con altre indagini più specifiche.
- la prova è valida solo se la muratura sottostante è omogenea.

Normativa

UNI 10627-1997

Normal 22/86: Misura delle velocità di propagazione del suono.

Dove eseguire la prova

La prova sonica risulterà utile nell'individuare lo stato di salute degli elementi verticali portanti, prima che vengano effettuate le prove semidistruttive (D2 e D3).

Si consiglia di effettuare le prove per trasparenza su tutti i lati dei pilastri. In questo modo si potranno correlare le informazioni e definire in modo più certo anche la parte centrale del pilastro stesso.



D 5: TERMOGRAFIA

Obiettivo

È una delle prime prove e tra le metodiche maggiormente utilizzate nella diagnostica. Essa è un'indagine qualitativa e non distruttiva che, lavorando su grandi estensioni, permette di dare un quadro generale della temperatura delle murature, operando nella banda delle radiazioni infrarosse. In particolare per quanto riguarda l'umidità, con la termo-camera è possibile leggere le tracce di bagnatura che la muratura presenta: una muratura bagnata risulta essere infatti più fredda di una asciutta.

Strumento e suo utilizzo

L'analisi termografica può essere condotta in condizioni passive (non invasive) ovvero, soprattutto durante la stagione estiva, lasciando che il muro venga scaldato dal sole ed effettuando la prova a fine giornata (17° circa) oppure in condizioni attive (invasive), scaldando meccanicamente la muratura su cui poi effettuare la prova. Quest'ultima azione può risultare dannosa, soprattutto in presenza di affreschi, condizione che non riscontriamo. La prova può essere ripetuta anche dopo alcuni mesi dagli interventi di conservazione, in particolar modo per verificare se l'umidità presente nelle murature è diminuita.

Vantaggi

Effettua una lettura della muratura fino ad una profondità di 3 cm, si può così comprendere: 1. l'orditura della struttura; 2. la presenza di ponti termici; 3. la presenza di vuoti, come ad esempio sbollature dell'intonaco o la presenza di fessure, leggibili entrambi dal fatto che l'aria risulta più calda del muro; 4. la presenza di impianti sotto lo strato di intonaco.

Per effettuare questa prova è necessario mantenere una griglia o dei punti di riferimento, per facilitarne poi la restituzione grafica e il monitoraggio nel tempo.

Normativa

È una prova normata, per poterla realizzare è infatti necessario seguire le seguenti norme :

- UNI 9252/1988 e ISO 6781/1983
- Raccomandazioni NORMAL 42/93
- UNI 9124-2/1987
- UNI 11120/2004
- UNI 11131/2005

Dove eseguire la prova

La prova termografica sarà effettuata in modo passivo nella stagione primaverile/estiva su tutti i fronti esterni ed interni al fine di individuare eventuali tracce di umidità residua. Difatti allo stato attuale l'edificio non presenta alcuna copertura e di conseguenza tutti i fronti risultano esposti agli agenti atmosferici.



D 6: ANALISI DELLE MALTE

Obiettivo

Una serie di prove verranno effettuate per campionare e verificare la qualità della malta. Questo sarà utile per definire le caratteristiche della muratura e nel momento in cui sarà necessario effettuare un rappizzo. Conoscendo il materiale di base se ne potrà accostare uno di simili caratteristiche che quindi risulterà compatibile.

Il prelievo della malta sarà effettuato sia per campionare la malta di allettamento nella muratura che gli intonaci di rivestimento sia interni che esterni.

Strumento e suo utilizzo

-Analisi chimiche

Due prove vengono effettuate, la prima detta analisi della SILICE SOLUBILE permette di definire il tipo di legante, mentre attraverso la DIFFRATTOMETRIA A RAGGI X è possibile verificare la composizione mineralogica del materiale.

-Analisi fisiche

Le analisi fisiche mostreranno la granulometria del materiale e la sua porosità. Attraverso l'uso di setacci si potrà determinare la qualità della granulometria e le proporzioni della stessa all'interno di un campione, mentre il porosimetro al mercurio mostrerà il grado di porosità del materiale. Nello strumento viene inserito il materiale ed il mercurio, successivamente si cambia la pressione, affinché il mercurio possa penetrare nel materiale. Si può correlare la pressione con la dimensione dei pori, per cui ad ogni step di aumento della pressione si verifica quanto mercurio è stato assorbito e tale sarà la percentuale dei pori di una certa dimensione.

-Prove meccaniche

Verrà effettuata una prova di compressione con un campione 4*4*16 cm confezionato con le stesse caratteristiche rilevate dalle prove precedenti.

Svantaggi

-il dato ricavato è valido nel punto di misura, non è una misura omogenea.

Dove eseguire la prova

Verranno presi dei campioni di malta sui prospetti esterni ed interni a due diverse quote, una a 1,2 m e l'altra a 3,5 m. Nei punti in cui l'intonaco manca è possibile prelevare anche delle porzioni di malta di allettamento.

MS 1: DEFORMOMETRO MECCANICO DI PRECISIONE

Obiettivo

Per realizzare il monitoraggio strutturale, ovvero l'andamento nel tempo delle lesioni, si opererà attraverso lo strumento del deformometro meccanico di precisione. Il monitoraggio verrà effettuato sia a livello conoscitivo sia a livello di controllo successivo. Esso ci indicherà infatti l'andamento delle lesioni (se dipendente da variazioni climatiche o se la larghezza della lesione è in continuo aumento) sia a monte per decidere se intervenire, sia dopo gli interventi (se eseguiti) al fine di verificarne la bontà degli esiti.

Strumento e suo utilizzo

Una volta pulita la superficie sulla quale si andrà a fissare i puntali, si posano quest'ultimi a pressione grazie all'uso della colla bicomponente. Vengono fissati in modo equidistante tre puntali che scavalcano la lesione, in modo che si andrà a leggere le misure su di un triangolo equilatero. In questo modo avremo la certezza della bontà della misurazione.

Lo strumento del deformometro non viene lasciato in opera, ma viene di volta in volta alloggiato facendo coincidere le punte dello stesso con i puntali e procedendo con la lettura dal manometro fissato sullo strumento. Lo strumento è costruito in invar, materiale speciale che non subisce deformazioni al variare della temperatura.

Le misure saranno fatte con una periodicità almeno stagionale e saranno comparate con l'andamento della temperatura al momento della lettura. Si realizzerà quindi un grafico con la temperatura e i mm della larghezza della lesione in ordinata e i giorni in ascissa. Il risultato dovrebbe dare due curve sinusoidali opposte, poiché la variazione dell'andamento della fessura è in genere inversamente proporzionale alla temperatura registrata.

Vantaggi

- maggiore precisione nella lettura perché permette di avere letture di ordine del decimo di millimetro;
- precisione data anche dal materiale dello strumento (invar).

Svantaggi

- misurazione manuale, necessita di un operatore.

Dove eseguire la prova

La prova verrà sicuramente effettuata sulla piattabanda del portone di ingresso sul fronte sud dell'edificio. Tutti gli altri punti in cui effettuare la prova saranno decisi dopo un'accurata ispezione come indicato nella tavola allegata a fine capitolo, e quindi dopo la restituzione grafica del rilievo del quadro fessurativo.



MS 2: LIVELLAZIONE DI ALTA PRECISIONE

Obiettivo

La livellazione di alta precisione ha l'obiettivo di mostrare la presenza di cedimenti fondali dell'edificio preso in analisi. Per questo i capisaldi verranno posti sia all'interno dell'edificio stesso che all'esterno dello stesso, in modo da verificare sia cedimenti interni di porzioni dell'edificio che dell'edificio stesso. Tali operazioni di controllo verranno effettuate sia all'inizio del cantiere al fine di verificare lo stato di partenza delle strutture di fondazione, che durante la posa dei nuovi carichi, ovvero durante la posa della nuova copertura, che inciderà sull'intera struttura, che durante la posa del nuovo carico dell'auditorium che incide direttamente sulla porzione centrale delle fondazioni. Il rischio è minimo poiché il carico non è ingente, tuttavia si verificherà che non ci sia un abbassamento di quella porzione, ovvero un aumento di quota da parte delle porzioni vicine.

Strumento e suo utilizzo

Lo strumento utilizzato è un livello a cannocchiale, il quale posto in un punto intermedio ai due capisaldi, detto punto di stazione, permette la collimazione di questi al fine di determinare la differenza di quota fra i punti. Tutti questi punti verranno individuati sul terreno mediante il posizionamento di chiodi topografici. La singola misurazione viene denominata battuta e, per avere la certezza della correttezza della misurazione effettuata, la battuta viene letta sia in andata che al ritorno. Volendo determinare dislivelli tra punti distanti si ricorre a più battute fra punti disposti lungo una linea, detta linea di livellazione. Per misure di elevata precisione anche le stadie dovranno essere di elevata precisione; si usano per tale evenienza stadie in invar. Queste sono costituite da un'armatura in legno cui è opportunamente fissato un nastro in invar su cui sono tracciate due graduazioni con tratti di spessore non superiore ad 1 mm. I tratti sono tracciati con grande cura in modo che gli errori di graduazione siano inferiori a poche centesimi di mm. Sempre per una maggiore accuratezza si può utilizzare un livello con la lamina piano parallela, la quale permette una lettura più precisa della stadia.



Vantaggi

- maggiore precisione nella lettura perché permette di avere letture di ordine del decimo di millimetro;
- precisione data anche dal materiale dello strumento (invar);
- possibilità di collegare in futuro la rete di livellazione del Macello Suini alle altre reti che si individueranno per gli altri edifici limitrofi dell'area.

Svantaggi

- misurazione manuale, necessita di un operatore.

Dove eseguire la prova

La prova verrà eseguita scegliendo come capisaldi punti sui pilastri principali, su alcuni prospetti interni, in particolare vicino alle porte, di modo da collegare poi i capisaldi interni con uno o più punti esterni che vengono presi come punti assoluti.

MS 3: LIVELLO ZENITALE

Obiettivo

Lo scopo di tale rilievo è la verifica della verticalità delle facciate sottoposte a spinte di tipo perpendicolare alle stesse.

Strumento e suo utilizzo

Questo strumento viene utilizzato per la misura delle variazioni di verticalità e può essere abbinato ad una slitta micrometrica. Lo strumento del livello zenitale ha il medesimo funzionamento di un normale livello, ma a differenza di questo presenta all'interno delle lenti che permettono la collimazione di un caposaldo situato sull'asse zenitale dello strumento. Per questo motivo risulta necessario individuare in opera un caposaldo in quota che sarà utilizzato per le misurazioni, ad esempio sotto i cornicioni di gronda, e un caposaldo a terra che invece servirà per fissare lo strumento al terreno. Qualora la superficie esterna si presenterà non piana o scabra, si prevederà la costruzione di piccoli pilastri in cemento che saranno posizionati in opera durante tutte le fasi di monitoraggio previste (prima e dopo l'aggiunta dei carichi).

Le variazioni leggibili con lo strumento sono dei movimenti lungo il piano, per cui sia lungo l'asse x che l'asse y, mediante la slitta micrometrica (vedi figura a lato).

Vantaggi

- maggiore precisione nella lettura perché permette di avere letture di ordine del decimo di millimetro;
- precisione data anche dalla slitta micrometrica per la lettura delle variazioni.

Svantaggi

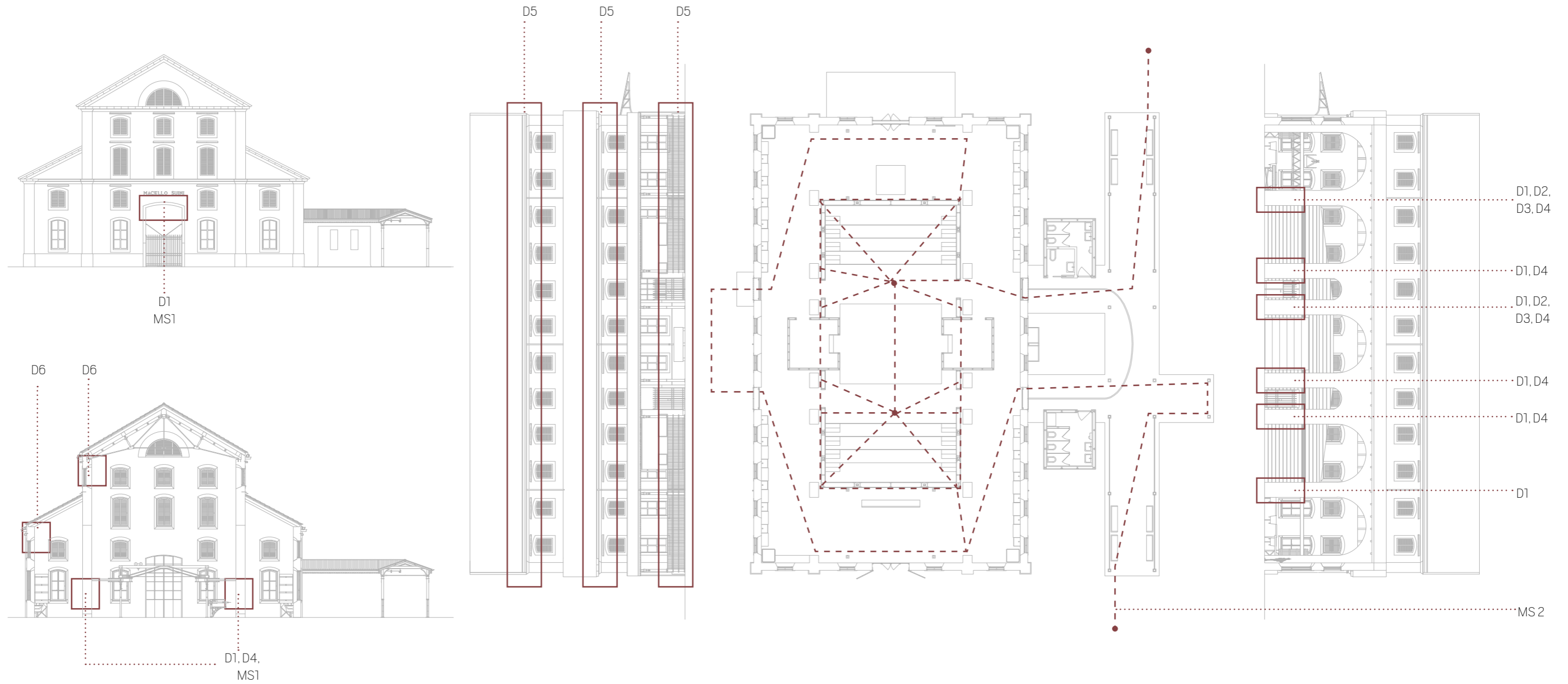
- misurazione manuale, necessita di un operatore.

Dove eseguire la prova

La prova verrà effettuata per le tutte le facciate esterne: le facciate nord e sud sono infatti perpendicolari a una teoria di archi che potrebbero creare problemi di ribaltamento della parte alta della facciata, mentre le facciate est e ovest ricevono alla sommità in modo continuo una spinta obliqua data dagli elementi di legno di sostegno della copertura laterale.



INDIVIDUAZIONE DELLE ZONE DOVE EFFETTUARE LE PROVE



17. CONCLUSIONI SULLO STATO DI SALUTE

Nonostante il fatto che l'edificio sia rimasto per più di trent'anni inutilizzato e privo della sua copertura, lo stato di salute è relativamente buono.

Difatti la costruzione si presenta omogenea e ben ammassata, dalla geometria semplice e rinforzata nei punti di carico. Questo ha favorito la resistenza ai carichi verticali portati, quali le coperture che adesso mancano. Da un'analisi storica e fotografica si è ipotizzata la stratigrafia della muratura storica per cui si è potuto ricavare il dato del suo carico, che confrontato con il nuovo peso della copertura di progetto, risulta essere maggiore. Condizione questa che ci permette di pensare che la muratura, anche se da un'analisi più approfondita risulterà in parte compromessa, potrà sopportare il nuovo carico introdotto.

Inoltre tutte le verifiche apportate ci hanno permesso di constatare che la resistenza della muratura è ottima, tali valori potranno essere poi verificati in sito mediante le prove coi martinetti.

Circa le fondazioni non è possibile dare un giudizio poiché nulla, né cartografia, né ispezioni visive senza scavo, ci permettono di conoscerne la qualità e l'entità. Tuttavia si sottolinea come non sono visibili lesioni riconducibili a possibili dissesti del terreno: l'unica lesione è infatti in corrispondenza della chiave di volta dell'arco ribassato che definisce la bucatatura d'ingresso nel lato sud, che è troppo piccola per suggerire un grave dissesto delle fondazioni.

Anche delle capriate non è possibile definire univocamente il loro stato di salute poiché non ispezionabili da vicino. Si sono trovati però i valori sperimentali col calcolo analitico da poter confrontare in opera.

PARETE (stato di fatto)				
Strato	Spessore s [m]	Conducibilità termica λ [W/mK]	Resistenza R [m ² K/W]	
R sup. interna			0,13	
Intonaco calce e gesso	0,02	0,7	0,03	
Mattoni pieni	0,47		0,47	
Intonaco di malta bastarda	0,03	0,93	0,03	
R sup. esterna			0,04	
			0,70	RESISTENZA TOT. R [m ² K/W]
			1,43	TRASMITTANZA TOT. U [W/m ² K]

COPERTURA (stato di fatto)				
Strato	Spessore s [m]	Conducibilità termica λ [W/mK]	Resistenza R [m ² K/W]	
R sup. interna			0,10	
Elemento portante in legno				
Tavelloni in cotto	0,06		0,13	
Intercapedine d'aria	0,04			
Tavelle in cotto	0,03		0,11	
Tegole marsigliesi	0,01	0,99	0,01	
R sup. esterna			0,04	
			0,39	RESISTENZA TOT. R [m ² K/W]
			2,56	TRASMITTANZA TOT. U [W/m ² K]

PARETE (progetto)				
Strato	Spessore s [m]	Conducibilità termica λ [W/mK]	Resistenza R [m ² K/W]	
R sup. interna			0,13	
Intonaco calce e gesso	0,02	0,7	0,03	
Mattoni pieni	0,47		0,47	
R sup. esterna			0,04	
			0,67	RESISTENZA TOT. R [m ² K/W]
			1,50	TRASMITTANZA TOT. U [W/m ² K]

COPERTURA (progetto)				
Strato	Spessore s [m]	Conducibilità termica λ [W/mK]	Resistenza R [m ² K/W]	
R sup. interna			0,10	
Elemento portante in legno	0,004			
Assito in legno d'abete	0,02	0,12	0,17	
Elemento tenuta aria/vapore	0,004	0,40	0,01	
Pannello Rockwool Durock C	0,06	0,037	1,62	
Pannello Rockwool Hardrock Energy+ listelli	0,08	0,036	2,22	
Intercapedine ventilata	0,06		0,06	
R sup. esterna			0,04	
			4,22	RESISTENZA TOTALE R [m ² K/W]
			0,23	TRASMITTANZA TOTALE U [W/m ² K]

FINESTRA (progetto)				
Strato	Spessore s [m]	Conducibilità termica λ [W/mK]	Resistenza R [m ² K/W]	
R sup. interna			0,13	
Vecchio serramento (U=5,66 W/m ² K)			0,18	
R intercapedine	0,08		0,18	
Nuovo serramento (U=1,8 W/m ² K)			0,56	
R sup. esterna			0,04	
			0,74	RESISTENZA TOTALE R [m ² K/W]
			1,35	TRASMITTANZA TOTALE U [W/m ² K]

FONDAZIONI (progetto)				
Strato	Spessore s [m]	Conducibilità termica λ [W/mK]	Resistenza R [m ² K/W]	
R sup. interna			0,17	
Cemento elicotterato	0,035			
Massetto per impianti	0,06	1,31	0,05	
Isolante XPS styrofoam	0,10	0,034	2,94	
Membrana al vapore	0,005	0,4	0,01	
Massetto con rete elettrosaldata	0,06	1,31	0,05	
Igloo	0,65			
Magrone	0,05	1,2	0,04	
R sup. esterna			0,04	
			3,30	RESISTENZA TOT. R [m ² K/W]
			0,30	TRASMITTANZA TOT. U [W/m ² K]

elemento	spessore [m]	peso [kg/m ³]	peso [kg/m ²]	la [m]	lu [m]	area [m ²]	volume [m ³]	peso tot [kg]
marsigliesi	0,01		40	12,33	62,40	769,39		30.775,68
listelli per sorreggere i coppi	0,04	450		12,33	62,40	769,39		
tavelline in cotto (3*25*50)	0,03		24,4	12,33	62,40	769,39		18.773,16
tavelloni in cotto (6*25*50)	0,06		38	12,33	62,40	769,39		29.236,90
elemento portante in legno	0,25	450		12,33	62,40	769,39		
neve			400	12,33	62,40	769,39		307.756,80
listelli fra isolanti e per sorreggere i coppi	0,04	450		12,33	62,40	769,39	32,01	14.404,50
capriata metallica		7870				1,32	0,05	415,54
TOTALE	0,39							400.947,04
peso copertura (esclusa la capriata)/6								66.824,51
(peso copertura/6+capriata)/2								33.620,02

Tabella: Peso copertura storica, la stratigrafia è ipotizzata in base a rilievi e allo studio della cartografia storica

elemento	spessore [m]	peso [kg/m ³]	peso [kg/m ²]	la [m]	lu [m]	area [m ²]	volume [m ³]	peso tot [kg]
coppi in rame	0,02		8,3	12,33	62,40	769,39		6385,954
guaina bituminosa	0,004	500		12,33	62,40	769,39	3,078	1538,784
pannello in OSB	0,02	660		12,33	62,40	769,39	15,388	10155,974
intercapedine ventilata	0,06			12,33	62,40	769,39	46,164	0
pannello Rockwool Hardrock Energy	0,08	150		12,33	62,40	769,39	61,551	9232,704
pannello Rockwool Durock C	0,06	170		12,33	62,40	769,39	46,164	7847,798
elemento di tenuta all'aria	0,004	500		12,33	62,40	769,39	3,078	1538,784
assito in legno d'abete	0,023						17,696	/
elemento portante in legno	0,25							/
listelli fra isolanti e per sorreggere i coppi	0,04						28,240	12708,00
neve			400	12,33	62,40	769,392		307756,8
capriata		7870				1,32	0,053	415,536
TOTALE	0,521							35161,21
peso copertura(esclusa la capriata)/6								5860,20
(peso copertura/6+capriata)/2								3137,87

Tabella: Peso della copertura come da progetto

elemento	spessore [m]	peso [kg/m3]		peso tot [kg]
<i>navata laterale</i>				
mattone pieno (23*11*5,5 cm)	0,47	1650		
intonaco esterno	0,03	1995		
intonaco interno	0,02	1150		
TOTALE	0,52			
<i>navata centrale</i>				
mattone pieno (23*11*5,5 cm)	0,59	1650		
intonaco esterno	0,02	1995		
intonaco interno	0,02	1150		
TOTALE	0,63			473619,47

elemento	spessore [m]	peso [kg/m3]		porzione calcolata	area [m2]	volume [m3]	peso tot
<i>navata laterale</i>							
				<i>campata laterale (x2)</i>	147,79		129028,06
mattone pieno (23*11*5,5 cm)	0,47	1650		<i>campata centrale (parte alta - x2)</i>	115,5		117197,65
malta di allettamento	0,02	600		<i>campata centrale (parte bassa - x2)</i>	75,97		79852,07
aerock ID-VP	0,03	90		<i>facciata corta (x2)</i>	170,56		148907,42
intonaco esterno	0,03	1995					
intonaco interno	0,02	1150					
TOTALE	0,57						
<i>navata centrale</i>							
mattone pieno (23*11*5,5 cm)	0,59	1650					
malta di allettamento	0,02	600					
aerock ID-VP	0,03	90					
intonaco esterno	0,02	1995					
intonaco interno	0,02	1150					
TOTALE	0,68						

Tabella 1: Peso muratura storica. I dati sono ricavati dal rilievo diretto

Tabella 2: Peso della muratura come da progetto

A grayscale photograph of a brick wall. The wall is constructed from rectangular bricks with visible mortar joints. To the right, there is a window ledge with some dried leaves and twigs resting on it. The background shows a window frame and some bare tree branches. The overall image has a faded, monochromatic appearance.

TECNOLOGIA E MATERIALI

18. TECNOLOGIA COSTRUTTIVA E DEI MATERIALI

La costruzione è in muratura di mattoni pieni (23*11*5,5 cm), ed ha uno spessore di 0,53 m nelle pareti perimetrali e 0,63 m nelle due pareti longitudinali interne ad arcate. Gli archi sono a tutto sesto e si susseguono con un ritmo alternato di due grandi, uno più basso, uno grande, uno più basso e altri due grandi. Gli archi maggiore hanno larghezza pari a 4 metri e altezza di 7 metri, mentre gli archi piccoli sono larghi 1,50 metri e alti 5,30 metri. I pilastri che li generano sono lunghi 1,03 metri e hanno spessore pari a 0,63 metri.

Si ipotizza, dato lo spessore murario, dei mattoni e della malta rilevati, che la muratura sia a tre teste. Non è possibile infatti conoscere la stratigrafia interna della muratura, ma si possono leggere in facciata le misure esatte dei mattoni pieni usati per la costruzione e si conosce tramite rilievo diretto, lo spessore delle murature. Inoltre la tessitura muraria è leggibile sia in interno che in esterno in alcuni punti dove l'intonaco è stato dilavato dalle piogge. In altri edifici dove è leggibile la sezione si vede che la muratura è piena e non a sacco, per cui si presuppone che anche qui sia stata utilizzato lo stesso metodo costruttivo.

Le quattro pareti perimetrali sono in molta parte forate da un gran numero di finestre strombate. Tali finestre sono sovrapposte in più ordini, quello inferiore presenta un'altezza maggiore rispetto a quello superiore, mentre la larghezza è costante in entrambi.

Si ipotizza che gli ammorsamenti fra le porzioni della muratura siano ben fatti. Nelle facciate corte si leggono delle lesene in corrispondenza delle angolate e dell'arrivo delle murature di spina delle navate centrali. Nella parte alta di tutte le murature sono presenti degli scassi per gli alloggiamenti della struttura portante delle coperture: cinque nella parte centrale in corrispondenza con le capriate e 35 per lato nelle navate corte, dove arrivano le travi di legno.

Le navate laterali, nel progetto iniziale vennero concepite come coperte da un tetto a falda unica inclinata, con struttura portante in legno e copertura in marsigliesi. La navata centrale ha invece una chiusura a doppia falda con struttura con capriata metallica di tipo Polonceau. Essa sorreggeva alcune travi lignee che a loro volta portavano una copertura in marsigliesi. La gran nevicata del 1985 ha distrutto quasi completamente le coperture laterali, lasciando in opera solo poche parti di quella centrale e le capriate metalliche. La situazione che si presenta oggi è peggiore, in quanto delle vecchie coperture restano solo le capriate e poche travi lignee di quelle laterali. Non è stato possibile rilevare direttamente la capriata per cui le dimensioni e la sua forma derivano in parte dallo studio della cartografia, in parte da un'analisi fotografica e dell'altra da studi su libri di tecnologia storica. Si dovrà quindi completare il rilievo solo dopo che il cantiere sarà messo in sicurezza e si potrà quindi salire in quota per la lettura dell'elemento metallico di sostegno.

Rispetto al problema termico si deve considerare che l'edificio è libero su tutti i lati, scambiando quindi termicamente con l'esterno in ogni suo punto, oltre al fatto che adesso non presenta alcuna disposizione per qualsiasi tipo di impianto di riscaldamento o ventilazione.



Rilievo fotografico della porzione interna della navata centrale del Macello Suini. In evidenza le finestre dell'ordine superiore strombate nella parte interna e l'alloggiamento ricavato nella muratura per l'arrivo della capriata.

19. ANALISI DEI NODI COSTRUTTIVI CON THERM

19.1 DEFINIZIONE

Si definisce ponte termico la parte di struttura di un edificio che presenta caratteristiche termiche significativamente diverse da quelle circostanti, per discontinuità geometrica o discontinuità di materiale.

Per *discontinuità geometrica*, si intende un ponte termico in presenza di:

-Differenza tra l'area della superficie disperdente sul lato interno e quella del lato esterno, come avviene per esempio in corrispondenza dei giunti tra parete e pavimento o parete e soffitto;

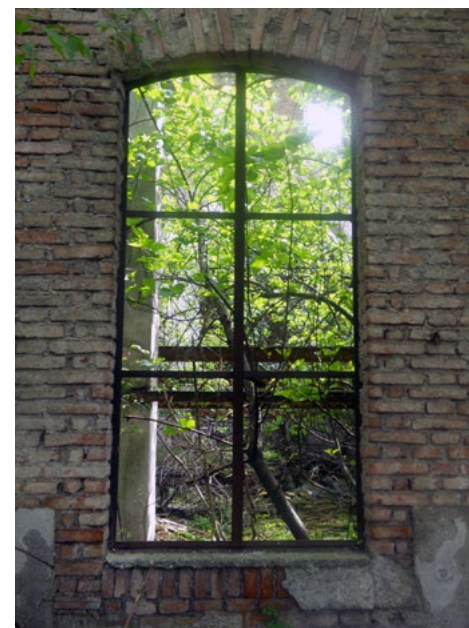
-Variazione dello spessore della costruzione (cavedi, nicchie, vani tecnici, canne fumarie).

Per *disomogeneità materica*, invece, quando si ha una discontinuità di resistenza termica che si può verificare in corrispondenza di materiali con conduttività termica diversa nell'involucro edilizio (pilastri, setti, travi e cordoli, chiodi di fissaggio del cappotto isolante esterno, elementi di collegamento di balconi, sovrastrutture esterne attacchi per tende, scurettili, tettoie mensole).

La presenza di un ponte termico determina un maggior flusso di calore passante per il punto dove si ha la discontinuità e ciò provoca una perdita di calore, oltre al rischio di condensazione in quanto la temperatura superficiale in quel punto diminuisce. Le variazioni di temperatura che avvengono all'interno delle strutture, possono inoltre determinare tensioni e condensa interstiziale, che a sua volta può ridurre le prestazioni e la durabilità dei materiali.

Quantificare i ponti termici di un edificio risulta perciò molto importante, in quanto la perdita di calore che essi causano, determina un aumento delle dispersioni per trasmissione verso l'esterno, rispetto a quanto progettato. Questo vuol dire che un edificio potrebbe, nella realtà anche se non sulla carta, non rispettare i limiti di trasmittanza stabiliti dalla normativa e non garantire più il comfort termico interno per la disomogeneità della temperatura delle superfici.

Nell'ottica di un recupero edilizio, va sempre effettuata la verifica dei ponti termici, con la consapevolezza di non poter entrare a tutti i costi nei limiti di norma, sia perché alcune stratigrafie sono già date sia perché non sempre è possibile operare in modo invasivo per variare i parametri di trasmittanza.



Rilievo fotografico di un serramento della finestra del Macello Suini.

Nel caso dell'edificio del Macello Suini, si sono voluti analizzare i nodi costruttivi parete-serramento.

19.2 ANALISI DEL NODO PARETE-SERRAMENTO

Il serramento originale del Macello Suini è costituito da un telaio molto sottile (spessore 3,5 cm) in ghisa e da un vetro singolo. Il telaio definisce sei campiture di vetro, simmetriche rispetto l'asse centrale. Le caratteristiche del serramento sono quindi la finezza della struttura e la forma geometrica, arcuata nella parte superiore. Il principio conservativo che sta alla base del progetto architettonico è quello di mantenere com'era l'immagine esterna degli edifici, da cui ne deriva direttamente la scelta di non eliminare in principio i vecchi serramenti, nonostante si presentino corrosi e con la maggior parte dei vetri rotti.

Il primo passo è dunque quello di provvedere alla conservazione dei serramenti esistenti tramite pulitura del telaio, al fine di eliminarne la ruggine, e alla sostituzione dei vetri rotti o mancanti. Successivamente, per aumentare la resistenza termica del serramento, si procede con il posizionamento di un secondo serramento completamente nuovo, verso il bordo interno dell'edificio in modo da lasciare all'esterno la stessa visione dell'edificio com'era un tempo. Il nuovo serramento è a campata unica in modo da non nascondere anche dall'interno la geometria del serramento vecchio.

Il nuovo serramento dovrà essere progettato su misura a causa della particolare forma geometrica ed è ad un'unica anta apribile per garantire la manutenzione. Il modello scelto è "Forster Unico": telaio in acciaio e doppio vetro (4-16-4). Tra il vecchio e il nuovo serramento si crea così un'intercapedine di 8 cm.

A questo punto si vuole procedere con l'analisi del ponte termico al fine non solo di quantificarlo per precisare il calcolo delle dispersioni per trasmissione, ma anche per verificare le scelte progettuali. Sarà infatti questo metodo a suggerirci la soluzione migliore da un punto di vista progettuale, tecnico ed economico. Il programma utilizzato per questa analisi è il software *Therm 7.2*.

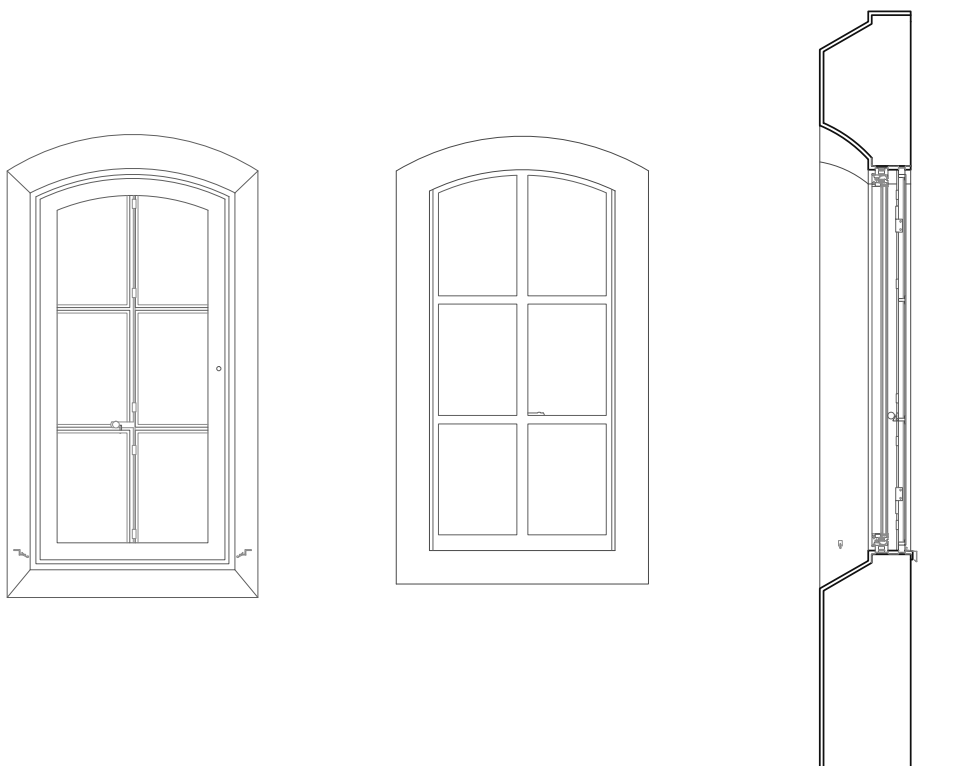
Si vogliono confrontare quattro casi:

1. serramento allo stato di fatto;
2. doppio serramento;
3. doppio serramento ed isolante;
4. doppio serramento con parete isolata.

Per tutti e quattro i casi si considera una porzione di parete con un massimo di 1 metro dal nodo da analizzare, considerato come estensione massima del ponte termico.

Di seguito è riportata la trasmittanza termica degli elementi costruttivi indagati nei quattro casi e i calcoli eseguiti per trovare il valore di ϕ , indice dei W dispersi per il ponte termico, e la trasmittanza finale della parete. Circa la stratigrafia degli elementi, vedere gli allegati.

elemento	trasmittanza termica [W/m ² K]
parete (stato di fatto)	1,43
finestra (stato di fatto)	5,66
finestra (da progetto)	1,35
parete + aerorock	0,31



Rilievo geometrico di un serramento della finestra del piano terra del Macello Suini. Si è inserito il nuovo serramento Foster Unico che andrà a migliorare la qualità termica dell'involucro.

In basso sono riportati i calcoli e nelle pagine successive i risultati ottenuti per via grafica. Essi rappresentano le curve isoterme e attraverso i colori, il passaggio di calore.

Caso 1: serramento allo stato di fatto

$$U_{no\ pt} = (U_{muro} \times L_{muro} + U_{finestra} \times L_{finestra}) / L_{totale} = (1,43 \times 1,00 + 5,80 \times 1,00) / 2,00 = 3,62 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\phi_{no\ pt} = U_{no\ pt} \times L \times fjT = 3,62 \times 2,00 \times 25 = 180,75 \text{ W/m}$$

$$U_{pt} = 3,77 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\phi_{pt} = U_{pt} \times L \times fjT = 3,77 \times 2,00 \times 25 = 188,50 \text{ W/m}$$

$$\phi = (\phi_{pt} - \phi_{no\ pt}) / (L \times fjT) = (188,50 - 180,75) / (1,00 \times 25) = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{parete} = (U_{muro} \times A_{muro} + \phi \times 2p_{finestra}) / A_{totale} = (1,43 \times 6,81 + 0,31 \times 6,06) / 8,84 = 1,31 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Caso 2 : doppio serramento

$$U_{no\ pt} = (U_{muro} \times L_{muro} + U_{finestra} \times L_{finestra}) / L_{totale} = (1,43 \times 1,00 + 1,35 \times 1,00) / 2,00 = 1,39 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\phi_{no\ pt} = U_{no\ pt} \times L \times fjT = 1,39 \times 2,00 \times 25 = 69,43 \text{ W/m}$$

$$U_{pt} = 1,50 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\phi_{pt} = U_{pt} \times L \times fjT = 1,50 \times 2,00 \times 25 = 75,00 \text{ W/m}$$

$$\phi = (\phi_{pt} - \phi_{no\ pt}) / (L \times fjT) = (75,00 - 69,43) / (1,00 \times 25) = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{parete} = (U_{muro} \times A_{muro} + \phi \times 2p_{finestra}) / A_{totale} = (1,43 \times 6,81 + 0,22 \times 6,06) / 8,84 = 1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Caso 3 : doppio serramento ed isolante

$$U_{no\ pt} = (U_{muro} \times L_{muro} + U_{finestra} \times L_{finestra}) / L_{totale} = (1,43 \times 1,00 + 1,35 \times 1,00) / 2,00 = 1,39 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\phi_{no\ pt} = U_{no\ pt} \times L \times fjT = 1,39 \times 2,00 \times 25 = 69,43 \text{ W/m}$$

$$U_{pt} = 1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\phi_{pt} = U_{pt} \times L \times fjT = 1,46 \times 2,00 \times 25 = 73,00 \text{ W/m}$$

$$\phi = (\phi_{pt} - \phi_{no\ pt}) / (L \times fjT) = (73,00 - 69,43) / (1,00 \times 25) = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{parete} = (U_{muro} \times A_{muro} + \phi \times 2p_{finestra}) / A_{totale} = (1,43 \times 6,81 + 0,14 \times 6,06) / 8,84 = 1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Caso 4 : doppio serramento con parete isolata

$$U_{no\ pt} = (U_{muro} \times L_{muro} + U_{finestra} \times L_{finestra}) / L_{totale} = (0,31 \times 1,00 + 1,35 \times 1,00) / 2,00 = 0,83 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\phi_{no\ pt} = U_{no\ pt} \times L \times fjT = 0,83 \times 2,00 \times 25 = 41,43 \text{ W/m}$$

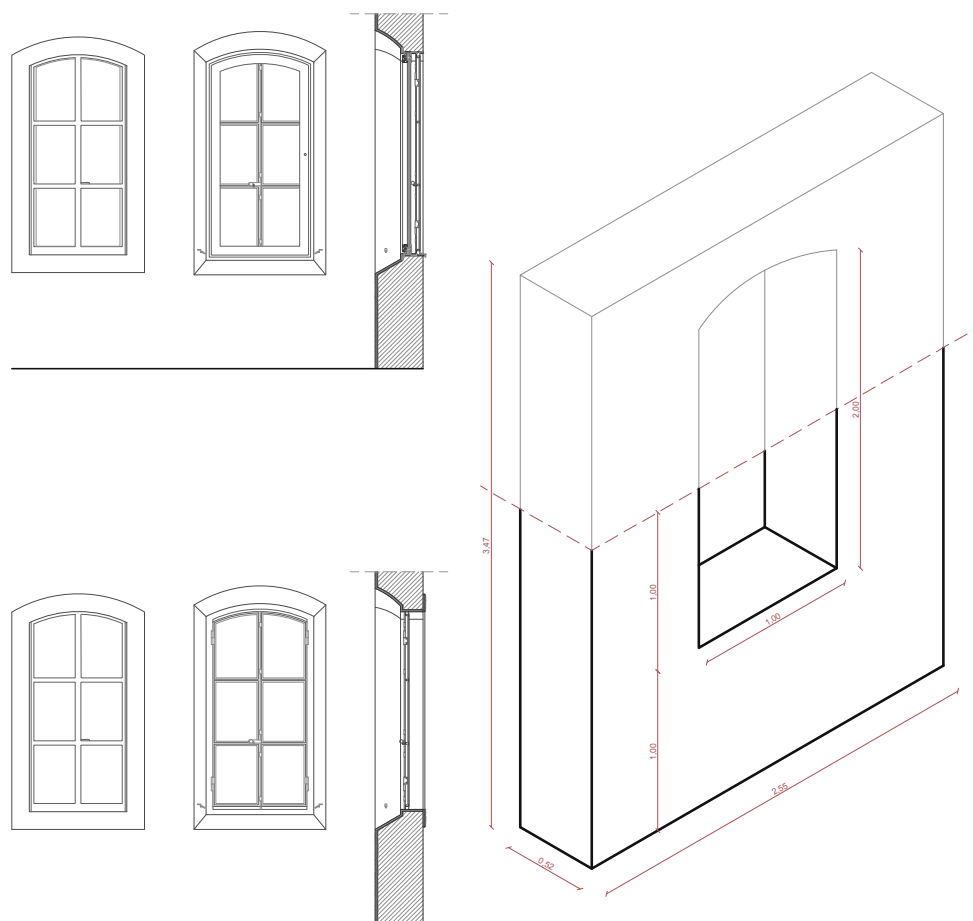
$$U_{pt} = 1,27 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\phi_{pt} = U_{pt} \times L \times fjT = 1,27 \times 2,00 \times 25 = 63,50 \text{ W/m}$$

$$\phi = (\phi_{pt} - \phi_{no\ pt}) / (L \times fjT) = (63,50 - 41,43) / (1,00 \times 25) = 0,88 \text{ W/m}^2\text{K}$$

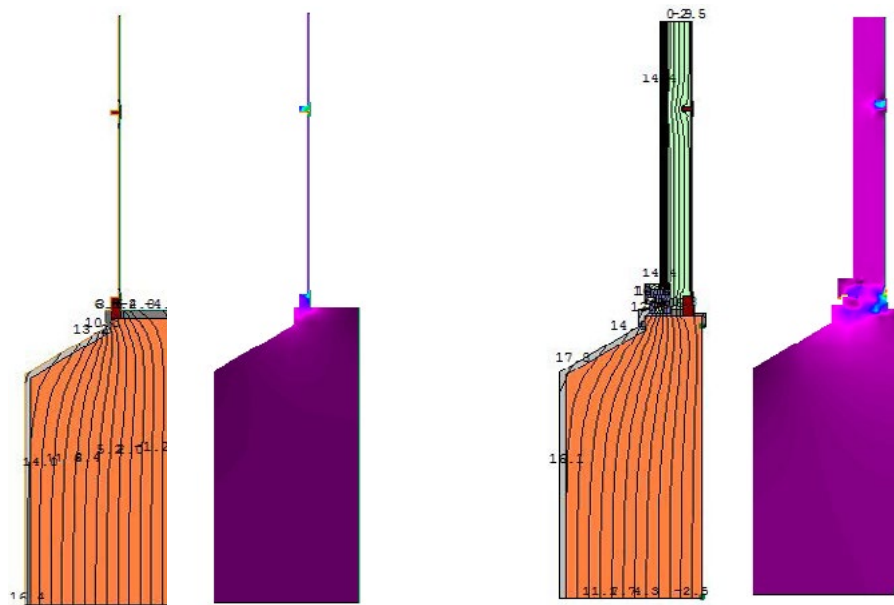
$$U_{parete} = (U_{muro} \times A_{muro} + \phi \times 2p_{finestra}) / A_{totale} = (0,31 \times 6,81 + 0,88 \times 6,06) / 8,84 = 0,84 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Caso	U parete iniziale [W/m ² K]	φ [W/m ² K]	U parete finale [W/m ² K]
Stato di fatto	1,43	0,31	1,31
Doppio serramento	1,43	0,22	1,25
Doppio serramento e isolante	1,43	0,14	1,20
Doppio serramento con parete isolata	0,31	0,88	0,84



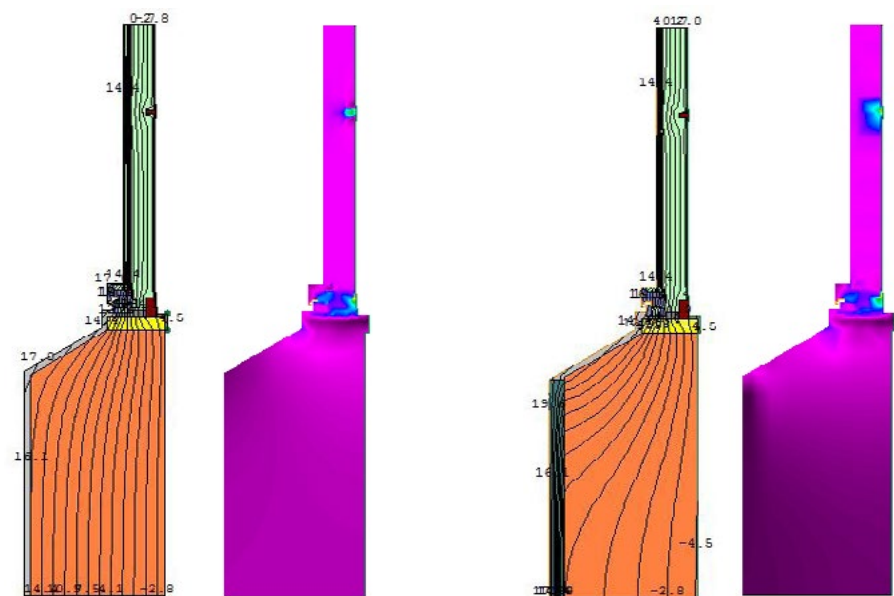
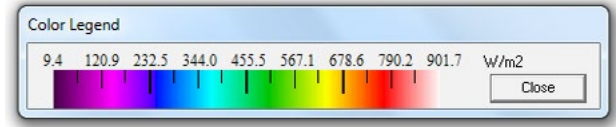
In alto: Report dei dati più significativi circa i quattro casi studiati.

in basso: Rilievo del serramento storico e studio delle porzioni di murature per il calcolo in Therm.



Caso 1

Caso 2



Caso 3

Caso 4

19.3 CONCLUSIONI

Dai risultati ottenuti possiamo dedurre che, per quanto riguarda il valore finale della trasmittanza della parete esterna, qualunque opzione porta ad un miglioramento rispetto allo stato di fatto. Sicuramente la soluzione più favorevole è il caso 4, cioè quello in cui l'interno dell'edificio viene rivestito di pannelli di aerorock ID-VP, un pannello rigido in Aerowool (matrice in lana di roccia combinata con aerogel) coperto su un lato da una lastra di gessofibra, con interposizione di un elemento di controllo al vapore. La potenzialità di questo materiale è di garantire un incremento di isolamento termico anche con poco spessore.

Utilizzare questi pannelli porta con sé però alcuni svantaggi: innanzitutto dal punto di vista estetico, in quanto si tratterebbe di rivestire l'edificio di pannelli, rendendolo artificioso, ed inoltre risulterebbe troppo difficoltoso rivestire le imbotti arcuate delle finestre. La scelta quindi di ricoprire le pareti verticali e lasciare ad intonaco di calce quelle inclinate, determina, a sua volta, l'elevato ponte termico che caratterizza il quarto caso, poiché, essendo tutto isolato, è maggiore la porzione di calore che fuoriesce dal punto più freddo.

La seconda e la terza soluzione sono simili tra loro, anche se come miglior risultato di calcolo si è spinti ad optare per l'opzione con l'isolamento (pensato come pannelli lana di roccia Knauf) in corrispondenza dell'aggancio della finestra alla parete. La terza opzione può quindi essere giudicata perseguibile, purché si verifichi la fattibilità dell'inserimento dell'isolante in quel punto specifico. Non bisogna infatti dimenticare che l'edificio presenta un'estesa lacuna dell'intonaco esterno e che volontà precisa del progetto è quella di conservare questo stato. Perciò risulterà alquanto difficile riuscire a non rendere visibile l'isolante che si vuole inserire nella parete. Bisognerà quindi procedere con un rilievo più dettagliato dei singoli serramenti per una valutazione più accurata.

20. STRATEGIE DI CONTROLLO LUMINOSO

L'analisi riguarda l'edificio del Macello Suini, di cui si è voluto verificare il rispetto del fattore di luce diurna e l'uniformità luminosa. La luce infatti gioca un fattore di grande importanza nella vita dell'uomo, poiché ne determina l'ordine biologico, il comfort visivo e termico. Essendo un parametro fortemente influenzato dalle condizioni del cielo (sereno, coperto, ecc.) e dalle stagioni, risulta importante definire attraverso dei programmi di calcolo ad hoc i fattori di illuminamento nei diversi periodi dell'anno e studiarne i casi più critici.

Il fattore di luce diurna è un parametro introdotto per valutare l'illuminazione naturale all'interno di un ambiente confinato. È riconosciuto dalla normativa italiana (DM Sanità 5/7/75, DM 1/12/75, Circolare Ministero dei Lavori Pubblici n 13011, 22/11/74) come un elemento prioritario al fine di garantire un'illuminazione diurna ottimale nei locali.

Nel nostro caso, la valutazione delle condizioni di illuminazione naturale interna avviene considerando il caso più sfavorevole, cioè quello con volta celeste coperta e assenza di radiazione solare diretta. La normativa stabilisce dei valori soglia di fattore medio di luce diurna, al di sotto dei quali non sono verificate le condizioni di illuminazione naturale sufficienti alle specifiche esigenze. Questi sono: $FLDm < 1\%$ insufficiente; $1\% < FLDm < 2\%$ discreto; $2\% < FLDm < 4\%$ buono; $FLDm > 4\%$ ottimo.

Obiettivo dell'analisi è dunque verificare l'accettabilità del valore percentuale di fattore di luce diurna per il Macello Suini. Si è utilizzato il programma Ecotect Analysis per tale studio.

L'edificio in questione appare molto finestrato, ma la maggior parte delle aperture presenta degli oscuranti lignei, che servivano un tempo per far uscire il vapore acqueo delle lavorazioni: la luce esterna perciò arriva in gran parte dal primo ordine di finestre. Inoltre, l'auditorium progettato al suo interno, blocca con le sue pareti la luce, creando una zona d'ombra all'interno. È per questo motivo che si è deciso di effettuare l'analisi, utilizzando come griglia di riferimento un piano a 90 cm da terra, con quadrati di 1x1 m circa e corrispondente alle zone di passaggio del progetto.

Si vuole confrontare la situazione dello stato di fatto e quella di progetto, durante il giorno più luminoso e più buio, che nella zona climatica di Milano corrispondono rispettivamente al 5 luglio e al 16 febbraio. I dati sono ricavati dai grafici del Daily Factor riportati nella pagina seguente. Se si guardano le immagini che seguono, i colori fanno subito notare come la situazione peggiori dallo stato di fatto al progetto, effetto sicuramente dovuto ai nuovi serramenti, poiché la luce deve attraversare ben 5 strati prima di entrare nell'edificio, e alla presenza di parte interne nuove, prima mancanti. Mentre non risultano sostanziali differenze tra i due giorni scelti.

giorno	FLDm stato di fatto	FLDm progetto
16 febbraio	42,20 %	17,09%
5 luglio	42,08 %	17,09%

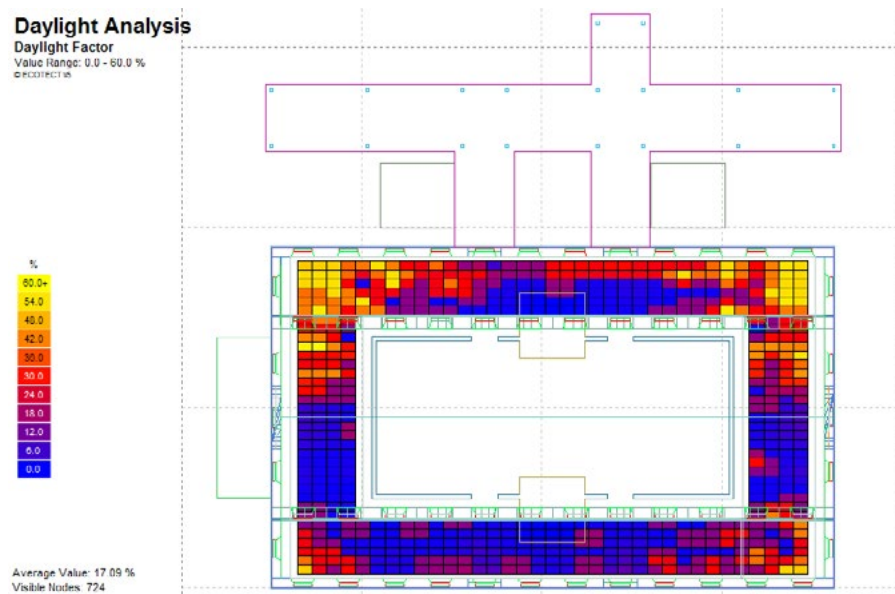
Anche se si verifica un peggioramento, il valore di fattore medio di luce diurna risulta essere sempre superiore di 4 e quindi si può continuare a definire di aver raggiunto un ottimo risultato.

Il software è in grado di fornire un altro parametro: il valore di illuminamento di ogni punto della griglia, espresso in lux. L'illuminamento è il rapporto tra il flusso luminoso ricevuto da una superficie e l'area di tale superficie. Prendendo tutti i valori in lux e facendo il rapporto tra il valore minimo e il valore massimo, si ottiene un numero che corrisponde all'uniformità di illuminazione presente nell'ambiente.

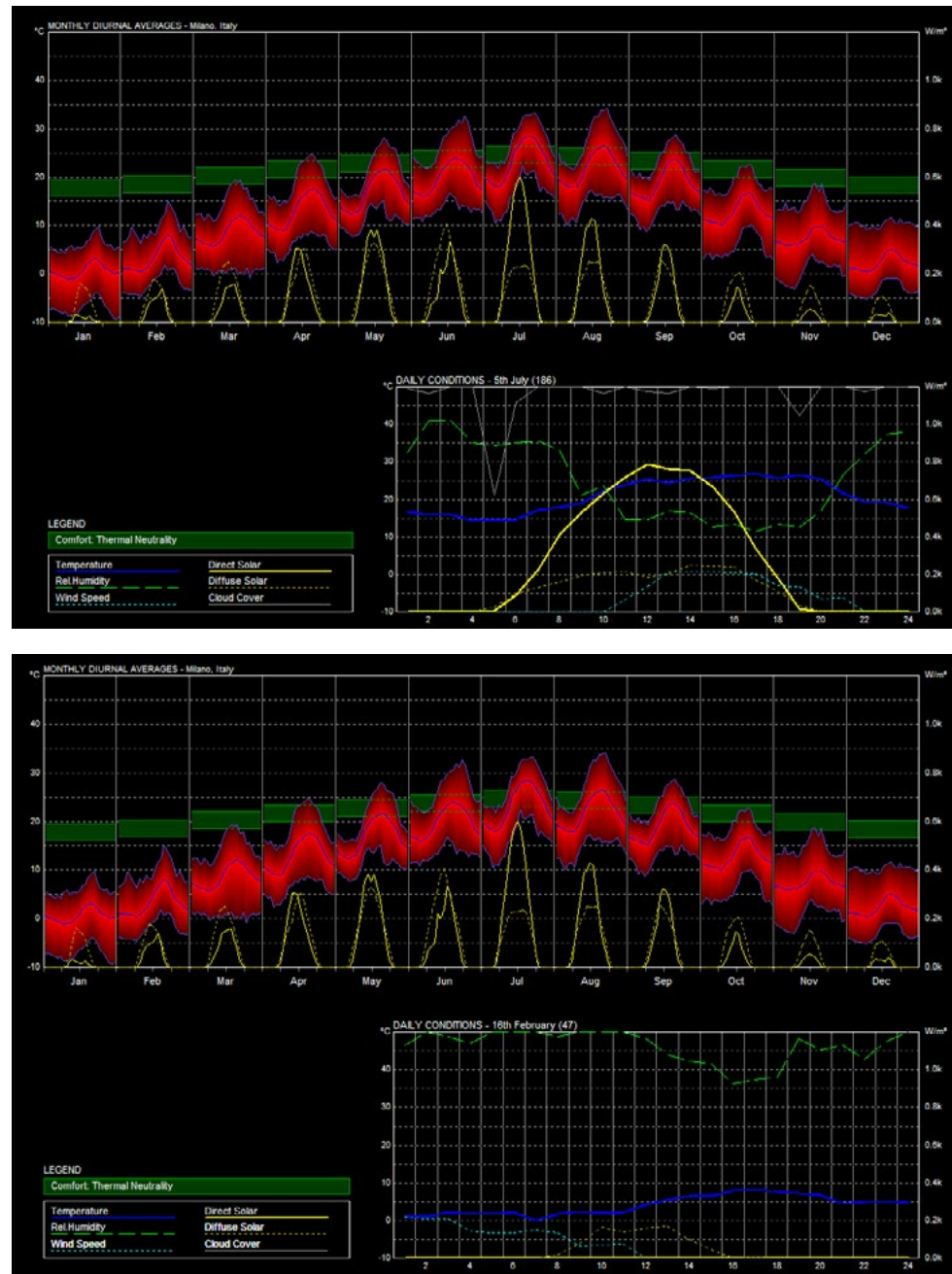
La norma UNI 10380 stabilisce che il valore minimo che garantisce uniformità deve essere di 0.8 e fornisce per ogni destinazione d'uso un valore minimo (compiti visivi svolti occasionalmente), medio (svolti normalmente) e massimo (svolti con particolare precisione) di illuminamento. Per i teatri e sale da concerto si prescrivono rispettivamente i valori di 50, 100 e 150 lux.

Nel caso del Macello Suini il valore è di poco inferiore alla soglia minima e nel caso del progetto migliora.

giorno	η stato di fatto	η progetto
16 febbraio	0,56	0,75
5 luglio	0,43	0,75



Illuminazione interna dei locali al 16 febbraio, stato di progetto.

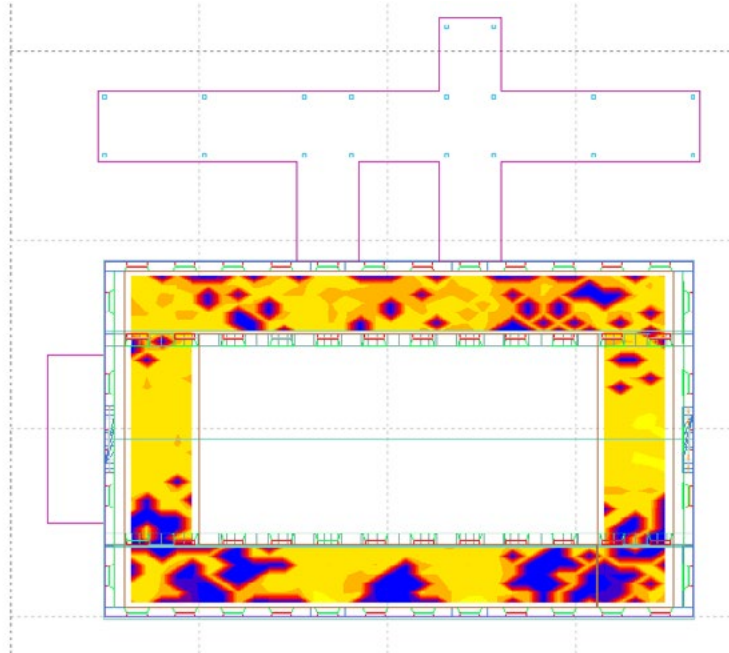


Confronto delle condizioni del giorno (daily condition) al 5 luglio(alto) e 16 febbraio (basso).

5 luglio

Daylight Analysis

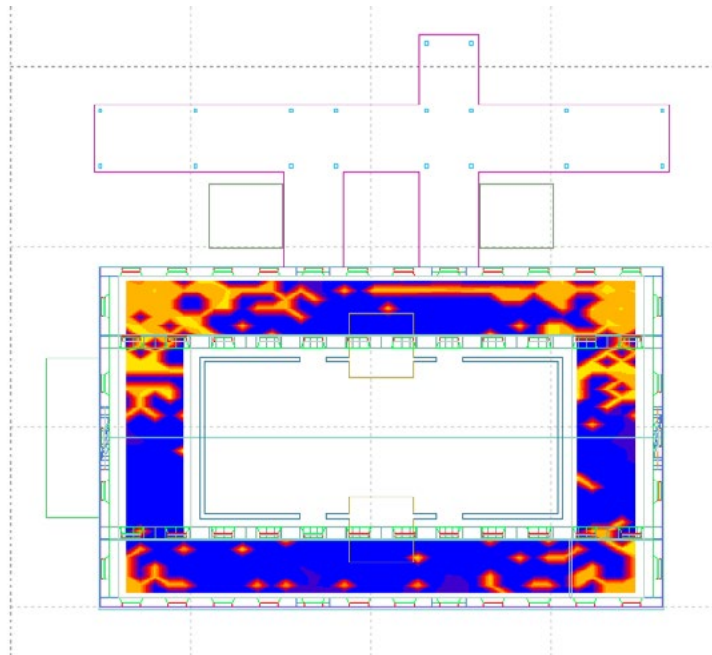
Daylight Factor
Contour Range: 0.0 - 60.0 %
In Steps of: 6.0 %
© ecotect v8



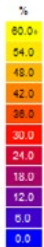
Average Value: 42.08 %
Visible Nodes: 724

Daylight Analysis

Daylight Factor
Contour Range: 0.0 - 60.0 %
In Steps of: 6.0 %
© ecotect v8



Average Value: 17.09 %
Visible Nodes: 724

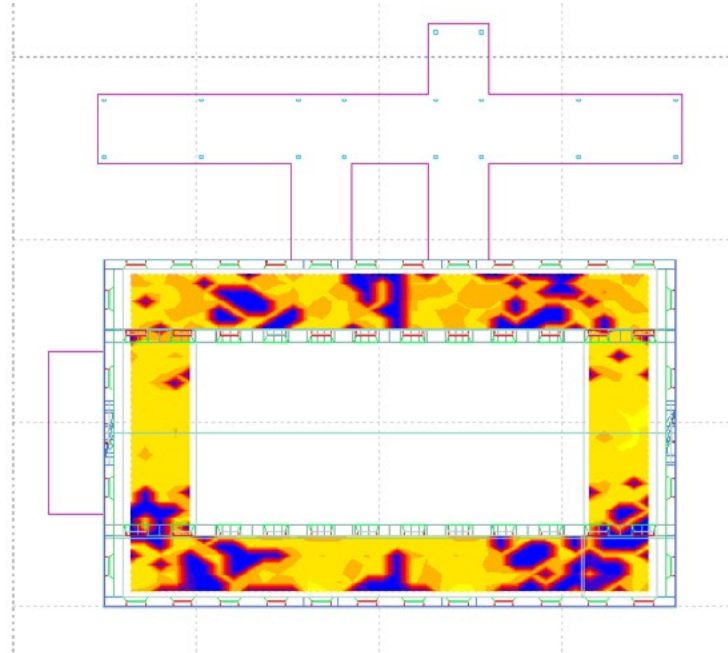


Confronto del fattore di luce fra lo stato di fatto e lo stato di progetto al 5 luglio.

16 febbraio

Daylight Analysis

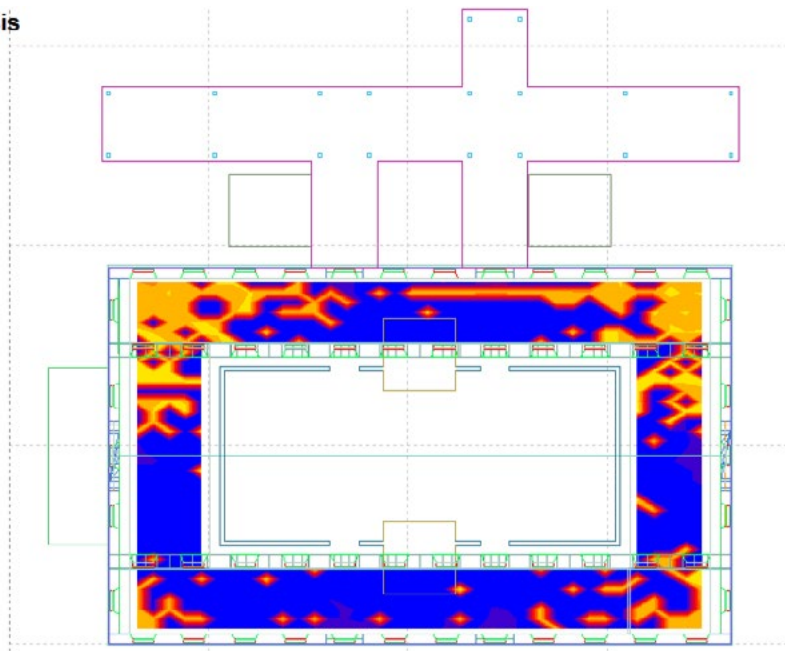
Daylight Factor
Contour Range: 0.0 - 80.0 %
In Steps of: 6.0 %
© ECOTECT v8



Average Value: 42.20 %
Visible Nodes: 724

Daylight Analysis

Daylight Factor
Contour Range: 0.0 - 60.0 %
In Steps of: 6.0 %
© ECOTECT v8



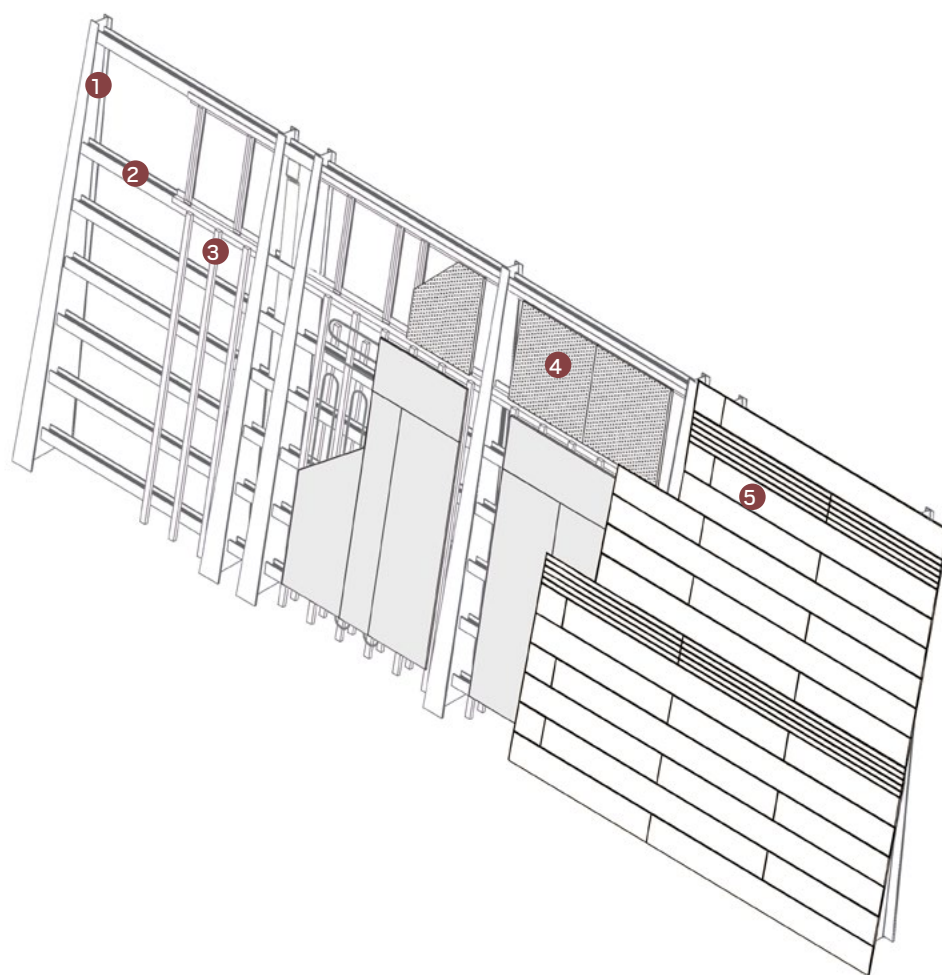
Average Value: 17.09 %
Visible Nodes: 724

Confronto del fattore di luce fra lo stato di fatto e lo stato di progetto al 16 febbraio.

21. STRATEGIE DI CONTROLLO ACUSTICO

Il Macello Suini si presenta come una scatola vuota di grandi dimensioni e con le superfici verticali ricche di bucatore. Si è deciso di inserire all'interno una nuova scatola che potesse contenere il volume dell'auditorium, ma col tetto assente, per cui il suono si propaga nell'aria incidendo sulle pareti del volume maggiore. Il problema più grande riscontrato è stato quello del controllo acustico, poiché la nuova scatola non prevede una copertura, lasciando quindi il cielo libero. Si sono dovuti quindi escogitare una serie di accortezze affinché il suono fosse catturato all'interno della scatola stessa senza provocare riverberi all'interno del volume complessivo dell'ex-Macello.

Da un punto di vista spaziale la volumetria del nuovo auditorium è stata definita come un rettangolo



Assonometria con i vari componenti del muro tecnico che definisce il volume del nuovo auditorium.

1. Pilastro metallico rastremato, fissato alla base ad un cordolo di calcestruzzo;
2. Travetti IPE di collegamento e irrigidimento della struttura principale a pilastri;
3. Travatura secondaria metallica su cui si innestano le piastre radianti;
4. Pannello fonoassorbente in lana di roccia;
5. Rivestimento in listelli di legno.

che si incastra esattamente a metà della navata centrale del Macello Suini, lasciando le due navate laterali come spazi di distribuzione. Due piccoli spazi a forma cubica definiscono gli spazi di servizio allo spettacolo e si innestano nella scatola.

Il palco, sollevabile con una pedana a compasso, è situato in maniera centrale e ha un graticcio tecnico in travi metalliche per l'aggancio delle luci e dei tendaggi. Simmetricamente sono disposte le tribune, incassate a pavimento, possono essere portate all'altezza giusta mediante un meccanismo idraulico.

21.1 LE STRATEGIE ADOTTATE

1. L'inserimento di un graticcio. Il graticcio tecnico può essere dotato di pannelli fono riflettenti, di modo che la voce degli attori sia riflessa verso il pubblico. In questo caso si deve studiare la configurazione dell'orientamento dei pannelli medesimi a seconda delle diverse esigenze date dagli spettacoli in scena. Il graticcio si definisce come l'intersezione di più travi metalliche che creano moduli regolari per il fissaggio sia delle luci e dei tendaggi ma anche per i pannelli prima citati. Essi potranno essere regolati sia nella distribuzione in pianta che nell'orientamento spaziale.

2. Lo studio della parete della scatola. Essa è progettata con un sistema di travi e pilastri metallici che sorreggono vari elementi tecnici, tra cui le piastre radianti e i pannelli di finitura. Questi ultimi sono disposti con una distanza l'uno dall'altro di circa due centimetri. In questo modo si è cercato di costruire delle trappole acustiche che potessero fermare il suono ed evitare il suo riverbero. Le piastre radianti infatti avranno un rivestimento metallico che permette la riflessione del suono, il quale sarà intrappolato nei microfori disposti nel retro del rivestimento. La dimensione della foratura sarà varia in modo da comprendere buona parte dello spettro sonoro, rispettando così le esigenze sia di spettacoli teatrali che musicali.

Nella parte alta, dove non c'è necessità di pannelli radianti, si è sfruttato lo spazio interstiziale per l'alloggiamento di uno spessore di lana di roccia, la quale aumenta la capacità fonoassorbente del materiale di finitura.

3. La scelta del materiale di finitura. Si è optato per dei listelli di legno Spigoacustic, realizzati in modo da compattare in uno spessore ridotto l'estetica del legno e la necessità di creare delle trappole acustiche. La parte retrostante del pannello infatti è forata secondo vari tagli in modo da garantire una prestazione buona per le diverse esigenze di frequenze da assorbire.

Lo stesso materiale (vedere in Appendice la scheda tecnica) ha diverse forometrie. Si sceglierà quindi una stessa finitura ma una diversa capacità fonoassorbente nelle diverse parti della parete in modo da assicurare il risultato acustico migliore.

4. Il trattamento delle superfici del Macello. Tutte le superficie verticali nella parte bassa saranno trattate con un intonaco dalla finitura atta a migliorare la qualità acustica dell'ambiente. Inoltre l'inserimento dei nuovi serramenti permette anche all'intero edificio di essere isolato dal rumore esterno.

21.2 CALCOLO DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE

In acustica architettonica il fenomeno di riverbero dovuto a riflessioni del suono sulle superfici di un ambiente si chiama "Riverberazione" e con "Tempo di riverberazione" si intende la durata della "coda sonora" che i suoni lasciano nell'ambiente stesso come effetto della riverberazione e a causa della velocità del suono, che non produce una cessazione immediata al suo interrompersi. Se il tempo di riverberazione è troppo lungo, o comunque inadeguato, l'ambiente si dice riverberante o rimbombante e i suoni tendono a fondersi riducendo la comprensibilità del parlato o "legando" eccessivamente la musica.

Si definisce quindi tempo di riverberazione T60, il tempo (calcolato in secondi) necessario affinché il livello della pressione sonora diminuisca di 60 dB rispetto al valore che esso ha nell'istante in cui viene disattivata la sorgente di tipo stazionario e continua, che è possibile calcolare con la formula del fisico Sabine. Essa è valida nell'ipotesi di campo sonoro perfettamente diffuso.

$$Tr = 0,16 * V / (\sum \alpha_i S_i)$$

dove V : volume [m³]

α_i : coefficiente di assorbimento delle superfici dell'ambiente (legato alle frequenze)

S_i : superfici dell'ambiente, m².

($\sum \alpha_i S_i$): unità di assorbimento, secondo Sabine.

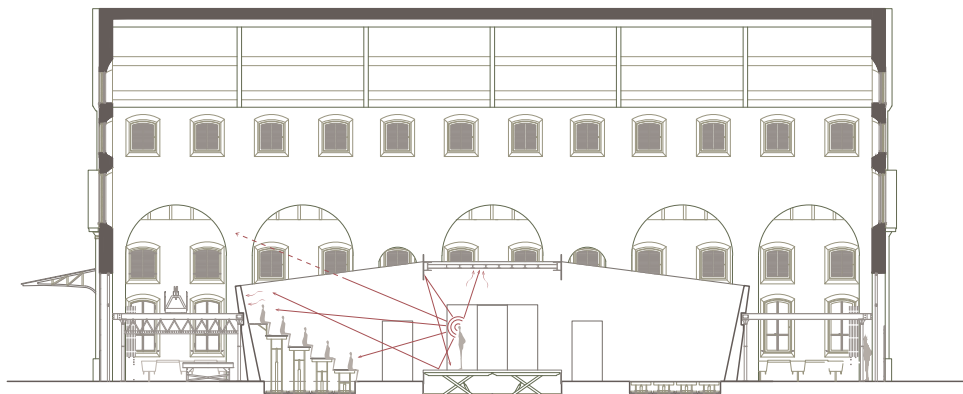
$$V_{\text{auditorium}} = 799,83 \text{ m}^3$$

$$\alpha_{\text{legno}} = 0,40 (500\text{Hz}) 0,50 (2000 \text{ Hz}) 0,40 (4000 \text{ Hz}); S_{\text{legno}} = 462,32 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{tot macello}} = 5118 \text{ m}^3$$

$$\alpha_{\text{intonaco}} = 0,02 (500 \text{ Hz}) 0,04 (2000 \text{ Hz}) 0,05 (4000 \text{ Hz}); S_{\text{intonaco}} = 2062,8 \text{ m}^2$$

$$\alpha_{\text{finestre}} = 0,18 (500 \text{ Hz}) 0,07 (2000 \text{ Hz}) 0,04 (4000 \text{ Hz}); S_{\text{intonaco}} = 84 \text{ m}^2$$



Sezione con verifica studio delle direzioni che possono assumere le onde sonore.

$$\begin{aligned}
 Tr_{\text{auditorium}} &= (500\text{Hz}) 0,16 * 799,83 \text{ m}^3 / (0,40 * 462,32 \text{ m}^2) = 0,69 \\
 &(2000 \text{ Hz}) 0,16 * 799,83 \text{ m}^3 / (0,50 * 462,32 \text{ m}^2) = 0,55 \\
 &(4000 \text{ Hz}) 0,16 * 799,83 \text{ m}^3 / (0,40 * 462,32 \text{ m}^2) = 0,69
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Tr_{\text{tot macello}} &= (500\text{Hz}) 0,16 * 5118 \text{ m}^3 / [(0,02 * 2062,8 \text{ m}^2) + (0,18 * 84 \text{ m}^2) + (0,40 * 709,54 \text{ m}^2)] = 2,40 \\
 &(2000 \text{ Hz}) 0,16 * 5118 \text{ m}^3 / [(0,04 * 2062,8 \text{ m}^2) + (0,07 * 84 \text{ m}^2) + (0,50 * 709,54 \text{ m}^2)] = 1,84 \\
 &(4000 \text{ Hz}) 0,16 * 5118 \text{ m}^3 / [(0,05 * 2062,8 \text{ m}^2) + (0,04 * 84 \text{ m}^2) + (0,40 * 709,54 \text{ m}^2)] = 2,09
 \end{aligned}$$

Esistono delle tabelle, date dalle norme che fissano i valori ottimali dei tempi di riverbero in base alla destinazione d'uso. In particolare si ha che per i teatri dell'opera sono previsti tempi di riverbero T60 compresi fra 1,3 e 1,5, mentre per le concert hall i valori aumentano da 1,7 a 2,3.

Confrontando i risultati ottenuti con i valori da norma si evince che se si considera il caso comprensivo di tutti i fattori, è necessario l'uso di ulteriori pannelli fono riflettenti e assorbenti per ridurre la riverberazione. Essi potranno trovare alloggio sul graticcio ma anche sulle pareti del volume del Macello. Tutte le superfici a vista andranno trattate con finiture fono assorbenti.

Si considera anche che nel calcolo su fatto tali pannelli e i tendaggi, elementi quindi che aiutano a fermare le riverberazioni del suono, non sono stati calcolati. Si presuppone quindi che i valori veri saranno migliori e quindi che la normativa sarà rispettata.

Inoltre si è verificato che l'acustica all'interno della sala dell'auditorium è ottima, e anche dovendo considerare un peggioramento a causa dell'assenza di parte della chiusura superiore, i valori dovrebbero ancora essere compresi nel range della normativa. Non è ottima, per gli spettacoli teatrali e musicali invece, l'intera struttura, quindi gli spazi di servizio.



IMPIANTI TECNICI

22. ANALISI DELLO STATO DI FATTO

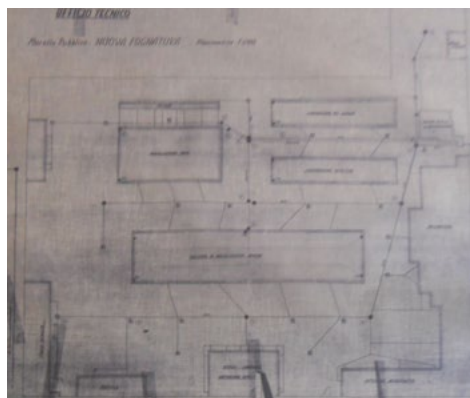
Al momento del sopralluogo non è stato possibile individuare il sistema impiantistico che caratterizzava l'edificio del Macello Suini durante il suo funzionamento.

Le uniche tracce rimaste infatti sono 4 boiler in legno, posti ai quattro angoli dell'edificio, che molto probabilmente servivano per scaldare l'acqua necessaria durante alcune fasi del processo di macellazione. Un esempio è la bollitura delle carcasse che, nel nostro caso, avveniva in due grandi vasche, contenenti acqua a 60 °C, oppure la lavorazione delle viscere, che avveniva in lavandini posti lungo i lati dell'edificio.

La cartografia storica, ritrovata sia all'Archivio Comunale sia all'Archivio Storico della città di Monza, ci informa però di alcuni accorgimenti progettuali, scelti per migliorare il comfort dell'edificio. Per il Macello Suini sono: l'orientamento nord-sud e le finestre superiori con oscuramento esterno e senza vetri. Il primo consente ai lavoratori di eseguire i propri compiti senza essere soggetti ad una luce diretta che potrebbe infastidirli, il secondo permette al vapore, originato durante le fasi lavorative, di fuoriuscire liberamente dall'edificio. Quest'ultimo accorgimento pone però numerose ulteriori domande su quale potrebbe essere stato l'impianto termico del Macello, poiché le finestre superiori sono appunto prive di chiusure trasparenti.

Se non si trovano informazioni riguardo il sistema impiantistico, la cartografia ce ne dà molte riguardo il sistema di fognature e smaltimento delle acque, in quanto importante risulta essere la pulizia di questo particolare luogo di lavoro.

Gli edifici del Macello, così distinti tra loro, risultano essere collegati sottoterra da una fitta rete di tubazioni che consentono l'arrivo dell'acqua pulita proveniente dall'acquedotto, posto in un edificio nella parte inferiore del complesso, e il suo smaltimento in una vasca di decantazione. Qui si cerca di ripulire l'acqua prima di gettarla in una Roggia detta Manganella e finire nei campi.



Pianta della fognatura, Archivio Comunale

23. IL PROGETTO DELL'IMPIANTO

La tipologia di impianto pensata per il progetto è un impianto misto aria-acqua, in cui l'aria ("primaria") è aria esterna, in misura strettamente necessaria alle esigenze di rinnovo e di bilanciamento del carico latente, mentre l'acqua è inviata ad unità terminali idrauliche presenti nei locali (nel nostro caso, pannelli radianti a parete).

Questo tipo d'impianto trova collocazione ottimale laddove si dispone di spazi limitati per le canalizzazioni, ad esempio ristrutturazioni di vecchi edifici, poiché l'acqua consente di trasferire, a parità di portate volumetriche, quantità d'energia decisamente più grandi dell'aria, riducendo l'ingombro dei canali, tipico degli impianti a tutt'aria. L'impiego della sola acqua però non consente di controllare l'umidità relativa dell'aria interna, compito assegnato quindi all'aria primaria immessa negli ambienti.

L'auditorium non presenta una copertura che lo distingua dall'edificio preesistente, quindi l'obiettivo è quello di riuscire a gestire la temperatura solo in prossimità del nuovo elemento, al fine di evitare gli sprechi e soprattutto di garantire un maggior comfort agli utenti, senza dover aspettare che tutto il volume interno del Macello raggiunga la temperatura stabilita.

Le componenti dell'impianto progettato sono:

- la centrale termica, ovvero una pompa di calore acqua-acqua che produce i fluidi termovettori caldi e freddi
- l'unità di trattamento d'aria (U.T.A.) con recuperatore di calore
- tubazioni e pompe per la distribuzione dei fluidi termovettori
- i terminali, ovvero piastre radianti
- organi di regolazione.

La pompa di calore è una macchina in grado di trasferire calore da un ambiente a temperatura più bassa ad un altro a temperatura più alta e rappresenta un mezzo per migliorare il livello di comfort degli ambienti abitativi e di lavoro, con significativi risparmi energetici. Il sistema acqua-acqua inoltre garantisce le prestazioni della pompa di calore indipendentemente dalla temperatura dell'ambiente esterno.

La centrale termica del Macello Suini è una parte di un sistema più grande ad anello che coinvolge tutti gli edifici del complesso. Si vuole infatti inserire una pompa di calore nell'edificio dove prima c'era l'acquedotto e creare un circuito ad anello dove circoli acqua di mandata a 15 °C. Ogni edificio avrà poi la sua centrale termica che prenderà l'acqua dall'anello generale.

La pompa di calore prevista per il Macello Suini dovrà gestire i fluidi termovettori di diversi sistemi indipendenti tra loro: quello delle piastre radianti per scaldare/raffrescare la sala ed una porzione della parte di distribuzione de progetto; quello dell'UTA per regolare le proprietà dell'aria da inserire

nell'edificio; quello dei camerini, blocchi singoli dove si prevede un fancoil per elemento; quello dei servizi igienici esterni serviti da piastre radianti.

L'UTA è dotata di un ventilatore capace di aspirare l'aria e di spingerla verso i punti di diffusione in ambiente. È composta da diverse parti il cui obiettivo è di modificare le caratteristiche di temperatura e di umidità dell'aria, prima di immetterla nell'ambiente. Si predispone da progetto che l'UTA possa essere collocata nell'edificio prima adibito a stalle suini e locale buffet per il Mercato del Bestiame, prospiciente il Macello Suini e distante da esso circa 21 m. Installando la centrale termica e l'UTA in questo edificio secondario e avendo la possibilità di rifare il pavimento, si riesce ad evitare la vista delle tubazioni all'interno dell'edificio facendole passare sotto terra.

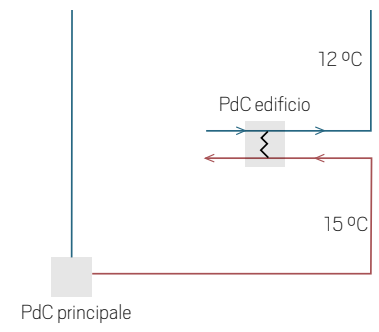
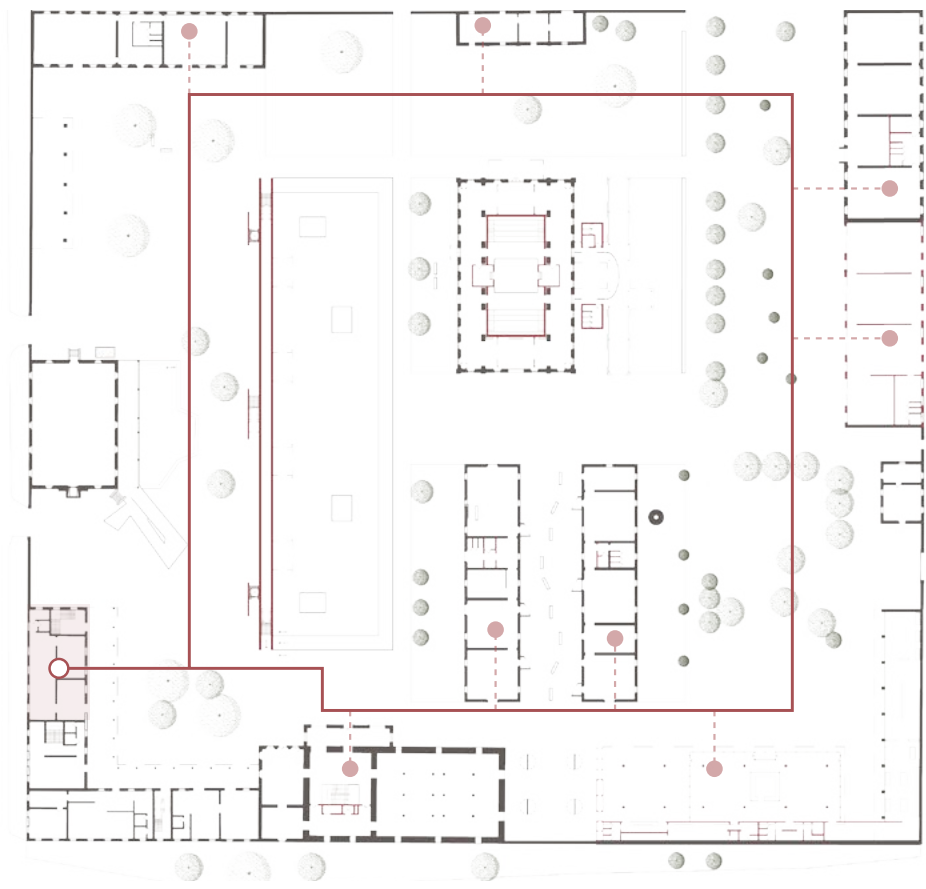
Un ruolo importante verrà svolto dalla parete dell'auditorium che dovrà accogliere i terminali dell'impianto di riscaldamento/raffrescamento (ovvero piastre radianti), oltre al canale di distribuzione dell'aria.

La scelta di utilizzare le piastre radianti è derivata necessariamente dalla limitata disponibilità di superficie a disposizione, dovendo scartare anche il pavimento a causa dei paranchi a forbice. Le piastre radianti, infatti raggiungono valori di resa maggiori e, di conseguenza, si deve garantire meno superficie.

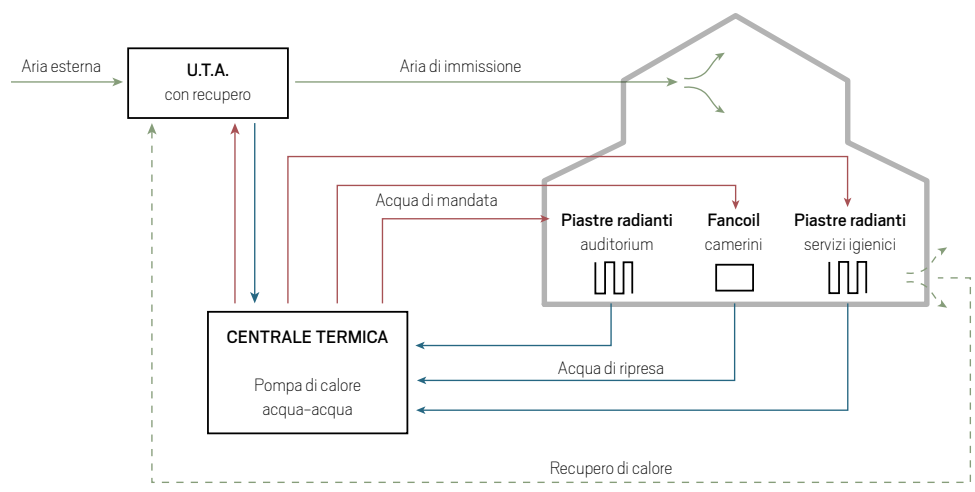
Queste saranno quindi disposte da terra fino al livello dell'ultima seduta in modo da scaldare gli utenti in qualunque disposizione di spazio, grazie alla foratura presente nei pannelli verticali delle sedute. Saranno posizionate specularmente anche sulla superficie esterna verso il Macello Suini, al fine di diminuire lo sbalzo termico tra i due ambienti. La presenza di aria nella parete trasporterà per convezione il calore delle piastre esterne, anche all'interno aumentando il comfort.

La parete dell'auditorium presenta successioni di interassi diversi per le travi principali: quelli più grandi contengono le piastre radianti e quelli più piccoli i canali di distribuzione dell'aria. Si è pensato ai plenum, per avere una maggior uniformità nella diffusione dell'aria. Le griglie di ripresa sono invece poste sul pavimento del Macello Suini, lungo quella parte che abbiamo definito di distribuzione. Sfruttando la perdita progressiva della temperatura dell'aria e l'assenza di copertura dell'auditorium, si crea un moto di convezione che fa muovere l'aria.

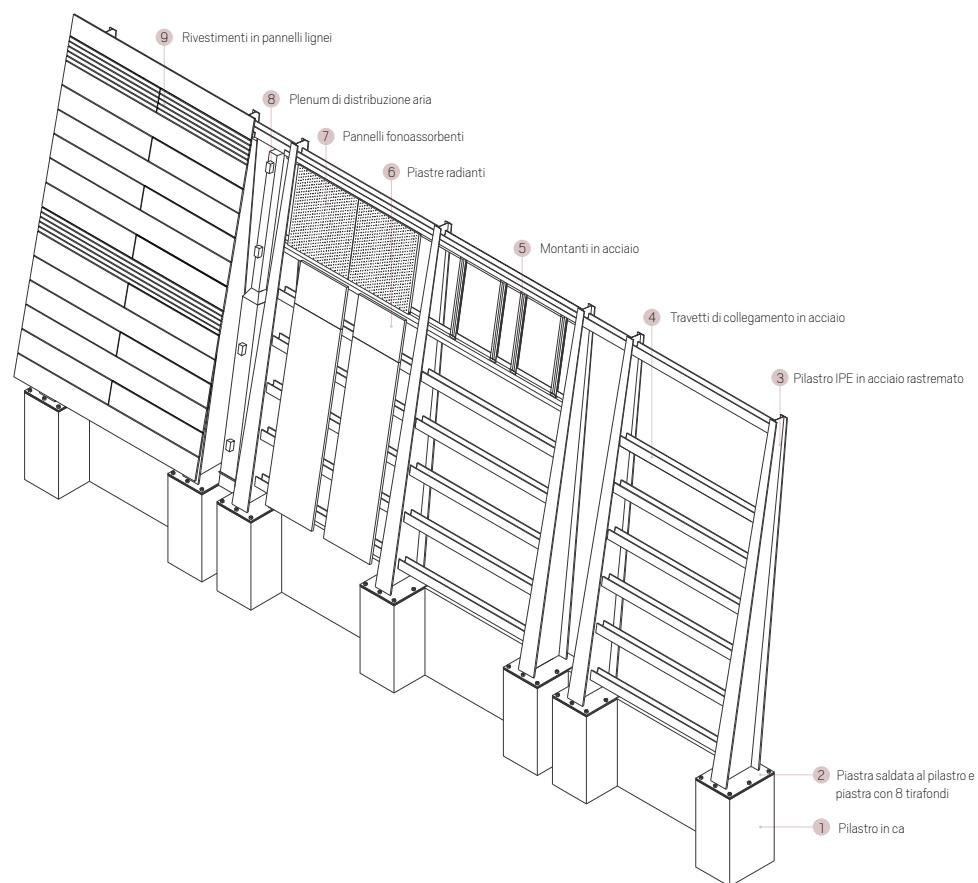
Nella parte superiore della parete sono previsti dei pannelli fonoassorbenti per limitare le riflessioni del suono all'interno della sala ed evitare il fenomeno della riverberazione.



- --- Pompa di calore secondaria del singolo edificio
- Circuito ad anello
- Pompa di calore principale, testa del sistema
- Edificio dell'acquedotto



1. Schema di funzionamento del circuito ad anello
2. Schema di funzionamento della centrale termica



23.1 LE STRATIGRAFIE

Prima di procedere con i calcoli per quantificare e dimensionare le varie parti dell'impianto, bisogna studiare le stratigrafie dello stato di fatto e quelle di progetto, indispensabili per individuare il calore perso per trasmissione dall'involucro.

Per quanto riguarda lo stato di fatto, bisognerebbe eseguire delle verifiche riguardo i materiali realmente utilizzati. Nel lavoro seguente, in mancanza di valori certi, si è fatto riferimento a quelli riportati dalla norma UNI 10355, mentre la stratigrafia della copertura è stata desunta da disegni d'archivio e porzioni di essa ancora esistente.

I criteri per passare da uno stato di fatto al progetto sono stati diversi a seconda del problema conservativo da affrontare.

Per pavimento e copertura, entrambi completamente da rifare, in mancanza di disegni precisi e con la volontà di rendere visibile l'intervento, si è optato per la realizzazione di pacchetti tecnologici in

grado di rispettare i limiti sul valore della trasmittanza espressi dalla normativa (zona E, limite di 0,33 W/m²K per i pavimenti e 0,30 W/m²K per le coperture).

Per gli infissi si sono mantenuti quelli esistenti verso l'esterno, dopo processi di pulitura da ruggine e ricollocazione dei vetri mancanti, in modo che da fuori si abbia la stessa visione del Macello come si aveva un tempo; all'interno si è scelto di posizionarne uno nuovo con telaio in acciaio e doppio vetro (4-16-4), prodotto "foster unico". Si crea così un sistema di doppio serramento con intercapedine di circa 8 cm tra i due sistemi.

Infine per la parete si è scelto di conservare lo stato attuale, senza ripristinare tutto l'intonaco dove manca: ciò comporta un valore di trasmittanza non nella norma, ma il ragionamento è coerente con gli obiettivi conservativi precedentemente esposti. La mancanza di una superficie coerentemente intonacata impedisce infatti la realizzazione di un possibile cappotto interno, poiché esso rimarrebbe visibile e di difficile realizzazione in corrispondenza delle imbotti arcuate delle finestre, dove si creerebbe un elevato ponte termico. Si sceglie perciò di basare le proprie scelte non sul valore di isolamento della parete, ma sul suo spessore, che essendo elevato (52 cm) consente di avere un'utile inerzia termica.

Di seguito vengono riportate le tabelle con indicate le stratigrafie e i valori di trasmittanza dei vari pacchetti tecnologici. Per il disegno, fare riferimento alle tavole.

COPERTURA (stato di fatto)				
Strato	Spessore s [m]	Conducibilità termica λ [W/mK]	Resistenza R [m²K/W]	
R sup. interna			0,10	
Elemento portante in legno				
Tavelloni in cotto	0,06		0,13	
Intercapedine d'aria	0,04			
Tavole in cotto	0,03		0,11	
Tegole marsigliesi	0,01	0,99	0,01	
R sup. esterna			0,04	
			0,39	RESISTENZA TOTALE R [m ² K/W]
			2,56	TRASMITTANZA TOTALE U [W/m ² K]

COPERTURA (progetto)				
Strato	Spessore s [m]	Conducibilità termica λ [W/mK]	Resistenza R [m ² K/W]	
R sup. interna			0,10	
Elemento portante in legno	0,004			
Assito in legno d'abete	0,02	0,12	0,17	
Elemento tenuta aria/vapore	0,004	0,40	0,01	
Pannello Rockwool Durock C	0,06	0,037	1,62	
Pannello Rockwool Hardrock Energy+ listelli	0,08	0,036	2,22	
Intercapedine ventilata	0,06		0,06	
R sup. esterna			0,04	
			4,41	RESISTENZA TOTALE R [m ² K/W]
			0,23	TRASMITTANZA TOTALE U [W/m ² K]
PARETE (stato di fatto e progetto)				
Strato	Spessore s [m]	Conducibilità termica λ [W/mK]	Resistenza R [m ² K/W]	
R sup. interna			0,13	
Intonaco calce e gesso	0,02	0,7	0,03	
Mattoni pieni	0,47		0,47	
Intonaco di malta bastarda	0,03	0,93	0,03	
R sup. esterna			0,04	
			0,70	RESISTENZA TOTALE R [m ² K/W]
			1,43	TRASMITTANZA TOTALE U [W/m ² K]

PAVIMENTO (progetto)				
Strato	Spessore s [m]	Conducibilità termica λ [W/mK]	Resistenza R [m ² K/W]	
R sup. interna			0,17	
Cemento elicotterato	0,04			
Massetto per impianti	0,04	1,31	0,03	
Isolante XPS styrofoam	0,08	0,034	2,35	
Membrana al vapore	0,005	0,4	0,01	
Massetto alleggerito	0,15	0,12	1,25	
Igloo	0,60			
Magrone	0,10	1,2	0,08	
R sup. esterna			0,04	
			3,94	RESISTENZA TOTALE R [m ² K/W]
			0,26	TRASMITTANZA TOTALE U [W/m ² K]

FINESTRA (progetto)				
Strato	Spessore s [m]	Conducibilità termica λ [W/mK]	Resistenza R [m ² K/W]	
R sup. interna			0,13	
Vecchio serramento (U=5,66 W/m ² K)			0,18	
R intercapedine	0,08		0,18	
Nuovo serramento (U=1,8 W/m ² K)			0,56	
R sup. esterna			0,04	
			0,74	RESISTENZA TOTALE R [m ² K/W]
			1,35	TRASMITTANZA TOTALE U [W/m ² K]

24. I CARICHI TERMICI

Mantenere in un ambiente le condizioni interne confortevoli significa controllare i carichi termici perturbatori, generati nell'edificio o trasmessi attraverso le strutture.

I carichi termici che si manifestano con variazioni di temperatura, positive o negative, vengono definiti sensibili; quelli corrispondenti alla potenza termica scambiata nei processi di deumidificazione ed umidificazione dell'aria si chiamano latenti.

I carichi termici sensibili sono di due tipi:

- in ingresso/interni all'edificio, assunti per convenzione positivi
- in uscita dall'edificio, assunti per convenzione negativi.

Un edificio dunque, inserito in un preciso ambiente, riceve, scambia e cede ad esso quantità di energia, che devono necessariamente essere prese in considerazione poiché possono comportare sostanziali cambiamenti del comfort termico.

Nello schema seguente vengono illustrati gli apporti e le perdite energetiche che un edificio può subire durante il suo funzionamento.

Si possono avere apporti interni, dovuti dalla presenza di persone, macchinari o impianti di illuminazione, apporti energetici provenienti dalla radiazione solare che incide sulle pareti opache e trasparenti o dall'impianto termico, come anche perdite dovute alla ventilazione, al rendimento degli impianti e all'energia scambiata per trasmissione all'ambiente esterno. Inoltre, in un territorio come il nostro, la situazione varia dall'estate all'inverno.

Quantificare i carichi termici (estivi ed invernali) risulta essere la base per il dimensionamento degli impianti di climatizzazione, poiché ci permette di conoscere quanto l'edificio disperde o già possiede. L'impianto di climatizzazione, a sua volta, al fine di garantire il benessere degli individui, controlla le condizioni termoigrometriche interne attraverso uno scambio di calore (azione termica), una fornitura di aria esterna (azione di ventilazione) ed uno scambio di vapore (azione igrometrica).

24.1 CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE

Si è già detto che è importante tener conto del cambiamento di stagione, in quanto le condizioni esterne invernali ed estive sono molto differenti e diverso sarà perciò il ruolo che dovrà svolgere l'impianto. In inverno esso deve fornire calore in quantità pari a quello disperso per trasmissione dall'involucro verso l'esterno o verso un ambiente a temperatura differente (eventualmente diminuito per tener conto degli apporti gratuiti interni ed esterni), e deve riscaldare ed umidificare l'aria esterna di rinnovo. (cfr. UNI EN 12831).

La prima cosa da fare è calcolare la potenza termica dispersa per trasmissione dall'involucro verso l'esterno, tenendo conto di un fattore di correzione che dipende dall'esposizione delle superfici di-

sperdenti.

La formula per il calcolo è

$$Q_t = \sum U_i \cdot A_i \cdot \Delta\theta$$

dove:

U_i [W/m²K] è la trasmittanza termica della i-esima soluzione tecnica;

A_i [m²] è la superficie della i-esima soluzione tecnica termicamente uniforme, rivolta verso l'esterno o un altro ambiente a temperatura diversa;

$\Delta\theta$ [K] è la differenza di temperatura tra la zona considerata e l'aria esterna o l'ambiente a temperatura diversa.

Le superfici vanno classificate in base alla loro esposizione per poter moltiplicare il corrispettivo fattore di correzione, indicato in tabella.

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
1,20	1,20	1,15	1,10	1,00	1,05	1,10	1,15

Nel nostro caso la temperatura interna da garantire è di 20° mentre, secondo il DPR 1052/77, la condizione esterna di progetto in regime invernale a Milano è -5°, per una differenza di temperatura pari a 25.

Esposizione	Elemento disperdente	Superficie [m ²]	Trasmittanza [W/m ² K]	Fattore di esposizione	T _i - T _e	Q _T [kW]	Q _T totale [kW]
Nord	Parete	169.19	1.43	1.20	25	8,68	43,42
	Chiusura trasparente	24.27	1.35				
	Chiusura opaca	10.52	1.4				
Sud	Parete	169.19	1.43	1.00	25	7,24	
	Chiusura trasparente	24.27	1.35				
	Chiusura opaca	10.52	1.4				
Est	Parete	222.93	1.43	1.15	25	11,51	
	Chiusura trasparente	50.48	1.35				
	Chiusura opaca	9.7	1.4				
Ovest	Parete	222.93	1.43	1.10	25	11,02	
	Chiusura trasparente	50.48	1.35				
	Chiusura opaca	9.7	1.4				
-	Copertura	575.87	0.23		25	3,31	
-	Pavimento	530.90	0.26		12	1,66	

Il Macello Suini ha un orientamento nord-sud e le sue superfici disperdenti vengono suddivise in base ai quattro punti cardinali, più pavimento e copertura. In ogni gruppo la tipologia di superficie disperdente è moltiplicata per il rispettivo valore di trasmittanza, i prodotti sommati tra loro e infine moltiplicati per il fattore di esposizione e la differenza di temperatura. Le potenze termiche disperse per trasmissione vanno sommate tra loro per darne la quantità totale, cioè 43,42 kW.

La seconda dispersione termica è dovuta alla ventilazione, poiché l'aria che serve da rinnovo deve essere trattata prima di essere immessa nell'ambiente:

$$Q_v = H_v \cdot \Delta\theta = (V \cdot \rho \cdot c_p) \Delta\theta = 0,34 \cdot V \cdot \Delta\theta$$

dove:

H_v [W/K] è il coefficiente di dispersione termica di progetto per ventilazione

$\Delta\theta$ [°C] è la differenza di temperatura tra la zona considerata e l'aria esterna

ρ [kg/m³] è la densità dell'aria alla temperatura interna di progetto

c_p [kJ/kgK] è la capacità termica specifica dell'aria alla temperatura interna di progetto

V [m³/h] è la quantità di aria di rinnovo da garantire.

La variazione di temperatura tra interno ed esterno è ancora 25 °C, mentre per determinare la quantità dell'aria di rinnovo bisogna far riferimento alla norma UNI 10339: essa riporta il metodo da seguire per calcolare la portata d'aria effettiva, in riferimento alla destinazione d'uso dell'edificio e al suo affollamento.

Secondo quanto riporta la norma UNI (9.1.1.1), nei locali di pubblico spettacolo la portata d'aria effettiva Q_{ope} è determinata innanzitutto in funzione del rapporto tra il volume dell'edificio e l'affollamento. Nel nostro caso, il Macello Suini ha un volume di 5695 m³ e l'affollamento previsto per l'auditorium è di 170 persone (150 posti a sedere come valore massimo, più un'ipotesi di 20 persone per la gestione dello spettacolo).

Verificando che il rapporto V/n sia compreso tra 15 e 45, la portata effettiva Q_{ope} è data dalla formula del Metodo B:

$$Q_{ope} = Q_{op} + m(V/n - 15) = Q_{op} + (Q_{opmin} - Q_{op}) / (45 - 15) (V/n - 15)$$

dove:

Q_{op} è la portata d'aria per persona, che secondo la categoria di "Edifici adibiti ad attività ricreative associative di culto e ammissibili" (Prospetto III) per le sale di cinema e teatri è pari a $5,5 \cdot 10^{-3}$ m³/s per persona;

Q_{opmin} è la portata d'aria minima consentita per persona che, essendo Q_{op} uguale a 5,5, nel nostro caso è $4 \cdot 10^{-3}$ m³/s per persona.

Di seguito è riportata una tabella che mostra il valore finale delle dispersioni per ventilazione.

Volume Macello Suini [m ³]	5695	
Affollamento [persone]	170	150 posti a sedere, 20 lavoratori
Portata d'aria [m ³ /s pers]	4,57 10 ⁻³	V/n = 33,50
Ricambi d'aria [m ³ /s]	0,78	portata d'aria x affollamento
Ricambi d'aria [m ³ /h]	2800	ricambi m ³ /s diviso 3600 s
Dispersione per ventilazione [kW]	23,80	
Dispersione per ventilazione [kW]	11,90	UTA con recupero, si considera il 50%

Per terminare il calcolo dei carichi termici invernali, manca solo da quantificare il fattore di correzione per intermittenza. Bisogna infatti tener presente che l'impianto termico non sarà sempre in funzione e che al momento dell'accensione dovrà passare un po' di tempo prima che si arrivi alla temperatura desiderata: tutto questo determina una perdita di energia che va quantificata. Per farlo si segue la norma UNI EN 12831 che riporta una tabella per il fattore di ripresa per edifici non residenziali. Per l'auditorium si è scelto un fattore di ripresa pari a 20 W/m², considerando media la massa dell'edificio, con una caduta di temperatura di 3 K e un tempo di ripresa di 2 ore.

Questo fattore, moltiplicato per la superficie totale dell'edificio, cioè 531 m², fornisce la potenza termica dispersa per intermittenza, che risulta pari a 10,6 kW.

Riassumendo, i carichi termici invernali per l'auditorium sono:

- Potenza termica dispersa per Trasmissione	43,42 kW
- Potenza termica dispersa per Ventilazione	11,90 kW
- Potenza termica dispersa per Intermittenza	10,61 kW
- Totale carichi invernali auditorium	65,93 kW

Il progetto di recupero dell'ex Macello Suini prevede, dal punto di vista impiantistico, la progettazione di tre zone termiche distinte: la sala dell'auditorium, i servizi igienici, serviti da piastre radianti e gli spogliatoi serviti da fancoils.

I calcoli fin qui considerati valgono per l'auditorium, ma da questi valori possiamo ottenere la percentuale di potenza termica dispersa dalle altre due zone termiche, trovando quanto disperde ogni m² di superficie.

Superficie Macello [m ²]	531	Superficie camerini [m ²]	21,7
Carichi termici Macello [kW]	65,93	Carichi termici camerini [kW]	2,69
kW/m ²	0,12	Superficie servizi igienici [m ²]	22,64
		Carichi termici servizi igienici [kW]	2,81

24.2 STIMA DEL CARICO TERMICO ESTIVO

In un territorio come Monza, lo sbalzo termico tra inverno ed estate è tale da determinare per l'impianto un'inversione di rotta, nel senso che se prima il caldo doveva essere portato dentro l'edificio, ora per garantire il comfort esso va tolto. In particolare, bisogna asportare il calore entrato dall'esterno per irraggiamento o differenza di temperatura o emanato da fonti interne, il calore e il vapore acqueo emanato dalle persone e bisogna raffreddare e deumidificare l'aria esterna di ventilazione. Anche in questo caso si hanno dei carichi termici da quantificare, il cui valore viene preso da una tabella che riporta i carichi termici estivi unitari per tipologia di utenza.

Nel caso dell'auditorium, la temperatura interna di progetto è fissata a 27 °C e quella esterna a 32 °C (norma UNI 10339). Non avendo nella tabella la tipologia di sala, si sceglie un valore unitario di carico termico estivo pari a 112 W/m², corrispondente alla potenza frigorifera media per un centro commerciale.

Avendo una superficie globale di 531 m², una stima dei carichi termici estivi potrebbe essere:

$$Q_{\text{estate}} = 112 \times 531 = \mathbf{59,5 \text{ kW}}$$

25. IL DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO

Si procede ora con la descrizione delle fasi dei calcoli che hanno portato al dimensionamento delle parti costituenti l'impianto. Il primo componente è la centrale termica, cioè la pompa di calore, tipologia acqua-acqua, studiato sia nel caso invernale che in quello estivo.

25.1 IL CASO INVERNALE

Per quanto riguarda la stagione invernale, i dati da cui si parte sono riportati in tabella:

Temperatura interna T_r	20 °C
Umidità relativa interna UR_r	50%
Temperatura esterna T_e	-5 °C
Umidità relativa esterna UR_e	60 %
Temperatura di immissione T_i	20 °C
Q_s per lampade e macchinari	6 kW
Q_s per trasmissioni involucro	43,42 kW
Q_s per intermittenza	5,31 kW
Portata d'aria immessa	2800 m ³ /h
Affollamento	170 persone
Q_s per persona	70 W
Q_l per persona	35 W

Q_s e Q_l sono rispettivamente il carico termico sensibile e latente presenti in ambiente per cause diverse: il primo determina un effetto sulla temperatura dell'aria, l'altro sulla sua umidità specifica.

Le condizioni esterne di progetto sono definite dal DPR 1052/77; il valore di UR esterna viene dedotto dalla norma UNI 10339; i carichi termici dovuti alla presenza di persone in ambiente dalla tabella pubblicata da Ashrae Handbook Fundamentals (2001).

Innanzitutto il carico latente dovuto dalle persone viene considerato pari a 0, quindi trascurato, al fine di massimizzare la potenzialità della batteria di pre-riscaldamento e di umidificazione dell'UTA ed essere perciò in favore di sicurezza.

Si procede calcolando il carico sensibile complessivo e il carico totale, ricordandosi che le potenze termiche uscenti dall'involucro si considerano negative e quelle entranti positive. Nel nostro caso quindi la potenza termica fornita da persone, lampade e macchinari è un contributo positivo, mentre ciò che si disperde per trasmissione ed intermittenza è negativo.

$$Q_s = 6 \text{ kW} - 43,42 \text{ kW} - 5,31 \text{ kW} + (170 \times 0,07) = -30,83 \text{ kW}$$

$$Q_T = Q_s + Q_L = -30,83 + 0 = -30,83 \text{ kW}$$

$$RST = Q_s / Q_T = 1$$

Il rapporto RST individua la pendenza della retta ambiente, cioè la retta lungo la quale si trova lo stato di immissione dell'aria e lo stato interno sul diagramma psicometrico.

A questo punto infatti bisogna utilizzare il diagramma psicometrico e, partendo dall'individuazione delle caratteristiche dello stato interno, di immissione (in questo caso coincidenti) ed esterno, si ottengono i valori delle fasi di pre-riscaldamento (e-A), umidificazione con aria liquida (A-B) e post-riscaldamento (B-i) che avvengono nell'UTA. Da considerare inoltre che $T_i = T_r = 20 \text{ °C}$, $\omega_i = \omega_r$ e che perciò $v_i = 0,840 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Punto	esterno (e)	interno (r) = immissione (i)	A	B
Temperatura T [°C]	0	20	21,5	9,3
Umidità relativa UR [%]	60	50	15	100
ω [g/kg]	2,3	7,3	2,3	7,3
Entalpia h [kJ/kg]	5	39	27,5	27,5
Volume specifico v [m ³ / kg]	0,778	0,840	0,838	0,809

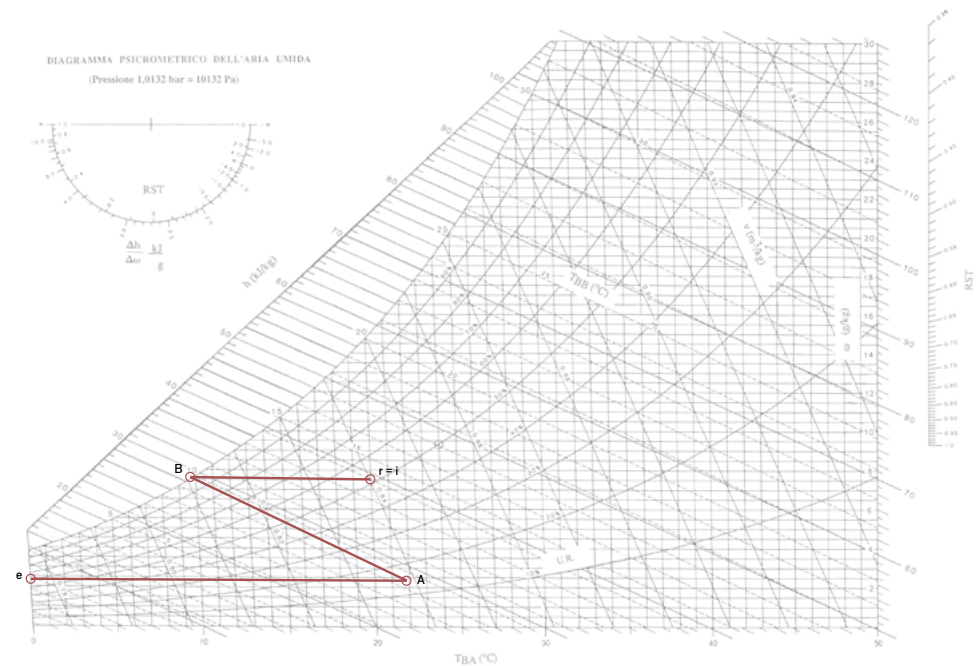


Diagramma psicometrico con i punti del progetto

La portata d'aria esterna immessa, che serve solo da aria di rinnovo, ottenuta dal calcolo del carico termico per la ventilazione, è di 2800 m³/h e da questa possiamo ottenere la portata volumetrica d'aria di immissione, pari a:

$$m_a = V_{AE} / v_i = 2800 / 0,840 = 3333,33 \text{ kg/h} = 0,93 \text{ kg/s}$$

L'equazione di bilancio di energia in ambiente, tra potenza persa e da fornire, permette di trovare la potenza riscaldante delle piastre radianti:

$$Q_p - Q_T = 0$$

$$Q_p = Q_T = 30,83 \text{ kW}$$

Facendo riferimento ai valori trovati tramite il diagramma psicometrico, si procede con

il dimensionamento delle batterie di pre e post riscaldamento:

$$Q_{PRE} = m_a (h_A - h_e) = 0,93(27,5 - 5) = 20,83 \text{ kW}$$

$$Q_{POST} = m_a (h_i - h_B) = 0,93(39 - 27,5) = 10,65 \text{ kW}$$

la valutazione della portata d'acqua di umidificazione:

$$m_u = m_a (\omega_B - \omega_A) = 0,93(2,3 - 7,3) = 4,63 \text{ g/s} = 16,67 \text{ kg/h}$$

la valutazione della potenza di rinnovo:

$$Q_{RINN} = m_a (h_r - h_e) = 0,93(39 - 5) = 31,48 \text{ kW}$$

A questo punto si effettua il bilanciamento energetico globale, dove ancora una volta, ciò che viene perso dall'ambiente deve essere equilibrato a ciò che gli viene fornito:

$$m_a h_e + Q_{PRE} + m_u h_u + Q_{POST} + Q_p = Q_T + m_a h_r$$

$$Q_{PRE} + Q_{POST} + Q_p = Q_T + Q_{RINN}$$

$$20,83 + 10,65 + 30,83 = 30,83 + 31,48$$

$$62,31 = 62,31 \text{ kW}$$

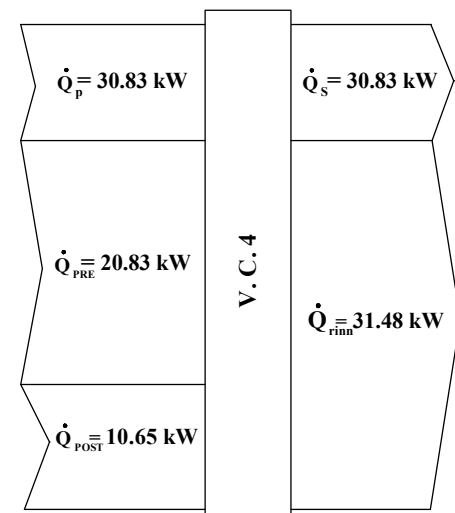
Questa è la potenza termica che deve fornire la pompa di calore per la sola sala dell'auditorium.

Se a questo aggiungiamo i kW calcolati precedentemente, come proporzione richiesta dai fancoils per i camerini e dalle piastre per i servizi igienici, la potenza termica della pompa di calore è 67,81 kW, ovvero circa 68 kW.

In conclusione:

Portata volumetrica = 2800 m³/h, da qui si ricavano le dimensioni dell'UTA;

Potenza termica = 68 kW, da qui si ricava il dimensionamento della centrale termica



4.2 IL CASO ESTIVO

Per quanto riguarda la stagione estiva, i dati da cui si parte sono riportati in tabella e le condizioni esterne di progetto sono definite dalla UNI 10339.

Temperatura interna T_r	26 °C
Umidità relativa interna UR_r	50%
Temperatura esterna T_e	32 °C
Umidità relativa esterna UR_e	48 %
Temperatura di immissione T_i	15 °C
Q_s per lampade e macchinari	2 kW
Q_s per carichi termici estivi	112 W/m ²
Superficie auditorium	172 m ²
Portata d'aria immessa	2800 m ³ /h
Affollamento n	170 persone
Q_s per persona	70 W
Q_l per persona	35 W
Portata di vapore per persona	100 g/h

Innanzitutto il carico latente dovuto dalle persone nel caso estivo non si considera pari a zero, ma deve essere calcolato come segue:

$$Q_L = m_v \times h_v = (m_v \times \text{persone}) \times h_v = (50 \times 170) / (3600 \times 1000) \times 2565,5 = 12,11 \text{ kW}$$

dove h_v è l'entalpia del vapore emessa dalle persone, valutabile come vapore saturo secco alla temperatura di 35 °C e cioè $h_v = 2565,5 \text{ kJ/kg}$.

Si procede calcolando il carico sensibile complessivo e il carico totale, ricordandosi che i carichi termici dovuti all'illuminazione, ai macchinari, alle persone e alla potenza termica entrante nell'involucro edilizio sono da considerare positivi.

$$Q_s = 2 \text{ kW} + (112 \text{ W/m}^2 \times 172 \text{ m}^2) / 1000 \text{ kW} + (170 \times 0,07) \text{ kW} = 2 + 19,3 + 11,9 = 33,16 \text{ kW}$$

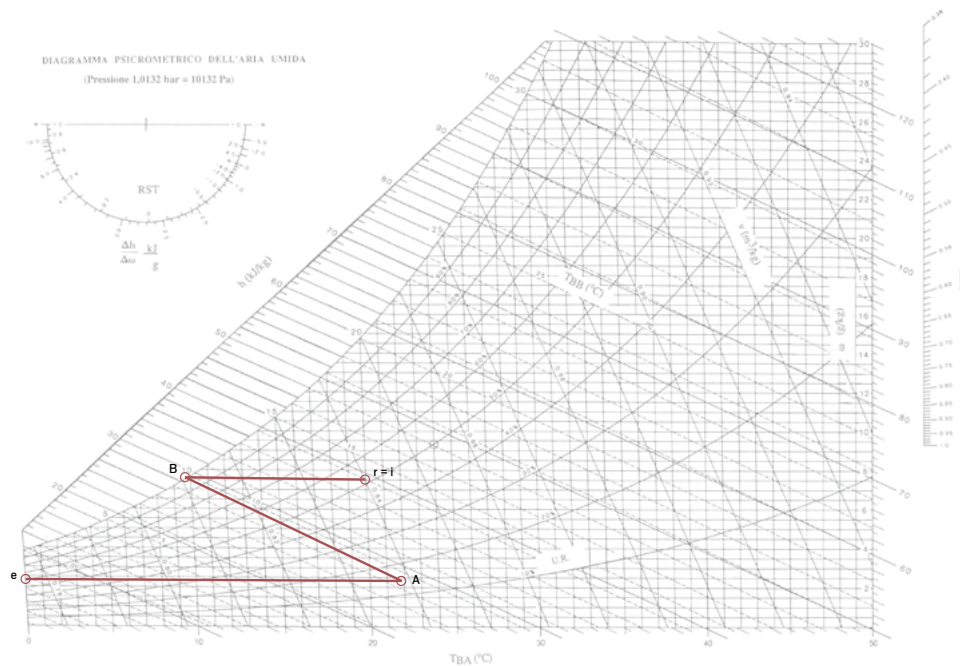
$$Q_T = Q_s + Q_L = 33,16 + 12,11 = 45,28 \text{ kW}$$

$$RST = Q_s / Q_T = 0,73$$

A questo punto si utilizza il diagramma psicometrico e, partendo dall'individuazione delle caratteristiche dello stato interno, di immissione ed esterno, si ottengono i valori delle fasi di raffreddamento – deumidificazione (e-A) e post-riscaldamento (A-i) che avvengono nell'UTA. Da considerare inol-

tre che se $T_i = 15 \text{ }^\circ\text{C}$, $v_i = 0,824 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Punto	esterno (e)	interno (r)	immissione (i)	B
Temperatura T [$^\circ\text{C}$]	32	26	15	12
Umidità relativa UR [%]	48	50	82	100
ω [g/kg]	14,5	10,5	8,8	8,8
Entalpia h [kJ/kg]	69	53	37	34,5
Volume specifico v [m^3/kg]	0,884	0,861	0,828	0,819



La portata d'aria esterna immessa che serve solo come aria di rinnovo, ottenuta dal calcolo del carico termico per la ventilazione, è di $2800 \text{ m}^3/\text{h}$ e da questa possiamo ottenere la portata volumetrica d'aria di immissione, pari a:

$$m_a = V_{AE} / v_i = 2800 / 0,824 = 3398,06 \text{ kg/h} = 0,94 \text{ kg/s}$$

L'equazione di bilancio di massa in ambiente, relativo all'acqua, permette di calcolare la portata massica del vapore presente:

$$m_a \omega_i + m_v = m_a \omega_r$$

$$m_v = m_a (\omega_r - \omega_i) = m_v \text{ pers} \times n = (100 \times 170) / 3600 = 4,72 \text{ g/s}$$

Diagramma psicometrico con i punti del progetto

L'equazione di bilancio di energia in ambiente, tra potenza persa e da fornire, permette di trovare la potenza frigorifera delle piastre radianti:

$$m_a h_i + Q_S + Q_L = m_a h_r + Q_P$$

$$Q_P = Q_T - m_a (h_r - h_i)$$

$$Q_P = 45,28 - 0,94(53 - 37) = 30,18 \text{ kW}$$

Facendo riferimento ai valori trovati tramite il diagramma psicometrico, si procede con

il dimensionamento delle batterie fredda e calda:

$$Q_{BF} = m_a (h_e - h_B) = 0,94(69 - 34,5) = 32,56 \text{ kW}$$

$$Q_{BC} = m_a (h_i - h_B) = 0,94(37 - 34,5) = 2,36 \text{ kW}$$

la valutazione della potenza di rinnovo:

$$Q_{RINN} = m_a (h_e - h_i) = 0,94(69 - 53) = 15,10 \text{ kW}$$

A questo punto si effettua il bilanciamento energetico globale, dove ancora una volta, ciò che viene perso dall'ambiente deve essere equilibrato a ciò che gli viene fornito:

$$m_a h_e + Q_{BC} + Q_T = Q_{BF} + Q_P + m_a h_r$$

$$Q_{BC} + Q_T + m_a (h_e - h_i) = Q_{BF} + Q_P$$

$$Q_{BC} + Q_T + Q_{RINN} = Q_{BF} + Q_P$$

$$2,36 + 45,28 + 15,10 = 32,56 + 30,18$$

$$62,74 = 62,74 \text{ kW}$$

62,74 kW è dunque la potenza frigorifera che deve possedere la pompa di calore (quindi circa 63 kW) per soddisfare le richieste del progetto.

In conclusione:

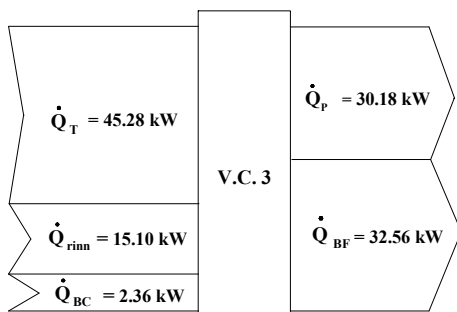
Portata volumetrica = 2800 m³/h, da qui si ricavano le dimensioni dell'UTA;

Potenza frigorifera = 63 kW, da qui si ricava il dimensionamento della centrale termica.

Per soddisfare la richiesta, si sceglie come prodotto la pompa di calore con sorgente acqua della società **Climaveneta, modello NECS-WQ 0202**. Essa garantisce una potenza termica di 69,3 kW per il riscaldamento, di 67,2 kW per la refrigerazione, rispettando perciò i valori richiesti.

Il COP, coefficiente di prestazione, è 4,28 ed indica il rapporto tra l'energia fornita e l'energia elettrica consumata. Le sue dimensioni sono 1222 mm di lunghezza, 893 mm di larghezza e 1496 mm di altezza.

Considerando la potenza termica dispersa per trasmissione (43,42 kW), dividendola per i m² totali del Macello Suini e moltiplicandola poi per quelli dell'auditorium, si ottengono i kW delle piastre ra-



dianti necessarie al progetto.

$$Q_{\text{piastre}} = (Q_r/m^2 \text{ totali}) \times m^2 \text{ auditorium} = (43,42/531) \times 172 = 14,06 \text{ kW}$$

Per le piastre radianti si sceglie il **modello Relax 15** della società Irsap, che può arrivare a valori di resa pari a 110 W/m².

La superficie delle piastre radianti da garantire per la sola sala dell'auditorium è:

$$Q_{\text{piastre}} \times 1000/\text{resa} = (14,06 \times 1000)/110 = 127,85 \text{ m}^2$$

La superficie disponibile ad ospitare le piastre radianti sulle pareti interne dritte dell'auditorium è di 39 m², mentre su quelle inclinate è 26 m²: si arriva così ad un totale di 65 m². Possiamo raddoppiare la superficie disponibile, posizionando la stessa estensione di piastre radianti anche sulle superfici esterne delle pareti.

In questo modo non solo si ottengono 130 m² di piastre radianti che soddisfano pienamente la richiesta di progetto, ma si riesce anche a diminuire lo sbalzo termico tra auditorium e Macello Suini, riscaldando la parte vicina alla sala.

Poiché si conosce la portata d'aria che deve essere immessa nell'ambiente, da essa si ricavano le dimensioni delle parti costituenti l'**UTA** e quelle globali. In particolare, dovendo garantire una portata d'aria pari a 2800 m³/h, quindi 3000 per eccesso, se ne sceglie una che presenta un'altezza di 80 cm, una larghezza di 120 cm e una lunghezza di 465 cm.

Per il dimensionamento dei canali di distribuzione è possibile utilizzare la relazione $A=Q/w$ che associa l'area A (m²) della sezione di attraversamento del canale alla portata volumetrica d'aria Q (m³/s) ed alla velocità w (m/s).

Essendo un auditorium, si ipotizzano velocità pari a:

4,0 m/s per i tratti principali, 3,0 m/s per i tratti secondari e 2,5 m/s nei punti di diffusione.

CANALI DI MANDATA

Tratto AB

$$Q = 2800 \text{ m}^3/\text{h} = 0,78 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$w = 4 \text{ m/s}$$

$$A = Q/w = 0,78 / 4 = 0,19 \text{ m}^2$$

Scegliendo una sezione rettangolare si ha $h=0,45$ m e $l=0,43$ m; quindi si sceglie un canale di 450x450 mm.

Tratto BE e BM

$$Q = 1400 \text{ m}^3/\text{h} = 0,39 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$w = 3 \text{ m/s}$$

$$A = Q/w = 0,39 / 3 = 0,13 \text{ m}^2$$

Scegliendo una sezione rettangolare si ha $h=0,37$ m e $l=0,35$ m; quindi si sceglie un canale di 400x350 mm.

Tratto EH e MP

$$Q = 700 \text{ m}^3/\text{h} = 0,19 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$w = 3 \text{ m/s}$$

$$A = Q/w = 0,19 / 3 = 0,06 \text{ m}^2$$

Scegliendo una sezione rettangolare si ha $h=0,30 \text{ m}$ e $l=0,22 \text{ m}$; quindi si sceglie un canale di $300 \times 250 \text{ mm}$.

Tratto Plenum parete

$$Q = 233 \text{ m}^3/\text{h} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$w = 2,5 \text{ m/s}$$

$$A = Q/w = 0,06 / 2,5 = 0,03 \text{ m}^2$$

Scegliendo una sezione rettangolare si ha $h=0,16 \text{ m}$ e $l=0,16 \text{ m}$; quindi si sceglie un canale di $200 \times 200 \text{ mm}$.

CANALI DI RIPRESA**Tratto griglie di ripresa**

$$Q = 630 \text{ m}^3/\text{h} = 0,17 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$w = 3 \text{ m/s}$$

$$A = Q/w = 0,17 / 3 = 0,06 \text{ m}^2$$

Scegliendo una sezione rettangolare si ha $h=0,25 \text{ m}$ e $l=0,23 \text{ m}$; quindi si sceglie un canale di $250 \times 250 \text{ mm}$.

Tratto A'C'

$$Q = 1260 \text{ m}^3/\text{h} = 0,70 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$w = 3 \text{ m/s}$$

$$A = Q/w = 0,70 / 3 = 0,12 \text{ m}^2$$

Scegliendo una sezione rettangolare si ha $h=0,35 \text{ m}$ e $l=0,33 \text{ m}$; quindi si sceglie un canale di $350 \times 350 \text{ mm}$.

Tratto C'E'

$$Q = 2520 \text{ m}^3/\text{h} = 0,70 \text{ m}^3/\text{s}$$

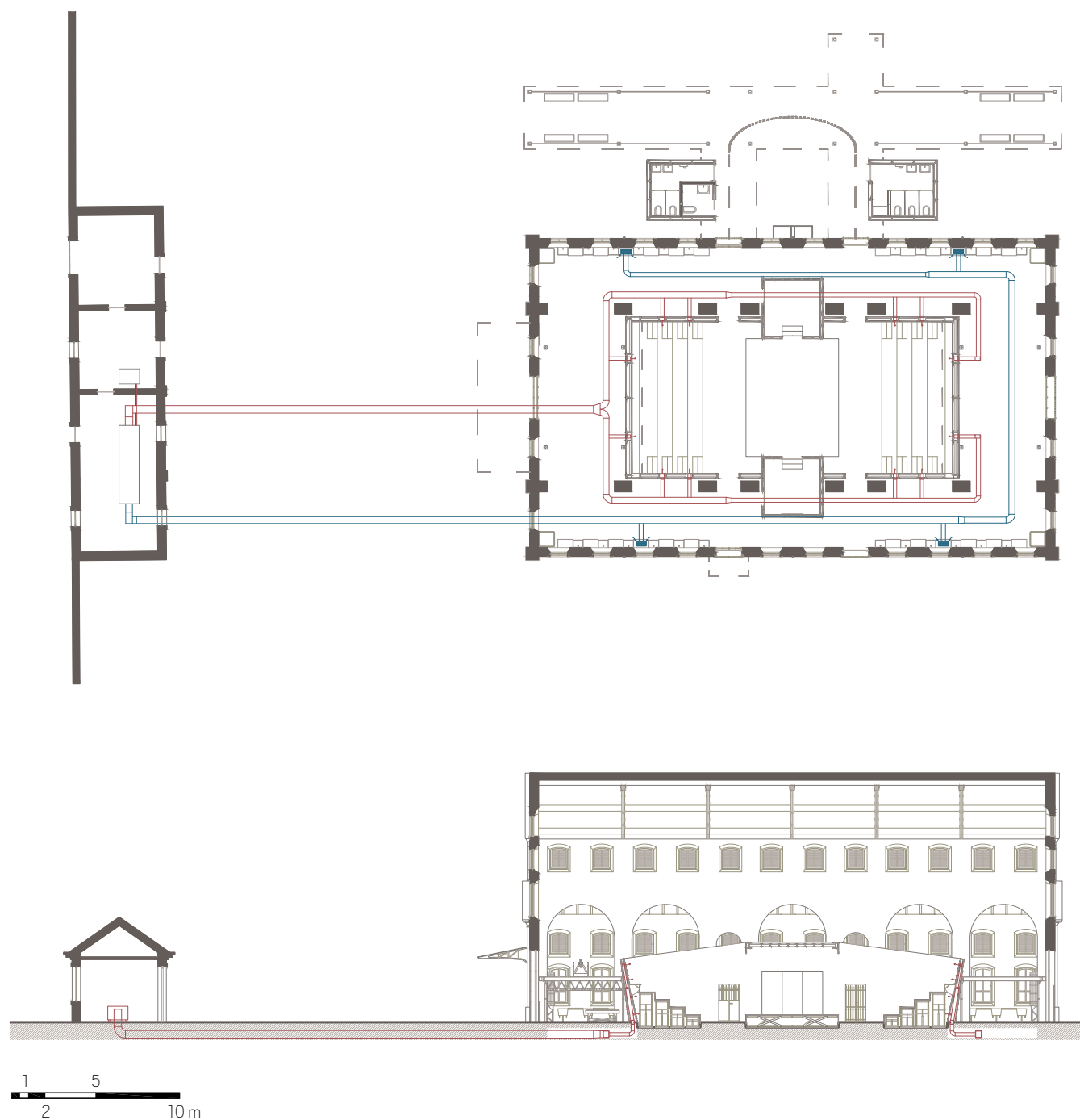
$$w = 4 \text{ m/s}$$

$$A = Q/w = 0,70 / 4 = 0,17 \text{ m}^2$$

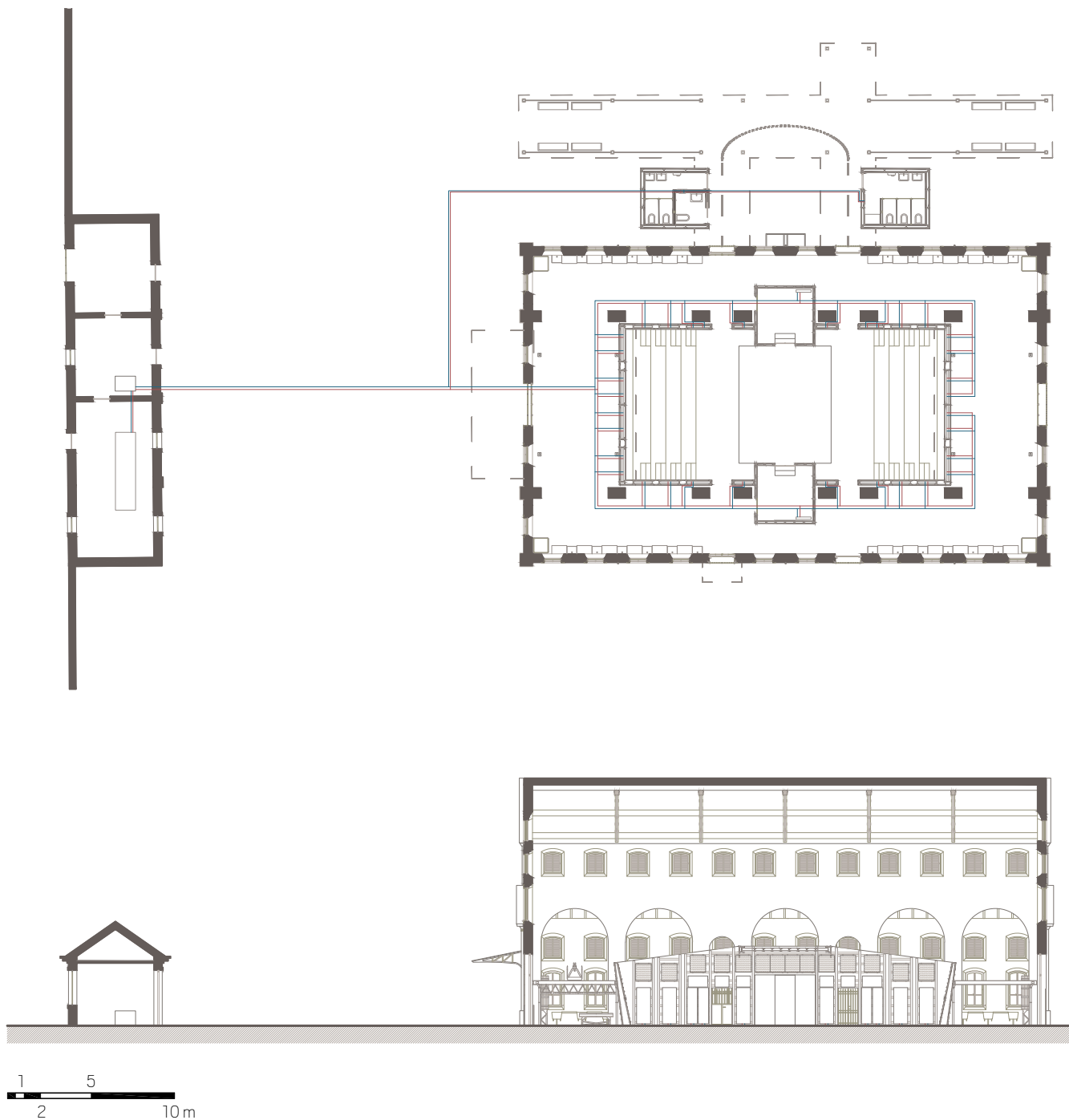
Scegliendo una sezione rettangolare si ha $h=0,45 \text{ m}$ e $l=0,39 \text{ m}$; quindi si sceglie un canale di $450 \times 400 \text{ mm}$.

(per la ripresa si considera il 90% dell'aria immessa).

L'IMPIANTO DI VENTILAZIONE



L'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO



5. LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA

In vista del progetto di recupero, è norma verificare la classe energetica a cui l'edificio afferisce sulla base delle emissioni che esso genera nell'ambiente. La certificazione energetica sta infatti diventando lo strumento per orientare tutte quelle azioni volte al miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici, capace davvero di rendere trasparente la qualità energetica degli immobili.

L'intervento che si va a compiere sull'edificio del Macello Suini è un intervento di ristrutturazione edilizia che coinvolge più del 25% della superficie disperdente e che prevede anche un cambio di destinazione d'uso: da edificio industriale ad edificio adibito ad attività di teatro e sale riunioni. Tuttavia l'edificio è sotto tutela come bene culturale dal 1984, perciò è esente dal raggiungimento di precisi valori limite obbligatori.

L'obiettivo è dunque riuscire a garantire un miglioramento energetico del progetto rispetto allo stato di fatto, ed è per questo che si è effettuata la certificazione energetica di entrambe le situazioni, utilizzando il software Cened+.

5.1 IL MACELLO SUINI

L'edificio del Macello Suini viene attribuito alla categoria di edifici E.8, cioè edifici adibiti ad attività industriali, artigianali ed assimilabili.

Il software quantifica le emissioni di CO₂ e le prestazioni energetiche dell'edificio, basandosi sulla trasmissione dell'involucro verso l'esterno, l'impianto a cui afferisce e tutte le altre possibili dispersioni energetiche.

L'involucro edilizio deve essere quindi smembrato in tutte le sue possibili superfici disperdenti, divise per tipologia, trasmittanza, orientamento, aggetti od oscuramenti (dove presenti).

Al momento reale non si conosce nulla delle caratteristiche dell'impianto termico, perciò si considera un edificio cosiddetto standard, cioè che presenta un impianto con caratteristiche minime e poca efficienza energetica. Inoltre si considera ancora esistente la copertura con la stratigrafia ipotizzata da carte storiche. Si è scelto un impianto con una caldaia a gas metano come centrale termica e con ventilazione solo naturale; i ricambi orari sono calcolati, secondo il D.Lgs. 5796/2009:

$$\begin{aligned} N \text{ ricambi orari} &= (v_{\min} \times i_s \times A) / V = \\ &= (36 \times 0,25 \times 530,82) / 5695,34 = 0,84 \text{ 1/h} \end{aligned}$$

L'impianto non produce acqua calda sanitaria, lo si considera autonomo e con generazione termica separata (cfr Decreto 5796); come terminali si scelgono dei radiatori su superficie esterna.

Il risultato che si ottiene è il seguente:



Macello Monza – classe energetica invernale/estiva
Auditorium – classe energetica invernale/estiva

Classe energetica	F
Rapporto S/V	0,34
EPH	64,20 kWh/m ³
Emissioni CO ₂	12,83 kg/m ³
Illuminazione	10,72 kWh/m ³
Riscaldamento ϵ_{gh}	0,61
Acqua calda sanitaria ϵ_{gh}	0,00
Riscaldamento o climatizzazione invernale ET _H	39,43 kWh/m ³
Raffrescamento o climatizzazione estiva ET _H	4,22 kWh/m ³

Come si può notare, nonostante alcun tipo di accorgimento tecnologico, la classe energetica di appartenenza non risulta la peggiore in assoluto, probabilmente grazie all'inerzia termica che caratterizza le pareti esterne dell'involucro.

5.2 L'AUDITORIUM

L'edificio del Macello Suini nel progetto di recupero, dovendo accogliere la nuova funzione di auditorium, cambia la destinazione d'uso diventando parte della categoria E.4, cinema e teatri, sale di riunione per congressi.

L'involucro edilizio viene smembrato nelle sue superfici disperdenti come prima, ma ora si attribuiscono ad esse il valore di trasmittanza delle nuove stratigrafie progettate. Bisogna inoltre verificare se nel corso del progetto, sono cambiate le condizioni di ombreggiamento, come nel caso dei blocchi dei servizi igienici posti all'esterno del prospetto est, prima non previsti.

L'edificio conservato presenta una ventilazione meccanica a doppio flusso, senza pre-riscaldamento, con recupero (efficienza recuperatore 80%) e controllo di umidità. Inoltre il valore di ricambi orari è 0,50 1/h, dipendente dal cambio di destinazione d'uso.

Come abbiamo precedentemente esposto, la pompa di calore prevista dovrà asservire a diversi sistemi (piastre radianti, UTA, fancoils). In questo caso si considerano però solo gli elementi riguardanti il Macello e l'auditorium, il quale, non essendo chiuso rispetto all'edificio del Macello in cui è contenuto e condividendo con esso il riscaldamento di alcune piastre, possono considerarsi come unica zona termica. Si sceglie quindi un impianto termico con generazione termica separata e come centrale termica la pompa di calore acqua-acqua, da noi scelta e quantificata.

Ad essa si legano due sistemi impiantistici: il riscaldamento, con pannelli radianti a parete come terminali, e l'UTA, senza produzione di acqua calda sanitaria. Ovviamente, in questo caso, i valori

numerici da inserire corrispondono a quelli calcolati nei capitoli precedenti.

Il risultato che si ottiene è il seguente:

Classe energetica	C
Rapporto S/V	0,34
EPH	12,90 kWh/m ³ a
Emissioni CO ₂	2,56 kg/m ³
Illuminazione	3,79 kWh/m ³
Riscaldamento ϵ_{gh}	1,54
Acqua calda sanitaria ϵ_{gh}	0,00
Riscaldamento o climatizzazione invernale ET _H	19,92 kWh/m ³
Raffrescamento o climatizzazione estiva ET _H	2,16 kWh/m ³

In conclusione, grazie al nuovo intervento si ottiene un miglioramento energetico dell'80% rispetto allo stato di fatto, frutto sicuramente dell'attenzione verso la progettazione delle superfici disperdenti mancanti e della scelta di limitare il riscaldamento alla zona d'uso strettamente necessaria e ad uso del pubblico, senza disperdere inutilmente energia.

Per migliorare l'edificio dal punto di vista energetico, sono state fatte delle particolari scelte al momento della definizione delle stratigrafie.

Per scelta progettuale le pareti sono rimaste uguali, mentre sia la copertura sia il pavimento presentano dei pannelli isolanti. Inoltre nella scelta delle finestre, assolutamente da compiere in quanto l'edificio si presentava in parte di loro privo, si è optato per finestre con un valore di trasmittanza più basso.

Si è voluto quindi provare a calcolare un possibile extracosto dovuto all'isolamento che si è voluto garantire, pur senza essere a conoscenza di quanto possa essere il costo globale dell'intervento. La tabella seguente mostra il risultato finale. Per ogni voce si considera non solo il prezzo del materiale, ma anche la manodopera necessaria per l'installazione. I costi scelti sono dei valori standard.

Elemento	Materiale	Quantità	Costo	Totale
Pavimento	Isolante XPS styro-foam	478 m ²	30 €/m ²	14352,00 €
Copertura	Pannello Rockwool Durock C	689 m ²	50 €/m ²	34434,18 €
Copertura	Pannello Rockwool Hardrock Energy	689 m ²	50 €/m ²	34434,18 €
Aperture Nord	Forster unico	27 m ²	100 €/m ²	2742,00 €
Aperture Est	Forster unico	28 m ²	100 €/m ²	2784,00 €
Aperture Sud	Forster unico	27 m ²	100 €/m ²	2742,00 €
Aperture Ovest	Forster unico	28 m ²	100 €/m ²	2784,00 €
Pompa di calore		69,3 kW	400 €/kW	27720,00 €
UTA				25000,00 €
			Totale	147000,00 €

6. LE MISURE ANTINCENDIO

La normativa antincendio di riferimento per locali di spettacolo è il D.M. 19 agosto 1996 (Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio dei locali di intrattenimento e di pubblico spettacolo), a cui l'auditorium afferisce in quanto locale con di superficie lorda di pianta al chiuso superiore a 200 m² (592,6 m²) e di categoria B, cioè fino a 200 persone.

I requisiti di resistenza al fuoco degli elementi strutturali vanno valutati secondo le prescrizioni della circolare del Ministero dell'Interno n. 91 del 14-09-1961; mentre quelli di porte e chiusure secondo il Decreto del Ministero dell'Interno 14-12-1993. Si rimanda perciò la scelta specifica dei materiali da costruzione, secondo la classe di resistenza al fuoco, da garantire per normativa (capitolo 2.3.2 del decreto).

Il progetto prevede la realizzazione di un locale adibito a teatro ed auditorium per un massimo di 150 persone, all'interno di un edificio già esistente. Come viene riportato nel decreto, essendo in atto un cambiamento di destinazione d'uso, bisogna verificare che le disposizioni antincendio siano rispettate dai locali esistenti ed ex novo.

Il locale si sviluppa completamente su un unico piano con doppia possibilità di ingresso simmetrica, la sala con platea e palco, due camerini o locali di deposito ed i servizi. Il locale caldaia e UTA è posto all'esterno, in un edificio vicino e isolato.

L'edificio è isolato, con altezza superiore ai 12 metri e costruito in muratura piena; al suo interno si costruiscono gli altri elementi della sala (struttura metallica e rivestimento ligneo) e dei locali accessori (struttura metallica e rivestimento in ferro ossidato).

Accesso all'area (titolo II_DM)

L'area è tale da consentire un facile accesso ed operatività ai mezzi di soccorso: rispetta i minimi richiesti di larghezza (3,5 m), altezza libera (4 m) e raggio di svolta (13 m) in quanto l'edificio è isolato, circondato da spazi verdi o piazze ed è occupato da una tettoia esterna solo sul lato est.

Ingresso

L'ingresso può avvenire dal lato nord e sud, ma non esistono pareti che lo separino dal resto dell'edificio. Sono presenti però degli oggetti lasciati come testimonianza storica (parti di carroponete, tavoli, pesa) che possono costituire un intralcio alla circolazione del pubblico. È anche per questo motivo che le vie di esodo prescelte saranno altre.

Sala (titolo III_DM)

La sala è dotata di una certa flessibilità che le consente di ospitare tre tipologie di spettacolo: sala unica con pavimento piano, sala con palco centrale e sala con palco centrale e doppia platea.

Per far questo si è scelto di utilizzare dei paranchi a forbice idraulica (2 per seduta e 4 per il palco), ispezionabili e che, una volta chiusi, rimangono molto compatti.

La capacità massima della sala è di 150 posti, distribuiti nelle due platee con 5 file ciascuna, con 15 posti di 0,45 m l'uno, senza sedie fisse. I gradoni hanno una larghezza di 0,90 m per garantire la seduta e il passaggio alle spalle, mentre la larghezza dei percorsi è di 0,90 m.

I gradini che portano alle sedute hanno un'alzata di 0,15 m ed una pedata di 0,30 m.

Scena (titolo V_DM)

Per il locale progettato, si prevedono spettacoli minuti e che non richiedono allestimenti complessi. Non è presente infatti un vero e proprio palcoscenico: la scena è integrata nella sala, ha una superficie di 38,5 m² ed ha semplicemente un graticcio tecnico a cui poter appendere luci ed eventuali teli o pannelli.

La distanza tra pubblico e scena è di 2,70 m.

Blocchi di servizio (titolo V_DM)

Due blocchi di servizio si incastrano nella sala, in corrispondenza della scena. La destinazione d'uso a magazzini o camerini potrà essere stabilita ad ogni occasione. Deve essere garantita una resistenza al fuoco REI 60 delle porte tra scena e blocchi.

Affollamento (titolo IV_DM)

L'UNI 10339 stabilisce un indice di affollamento pari a 1,50 persone al m². Considerando la superficie della sala di 172 m², si potrebbero prevedere un massimo di 258 persone. Nel caso in cui la sala completamente libera dovesse svolgere la funzione di sala da ballo, con una densità di affollamento di 1,2 persone al m², si possono accogliere fino a 106 persone.

Vie di uscita (titolo IV_DM)

La sala presenta quattro uscite laterali, in linea diretta con le quattro porte laterali già presenti nell'edificio esistente. Queste sono scelte come le uscite di emergenza preferenziali, in quanto la lunghezza del percorso di evacuazione è il minore possibile (9,50 m) e permettono di giungere direttamente a dei luoghi sicuri.

Eventualmente anche i due ingressi principali possono diventare uscite di sicurezza. Le porte sono apribili verso l'esterno e di due moduli di larghezza.

Le uscite di sicurezza sono dunque ubicate in posizioni contrapposte e le uscite dalla sala sono simmetriche rispetto all'asse longitudinale; la capacità di deflusso da garantire è di 50 e con le quattro porte è garantita.

Impianti tecnici (titolo XII_DM)

Il locale impianti è in un edificio distante 21 m dal locale adibito a spettacoli: in esso troviamo sia l'UTA, sia la pompa di calore, posti in due locali differenti. Da verificare che i locali dell'edificio siano dotati di porte REI 60 e con autochiusura. Le condotte degli impianti sono tutti sotterranei.

Impianto di estinzione (titolo XV_DM)

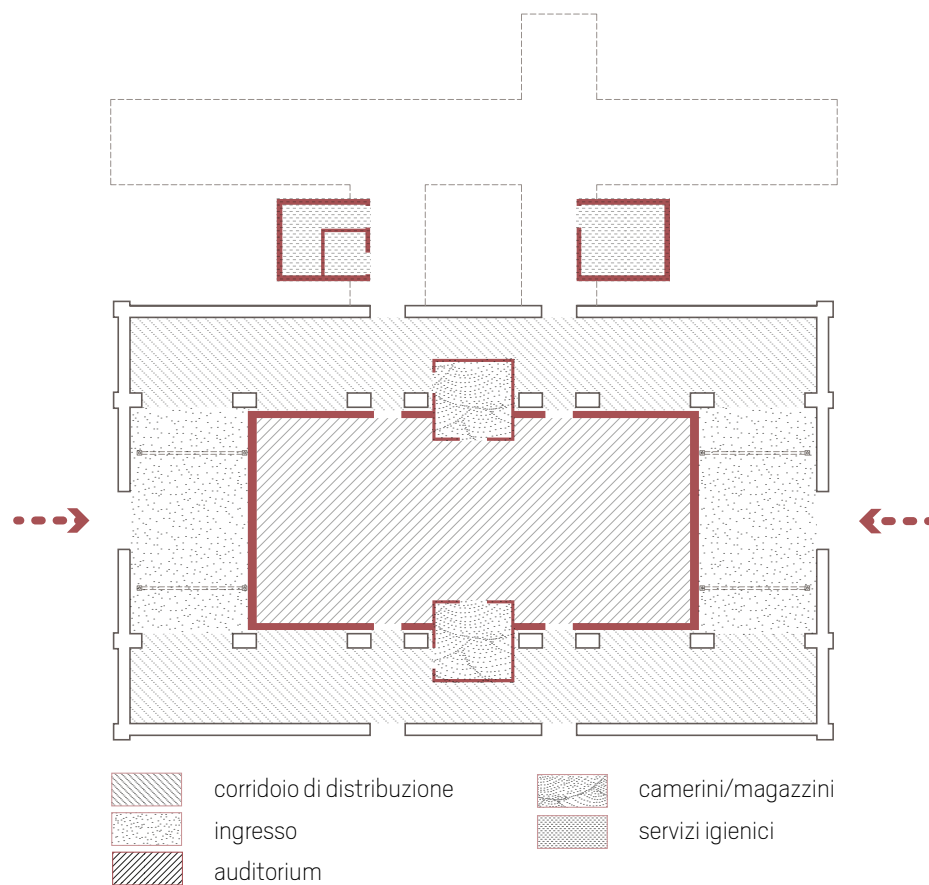
Avendo l'edificio una superficie complessiva di 530 m², si garantisce la presenza di tre estintori (uno interno alla sala e due negli angoli dell'edificio) e di due idranti DN45. Un attacco DN 70 è previsto all'esterno dell'edificio per l'attacco dell'autopompa dei vigili del fuoco.

Rimane da verificare la necessità di un impianto sprinkler e di rivelazione fumi, in base al carico d'incendio dell'edificio.

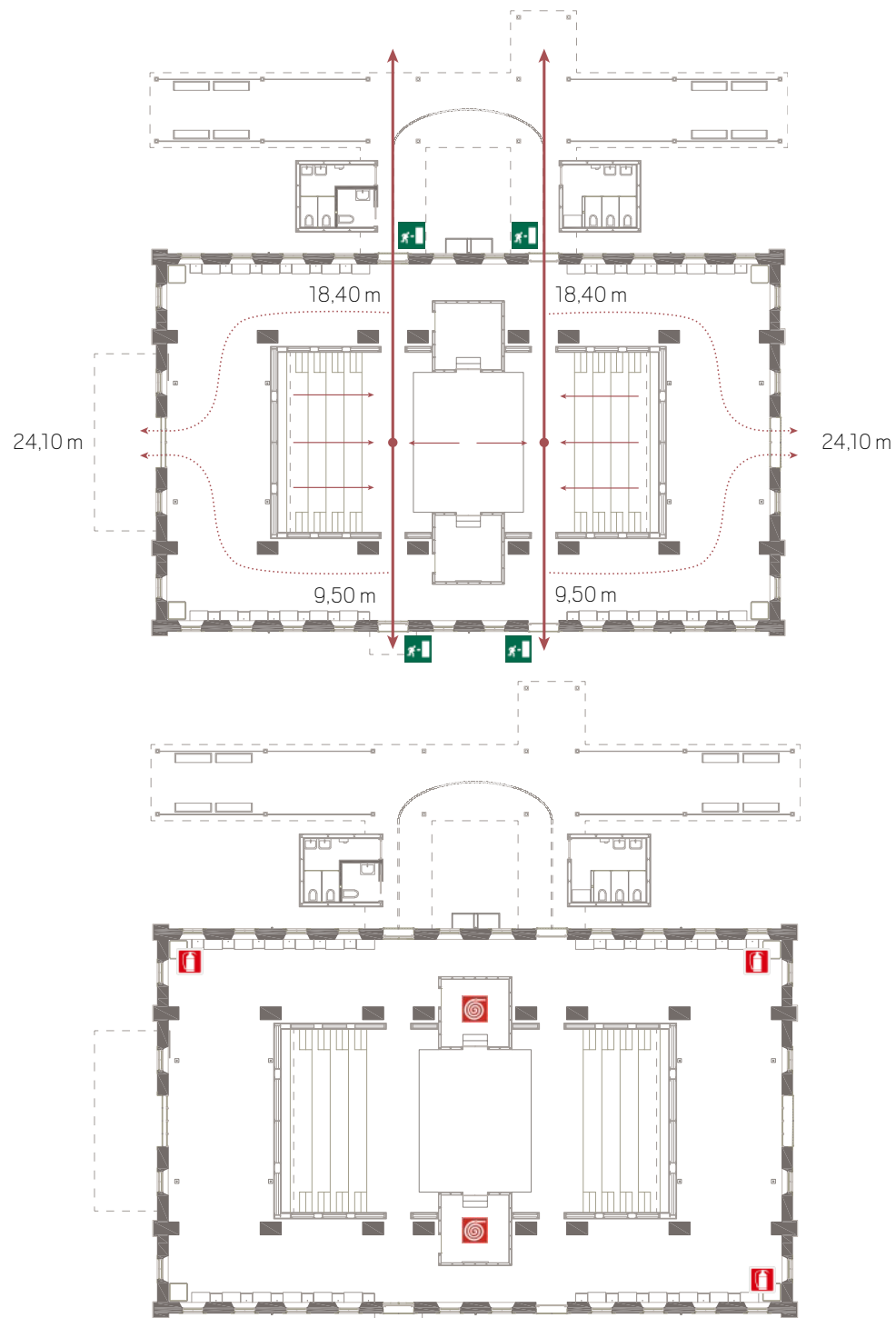
L'ubicazione dei mezzi per estinguere il fuoco, delle uscite di emergenza e i percorsi per arrivarci saranno tutti opportunamente segnalati.

Handicap

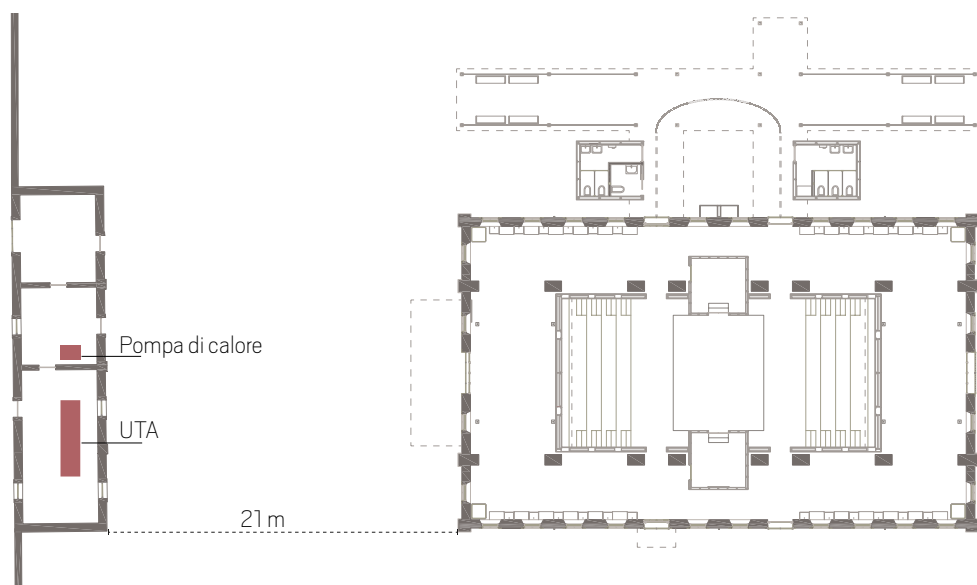
La distanza scena-pubblico e la particolarità delle sedute mobili, permette la disposizione di eventuale pubblico con ridotte capacità motorie in maniera pressoché libera, tanto da poter arrivare a garantire anche una fila intera. Tutte le aperture sono di larghezza minima 1,00 m, è presente un servizio igienico per disabili e non ci sono dislivelli lungo i percorsi: l'accessibilità ai portatori di handicap è garantita.



Schema funzionale di progetto



Uscite di emergenza e vie d'esodo
 Disposizione estintori e idranti DN45



Localizzazione del locale tecnico.

PARTE SECONDA // DAL SEDIME BOVINI AL PERCORSO MUSEALE





APPROCCIO AL CASO STUDIO

1. IL MACELLO BOVINI: IL SEDIME

Un tempo tre erano gli edifici destinati alla macellazione degli animali ed erano disposti centralmente rispetto a tutto il complesso del Macello Comunale. Essi erano il grande Macello Bovini, il Macello Suini e una delle due stecche adibita a Tripperia ma anche a Macello Ovini e Equini.

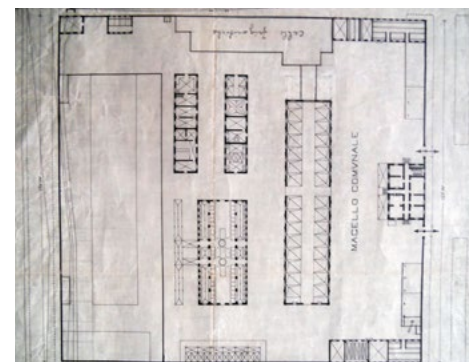
Il più importante fra questi, per dimensione e quindi per quantitativo di produzione, era il Macello Bovini. Tutto quello che si conosce su tale edificio lo si è appreso mediante la cartografia storica, poiché la gran nevicata che ha colpito Monza nel 1985, ne ha comportato il crollo parziale, motivo per cui il Macello Comunale fu chiuso prima e dopo fu smantellato quello che restava dell'edificio crollato.

Esso era il primo edificio visibile a chi entrava nel Macello, con la sua altezza pari a 11 metri circa al colmo, scandito da un doppio ordine di finestre larghe uguali ma più alte in basso e strombate verso l'interno e una copertura a doppia falda. Lungo quasi 60 metri, probabilmente costruttivamente ricorda il Macello Suini, ma a differenza di questo il Macello Bovini si presentava ad una sola navata, dalla luce di circa 16 metri coperta da una capriata metallica molto più complessa, a cui venivano appesi direttamente le carcasse degli animali. Per altre lavorazioni erano presenti delle uncinaie sui lati lunghi dell'edificio. Mancano, nelle cartografie storiche, indicazioni di altri tipi di arredo come tavoli da lavoro e vasche, per cui si ipotizza la loro assenza.

Successivamente l'edificio fu collegato in modo diretto alle celle frigorifere, mediante una tettoia realizzata con carpenteria metallica e a doppia falda in Eternit. Il collegamento era largo 4,65 metri e aveva il colmo a poco meno di 6 metri di altezza.

Un complesso sistema fognario e delle acque legava gli edifici fra loro, garantendone la pulizia e l'igiene. Il sistema del Macello era stato infatti costruito vicino al canale Villoresi in modo da poterne utilizzare le acque per la pulizia degli edifici.

Nella banda a lato sono riportate un'immagine della cartografia storica che mostra il sistema del Macello Comunale con segnati gli scoli delle acque, e due fotografie dello stato di fatto scattate la prima guardando a sud e la seconda guardando a nord. Oggi infatti quello che resta del sedime del Macello Bovini è solo un pezzo di terreno sul quale non cresce l'erba e utilizzato quindi come parcheggio.



2. IL PROGETTO DEL NUOVO

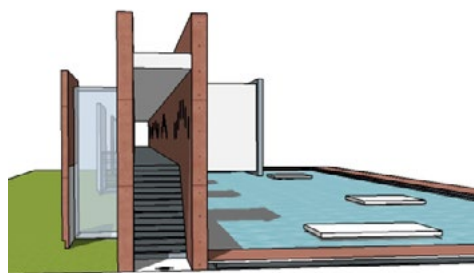
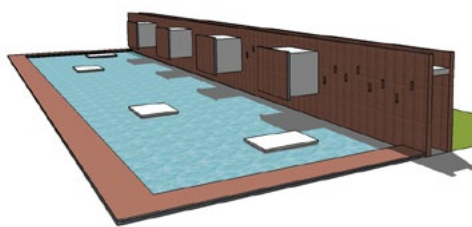
Il progetto del nuovo desidera da un lato riportare ad una completezza la forma del Macello Comunale così come era allo stato di progetto del 1954 e allo stesso tempo permettere la memoria a chi entra in quel luogo senza però imbalsamare gli edifici stessi. Per questo motivo si procede col segnare il Macello Bovini non più con uno stesso edificio dalla forma del precedente ma semplicemente definendone la superficie mediante l'inserimento di una piazza d'acqua e segnandone in particolare il lato lungo.

Il sedime del Macello Bovini diventa così parte di un percorso museale più grande, che ha il suo inizio dall'ingresso storico del Macello Comunale e che giunge sino all'edificio delle celle frigorifere, di modo da condurre la persona sulle stesse tracce che un animale doveva compiere per tutto il processo.

Si parte quindi dall'ingresso nord su via Procaccini, dove si trova la pesa interrata per la misura della taglia degli animali, poi si passa nell'ultima stanza a est della stalla dei vitelli dove si veniva trovare il veterinario. Egli controllava lo stato di salute degli animali: se l'animale presentava dei difetti poteva essere portato in quarantena oppure perfino immediatamente all'edificio della distruzione carni infette. L'animale invece sano veniva portato nelle rispettive stalle e che nel caso dei bovini coincideva con l'edificio in cui si trovava la stanza del veterinario. Il percorso museale prosegue poi in un muro costruito sul lato lungo ovest del vecchio sedime. Questo muro assume carattere scenografico, poiché diventa la prima cosa che uno vede entrato nel Macello, ma diventa anche una quinta che nasconde il vero cuore pulsante del Macello stesso ma anche del progetto di riuso. Gli edifici infatti su cui si è maggiormente concentrato il progetto si trovano ad est del muro, per cui al di là del sedime rispetto l'ingresso. Il percorso museale prosegue in quota, in un edificio a stecca molto sottile nel quale vengono collocate in esterno come sospese quattro piccole stanze, ciascuna che esprime un concetto diverso del Macello. Terminato questo percorso si ritorna alla quota di calpestio e si può entrare all'interno delle vecchie Celle Frigorifere. Questo diviene il museo in senso classico, composto da una serie di sale che illustrano, a partire dalla cartografia fino all'utilizzo di nuovi metodi dimostrativi come gli ologrammi o proiezioni, il complesso del macello, la sua storia e le sue trasformazioni.

In particolare rispetto al sedime del Macello Bovini esso vuole raccontare il processo della macellazione e i diversi modi di vedere la macellazione stessa. Si compone infatti di due parti, una parte al chiuso che è il percorso in quota e una parte in basso che è la piazza d'acqua.

Circa il percorso in quota esso è definito da due lunghi muri rivestiti in lastre che simulano il calcestrutto color mattone. La scelta materia serve a ricordare sia il carattere industriale del luogo ma anche il carattere rude e truce delle operazioni che qui si svolgevano. Attraverso delle scale in linea, o degli ascensori nella parte sul retro, è possibile giungere alla quota del percorso interno. Questo si svolge in penombra dove l'unica illuminazione è data da delle feritoie poste ad est, che vengono collocate ad altezze differenti in modo da permettere la vista sia ai bambini che agli adulti. Inoltre esse



sono inclinate verso l'alto o verso il basso, non permettendo mai la vista diretta agli altri edifici del macello ma lasciando sempre guardare o il cielo o l'acqua della piazza sottostante.

Le quattro stanze fuoriescono dall'edificio e restano come appese allo stesso a sbalzo sulla piazza d'acqua. Esse presentano la medesima finitura dell'edificio, come fossero un'estrusione dello stesso. La prima stanza in cui si accede è la stanza in cui si racconta in modo simbolico il macello: il pavimento è in vetro così da vedere lo scorrere dell'acqua sottostante, e ha incassati dei neon di colore rosso che illuminano in modo indiretto la totalità dell'ambiente. Nella seconda stanza il tema è quello della fabbrica intesa come macchina composta da ingranaggi. Il complesso del macello infatti poteva lavorare solo per la presenza di una serie di edifici e di una serie di processi l'uno legato all'altro definendo così una macchina perfetta che poteva lavorare solo attraverso questa concatenazione di elementi. In questa stanza ritroviamo un lucernario centrale che illumina una statua composta da ingranaggi. La terza stanza mostra quello che è il rapporto il macello e il suo risultato ovvero il cibo: si è voluto sottolineare come seppure il macello è un luogo truce per le lavorazioni che ivi si svolgevano esso è necessario per il sostentamento dell'uomo. Questa teca lavorerà al buio poiché verranno utilizzate proiezioni olografiche sulle pareti che mostreranno i diversi tipi di cibo prodotti attraverso la macellazione e attraverso un sistema interattivo sarà possibile scoprire informazioni in più sul cibo selezionato. L'ultima teca racconta il macello come luogo di lavoro, quindi come fonte di economia della città. In questo caso il tema saranno le fotografie storiche che metteranno in mostra gli uomini che venivano qui a lavorare. Anche questa teca presenta un lucernario centrale.

Circa la piazza d'acqua essa si compone di una grande vasca profonda 10 cm e quattro piccoli isolotti centrali ciascuno in ordine che racconta le fasi della macellazione. Tutti gli oggetti esposti verranno lavorati e modificati da degli artisti che reinterpreteranno il concetto di macello a partire da oggetti esistenti ancora oggi presenti all'interno degli edifici. Il primo isolotto a partire da nord conterrà quindi la vasca dove venivano sbollentati i suini, successivamente troviamo le uncinaie presenti nell'edificio Macello Ovini e nella terza le vasche per le lavorazioni sempre del Macello Ovini. L'ultimo isolotto invece conterrà il carretto, non più presente in questo caso, ma realizzato su disegno trovato da cartografia storica. Tali carretti erano quelli utilizzati dai macellai per trasportare la carne una volta tagliata all'esterno e quindi per la vendita.

La piazza d'acqua è circondata da un percorso a C che ne definisce il perimetro. Tale percorso prende la stessa dimensione del percorso in quota definendo così appunto quello che era il sedime dell'ex Macello Bovini. Il percorso esterno e gli isolotti sono leggermente sopraelevati dal pelo dell'acqua e sembrano così sospesi su di essa. Per quanto riguarda i materiali tali percorsi sono realizzati con la stessa finitura in cemento proprio come se fosse lo sviluppo a terra del muro costruito sul lato ovest.

1. Questo era un tempo l'ingresso principale, dove gli animali in ingresso venivano pesati su di una pesa incassata. Verrà disposta una piccola piazza e dei pannelli illustrativi.

2. Qui aveva luogo il controllo da parte del veterinario e quindi lo smistamento degli animali secondo il loro stato di salute. Nell'edificio delle stalle bovine si allestisce una piccola sala espositiva e un'aula didattica per i bambini.

3. Il percorso museale, diviso in un percorso in quota che racconta i diversi modi di interpretare il tema Macello, e uno in basso, lungo una piazza d'acqua, dove si possono vedere alcuni resti degli arredi per le lavorazioni.

4. Il Museo del Macello di Monza, collocato nell'edificio adibito prima a celle frigorifere. Esso racconta nelle diverse sale esposte su tre livelli, mediante cartografie e resti di parti degli arredi, la storia e le trasformazioni del Macello. Nel piano interrato sono collocate le installazioni interattive e dei giochi didattici per i più piccoli.

5. Il nuovo edificio costruito a fianco del Museo, ospita il bar e un piccolo bistrot, collegati al vecchio portico della concimaia, divenuto ora bookshop. Qui è possibile trovare un luogo dove acquistare, leggere, accedere ai servizi del web e prendere una pausa caffè.



3. RIFERIMENTI PROGETTUALI

L'obiettivo del progetto è duplice: ricreare una scena che deve dialogare col contesto, ma allo stesso tempo che deve divenire memoria del luogo. La scena deve essere capace di definire una chiusura separando la parte del Macello che resta a funzioni più amministrative dalla parte più di uso pubblico e deve essere anche il fondale su cui si stagliano gli edifici storici del Macello.

Costruire però un muro non è semplice, soprattutto per i suoi significati simbolici oltre che fisici. Si sono cercati quindi degli esempi storici, chiari, che ci aiutassero a far luce sul significato di tale scelta progettuale e sulle possibili conseguenze che tale scelta può comportare.

Diventa utile anche comprendere le possibilità di racconto che esistono fra un sedime e una nuova costruzione che si insedia su quello spazio, la capacità di entrare in dialogo pur rimanendo riconoscibile il nuovo.



3.1 IL TEATRO ROMANO DI SAGUNTO

GIORGIO GRASSI E MANUEL PORTACELI, 1985 COSTRUITO NEL 1990-93, SAGUNTO, SPAGNA

Costruito dai romani nel 212 a.C., esso presenta la classica forma semicircolare con una scenae frons a chiudere l'area delle gradinate. Due sono stati gli interventi di conservazione, uno negli anni settanta di tipo mimetico e uno negli anni novanta, volto a riportare in funzione l'antico teatro.

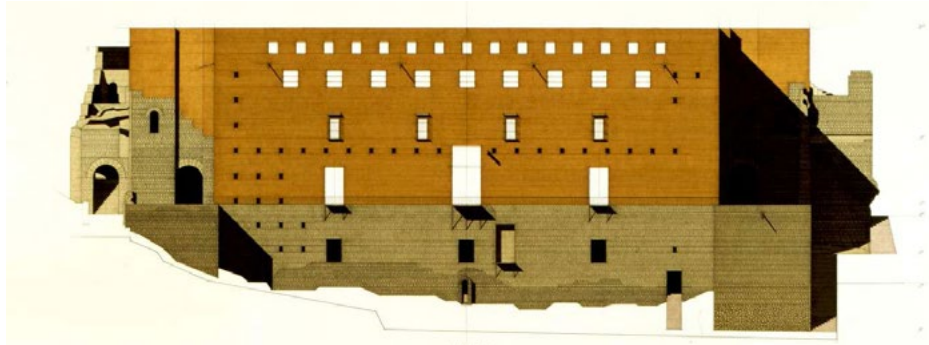
Questo secondo restauro fu affidato a Giorgio Grassi e Manuel Portaceli, ed ebbe come obiettivi il restituire il monumento alla città e al monumento il suo antico uso. Inoltre si deve considerare che data la posizione del teatro, a ridosso della collina e prospiciente sia al borgo che al paesaggio, risultava interessante studiare il rapporto fra il volume e l'intorno.

Giorgio Grassi sostiene che il restauro non può prescindere dal progetto di architettura, per cui prima di approcciarsi alla fase progettuale studiò attentamente altri teatri romani per comprendere tale tipologia e durante tutte le operazioni di scavo fu affiancato da archeologi per valutare i resti che venivano trovati. Grassi apprezza molto l'architettura romana, in quanto prende le decorazioni dagli antichi greci ma per costruire volumi e spazi. Decide in questo caso di utilizzare i resti archeologici come decorazione, per cui una colonna trovata durante gli scavi è stata sistemata nel nuovo prospetto della scenae frons.



Il progetto infatti propone il recupero di parte della cavea centrale sovrapponendo alle antiche tribune oramai rovinate delle nuove lastre di pietra per definire le sedute. In questo modo vengono lasciati a ruderi le due ali della cavea, ovvero il punto di innesto fra la cavea e la scenae. Quest'ultima è stata completamente progettata ex novo da Grassi, tenendo come altezza da non superare la parte più alta della cavea. Il nuovo volume della scenae si presenta come un corpo rettangolare nel quale vengono inseriti tutti gli spazi del teatro e accessori. Esso presenta un lato affacciato sulla cavea, svuotato per far posto allo spazio della rappresentazione, in cui a ricordare la sovrapposizione classica degli ordini che solitamente identificavano spazi come questo, sono stati escogitati alcuni stratagemmi tra cui

l'inserimento del reperto prima citato. Il fronte invece verso la città ha un carattere monolitico, quasi impermeabile, con bucaiture regolari. I materiali utilizzati per il restauro sono stati il legno, il mattone, la pietra naturale ed il cemento.



3.2 IL MURO DI BERLINO

1961 DISTRUTTO NEL 1989, BERLINO, GERMANIA

Subito dopo la seconda guerra mondiale, la Germania fu divisa fra i vincitori, tra cui l'Unione Sovietica. Sin da subito essa cominciò a imporre le sue leggi e a temere l'invasione da parte delle forze dell'occidente, per cui promulgò una serie di leggi e di veti che sfociarono nella costruzione nella notte tra il 13 e il 14 agosto 1961 del celeberrimo Muro. Esso separava fisicamente la città di Berlino est dalla sua parte ovest, rendendo impossibile lo scambio di merci e il passaggio di uomini.

Il motivo che fu dato per la sua costruzione era la necessità di una barriera di protezione antifascista. Esso fu realizzato più volte, ciascuna delle quali migliorava la costruzione irrobustendola, sino all'ultima configurazione che prevedeva la costruzione di due muri paralleli in cemento con al centro la così detta striscia della morte. Chiunque provava a superare tale confine infatti veniva ucciso. Il Muro era alto circa 3,60 m ed era sorvegliato da uomini armati collocati anche nelle 302 torri di guardia lungo tutto il perimetro della recinzione.

Il muro di Berlino ha rappresentato fisicamente la divisione fra due parti della stessa città a causa di un governo esterno e particolarmente rigido. Simbolicamente è stato segno di frattura di due modi di vedere e di agire, segno dell'inizio della guerra fredda, guerra non dichiarata ma che ha portato le sue morti ma soprattutto la tristezza di non poter agire con libertà. La caduta del Muro, avvenuta il 9 novembre 1989 diventa così metafora della libertà e della democrazia. Oggi del Muro restano alcune parti a monumento e in altre parti della città sono invece visibili segni sulle pavimentazioni.





3.3 IL MURO DEL PIANTO

PRIMA COSTRUZIONE X SECOLO A.C POI 19 A.C. , GERUSALEMME, ISRAELE

La città di Gerusalemme riveste un ruolo molto importante per le religioni: essa è infatti la città santa delle tre religioni monoteiste, dove hanno sede i maggiori luoghi di culto per l'ebraismo, il cattolicesimo e l'islamismo.

Tra questi ricordiamo il Muro del pianto, chiamato dai giudei Kotel, per loro il luogo più importante al mondo poiché coincide col muro ovest del Tempio di Salomone, unico frammento rimasto di tale Tempio. Questo è il luogo di preghiera più importante per gli ebrei, i quali scrivono le preghiere a Dio e le incastrano fra le pietre del Muro. Allo stesso tempo questo luogo assume maggiore significato simbolico, poiché molti eventi importanti, come il sogno di Giacobbe o il comando di Dio ad Abramo di sacrificare suo figlio Isacco, si svolsero sul monte Moriah, che più tardi fu conosciuto anche come il monte del Tempio. Questo fa parte di un progetto di rinnovo e ampliamento voluto da Erode il Grande nel 19 a.C. Le antiche pietre con cui fu costruito più di 2000 anni fa, sono quindi testimoni della nascita del popolo ebraico, del suo esilio e della sua redenzione.

La città vecchia di Gerusalemme, e con essa il Muro Ovest, non sono stati nelle mani degli ebrei dalla Seconda Guerra di Indipendenza del 1948 fino alla Guerra dei Sei Giorni del 1967.



Il Muro è importante anche per i musulmani che ritengono Salomone un loro profeta e che Maometto passando da Gerusalemme per un viaggio spirituale si sia fermato proprio lì. Sulla roccia più alta del Monte inoltre, il profeta sarebbe asceso al cielo. Anche i cristiani venerano questi luoghi poiché ebbero le numerose dispute di Gesù con i sacerdoti e altri episodi della sua vita pubblica.

Il Muro è una costruzione monolitica a secco in grossi blocchi di pietra squadrate. Non si conosce come si sia potuto trasportare e sollevare tali blocchi, dato che l'altezza di tale Muro supera i venti metri.



3.4 L'ALHAMBRA

AUTORI VARI, XIII-XVI SECOLO, GRANADA, SPAGNA

Palazzo, cittadella, fortezza ma anche residenza, dei sultani prima e dei reali di Spagna poi, l'Alhambra si presenta come un piccolo nucleo in cima ad una collina. Essa fu costruita a partire dal 1238, quando Nazar conquistò la città di Granada e volle insediarsi lì. Tuttavia le due città possono vivere autonomamente fra loro, poiché anche l'Alhambra possiede tutti i servizi, come la moschea, le scuole e le botteghe. Si presenta però come una città murata, per questo detta Medina, come i quartieri di derivazione araba che si presentano circondati da mura e ricchi di vicioletti labirintici. Il colore delle mura erano di colore rossiccio, da cui il nome della cittadella.

Per la sua costruzione fu scelta un'altura vicino Granada, di modo che il luogo potesse essere protetto e allo stesso tempo potesse vigilare sul territorio circostante. Per la sua compattezza e la sua collocazione essa è definita "Nave a terra". Il disegno planimetrico racconta tutte le successioni e quindi le aggiunte che nel corso dei secoli sono avvenute. Ad una chiusura infatti esteriore corrisponde una ricchezza di luoghi all'interno. Se la cinta muraria è severa e modellata solo dal ritmo delle torri, all'interno invece gli spazi sono molteplici, decorati e dalle geometrie differenti.

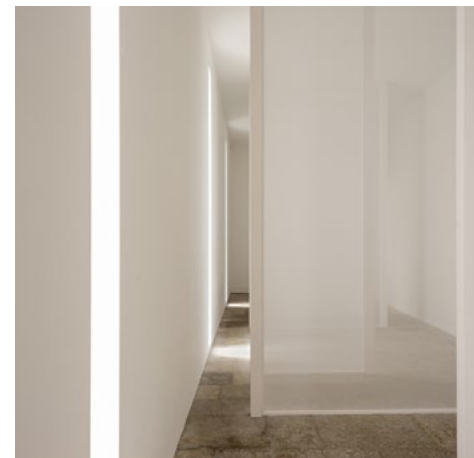
Nel 1492 Granada fu conquistata da parte di re cattolici, i quali distrussero molte architetture, risparmiando invece l'Alhambra, che divenne il loro palazzo regale, modificandone l'uso però di alcune stanze. Nel 1984 l'UNESCO ha dichiarato l'Alhambra patrimonio dell'umanità. Oggi è divenuta museo di se stessa e sede di alcune funzioni pubbliche.

3.5 GLI ALLESTIMENTI IN VILLA PANSA

AUTORI VARI, ANNI SETTANTA DEL '900, VARESE, ITALIA

Giuseppe Pansa, proprietario della omonima Villa su di una collina di Varese, a partire da una sua passione per la storia dell'arte e dopo un viaggio per studio in America negli anni cinquanta, iniziò ad interessarsi al collezionismo. Da quel momento la Villa divenne punto di incontro per artisti internazionali, in particolare americani, ma anche luogo per conservare quadri e statue. Dopo aver occupato lo spazio disponibile del piano nobile, dalla fine degli anni sessanta adattò gli ambienti delle scuderie e dei rustici per ospitare le installazioni d'arte ambientale dei californiani James Turrel, Maria Nordman e Robert Irwin. Alcuni di questi lavori - in prevalenza interventi sullo spazio e sulla luce che tendevano a creare nuove situazioni percettive - furono progettati e realizzati permanentemente per Biumo dagli stessi artisti fra il 1973 e il 1976, modificando così in parte alcune stanze della Villa.

In particolare i due artisti hanno lavorato sul concetto di spazio, modificandone la percezione mediante l'uso di pannelli semitrasparenti di volta in volta illuminati o meno, restringendo o donando nuove profondità agli ambienti. Altri piccoli spazi, come una sala, sono stati modificati introducendo tagli di luce differenti per studiarne la riflessione e diffusione sulle pareti, un'altra è stata completamente privata del suo tetto, per si è giocato sulla percezione fra interno ed esterno.





Nella medesima ala della Villa troviamo anche il newyorkese Dan Flavin, di cui la collezione Panza vanta la più grande concentrazione di opere perennemente esposte. Egli è un artista promotore del movimento minimalista e le sue installazioni utilizzano le comuni lampade a neon di colori diversi, donando di volta in volta colori e forme differenti alle opere. I colori esprimono per l'artista un diverso sentimento, vengono quindi scelti in base al tema dell'opera. Sul corridoio del primo piano dei rustici trovano collocazione alcune stanze monocromatiche allestite da Flavin. Lo spettacolo che ne deriva è la vista del corridoio dalle tonalità neutre, invaso di volta in volta, dalle porte delle diverse stanze, di luce di colore diverso.

Un'altra opera di Flavin, questa volta realizzata a Milano, è l'illuminazione della Chiesa di Santa Maria Annunciata in Chiesa Rossa. Ultima opera dell'artista, ha trovato qui dal 1997 la sua collocazione permanente. Qui l'artista ha utilizzato i neon per sottolineare i diversi momenti e i diversi luoghi all'interno della Chiesa: l'abside, collocato a est, è stato illuminato di giallo a simboleggiare l'alba e al suo opposto per l'ingresso, collocato a ovest, ha pensato a dei neon rossi a ricordare il tramonto. Altri tubi al neon di colore verde e blu sono stati utilizzati invece per la navata centrale, a modulare la cromia della luce, come il passaggio dalla notte al giorno.



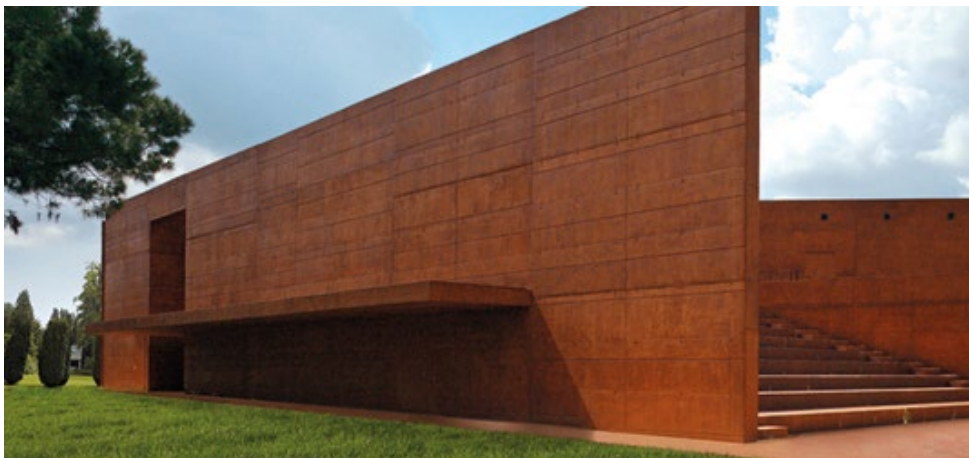
La maggior parte delle opere, in particolare quelle situate in questa parte della Villa trovano un luogo neutro, dal colore bianco delle pareti come sfondo su cui innestarsi. Questo permette una definizione migliore dei giochi di luce sperimentati dai diversi artisti. Inoltre molte opere non fanno che mettere in evidenza bellezze presenti attorno, una finestra che dà sul giardino, una stanza col soffitto dato dal cielo e altro. L'opera artistica diventa così un complemento all'architettura, non sostituendosi ad essa ma solo sottolineandone alcuni aspetti.

3.6 LA BIBLIOTECA E AUDITORIUM DI CURNO ARCHEA ASSOCIATI, 2006-2009, BERGAMO, ITALIA

La nuova biblioteca di Curno trova posto in un'area scolastica preesistente e si configura come un volume doppio: una parte più piatta ed estesa e un volume a tripla altezza dalle forme più rigide. Il primo corrisponde a un auditorium per 250 spettatori, il cui tetto diventano gradoni per possibili spettacoli all'aperto e allo stesso tempo estensione della piazza pubblica. Il secondo invece è il volume della biblioteca di forma rettangolare. Esso separato dal primo da un corridoio a tutta altezza scandito da percorsi e soppalchi e illuminato in modo zenitale.



L'edificio vuole infatti aprirsi allo spazio pubblico, e mediante la piazza a gradoni restituisce alla città uno spazio che al contempo occupa con le sue attività. Inoltre la forma che si genera sembra quasi voler descrivere un libro aperto, metafora che si legge, in questo caso nel vero senso della parola, sulle pareti verticali. Queste sono costituite da cemento colorato in pasta di color rossastro e sono incise con lettere dell'alfabeto.



ANALISI DEI CARICHI

5. IL DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PARETE

Il problema principale del progetto è rappresentato dallo sbalzo di 3,35 m delle stanze, unito alla piccola estensione del percorso che le dovrebbe sostenere. Alle spalle dei quattro punti espositivi infatti, non abbiamo un edificio con un'ingente massa, ma solo un corridoio di 1,50 metri.

Per aiutare i pilastri presenti nelle pareti, si è scelto di adottare per le teche delle travi parete, cioè lastre vincolate come le travi snelle. La differenza con le travi snelle, sta nel valore della snellezza, definito dal rapporto tra la luce della trave e la sua altezza l/h . Nel nostro caso:

$$h = 3,55 \text{ m}$$

$$l = 5,10 \text{ m}$$

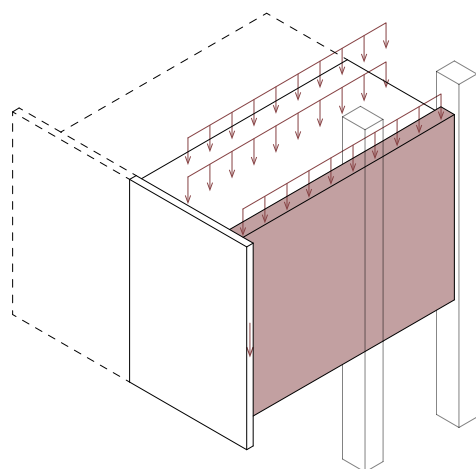
$$l/h = 3,55/5,10 = 0,7$$

La trave parete progettata ha uno spessore di 0,30 m, una lunghezza di 5,10 m e un'altezza di 3,55 m. È realizzata in calcestruzzo armato, ha inizio all'esterno come mensola, termina nella parete più esterna del muro e presenta un foro (1,50 x 2,70 m) per garantire il passaggio degli utenti.

5.1 L'ANALISI STATICA

A questo punto, si procede con il calcolo delle reazioni vincolari e con il diagramma di taglio e momento, al fine di individuare quali siano le forze e i momenti in gioco sulla trave e, per azione-reazione, anche sui pilastri.

I carichi cui la trave parete è soggetta sono il peso proprio, il carico distribuito dei solai, il carico accidentale dovuto alla destinazione d'uso, il carico accidentale di neve e vento ed infine il carico di punta del tamponamento della teca.



Peso proprio della trave

$$V = 5,10 \times 3,55 \times 0,30 = 5,43 \text{ m}^3$$

$$\gamma_{ca} = 25,00 \text{ kN/m}^3$$

$$p = 25 \times 7,24 = 135,79 \text{ kN (risultante)}$$

$$p_{\text{rivestimento}} = 0,18 \times 6,90 = 1,24 \text{ kN}$$

$$q = p/L = (135,79 + 1,24)/5,10 = 26,87 \text{ kN/m}$$

Carichi accidentali

Carico accidentale dovuto alla destinazione d'uso di museo (Testo Unico per le Costruzioni – febbraio 2008): Categoria C3=5 kN/m²

Carico del vento: è considerato trascurabile perché l'edificio ha un'altezza inferiore ai 10 m.

$$\text{Carico della neve: } q_s = \mu_i \times q_{sk} \times C_E \times C_t = 0,8 \times 1,50 \times 0,9 \times 1 = 1,08 \text{ kN/m}^2$$

Carico distribuito dei solai

Materiale	Spessore [m]	Peso specifico [kN/m ³]	Carico [kN/m ²]
Finitura	0,015	15,69	0,24
Impermeabilizzazione	0,002	4,90	0,01
Massetto in cls	0,04	20,00	0,80
Soletta in c.a.	0,04	25,00	1,00
Travetti, interasse 50 cm	0,16	25,00	0,80
Pignatte, interasse 50 cm	0,16	11,00	1,41
Intonaco esterno	0,02	15,69	0,31
Totale carico solaio 3,10 m			4,57

Materiale	Spessore [m]	Peso specifico [kN/m ³]	Carico [kN/m ²]
Ghiaia	0,07	14,70	1,03
Tessuto non tessuto	0,002	4,90	0,01
Impermeabilizzazione	0,002	4,90	0,01
Massetto in cls	0,05	20,00	1,00
Soletta in c.a.	0,04	25,00	1,00
Travetti, interasse 50 cm	0,16	25,00	0,80
Pignatte, interasse 50 cm	0,16	11,00	1,41
Intonaco interno	0,015	15,69	0,24
Totale carico solaio di copertura 3,10 m			5,49

In conclusione, l'entità del carico distribuito totale sulla trave è:

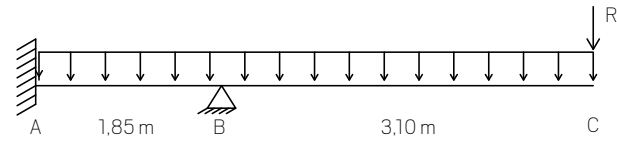
$$q_{\text{tot}} = q_{\text{trave}} + q_{\text{solaio}} = 26,87 + 33,38 = 60,25 \text{ kN/m}$$

Carico di punta del tamponamento

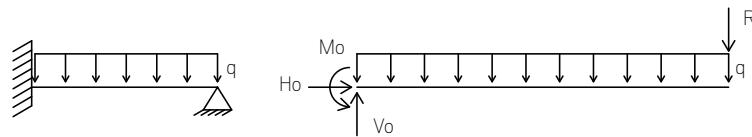
$$R = 7,77 \text{ kN}$$

Materiale	Volume [m ³]	Peso specifico [kN/m ³]	Carivo [kN]
Pannelli in cartongesso	0,023	8,83	0,46
Telaio metallico	0,017	76,98	1,31
Pannelli in GRC	0,30	20,00	6,00
Peso totale tamponamento [kN]			7,77

Lo schema statico risulta perciò essere una trave due volte iperstatica con un incastro in corrispondenza del primo pilastro, un appoggio in corrispondenza del secondo e la mensola finale.

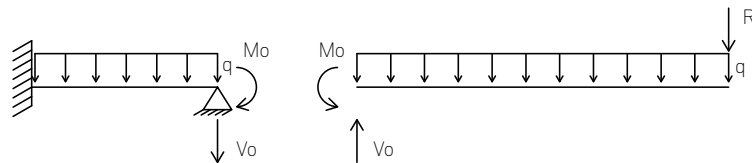


Per poter risolvere questa trave due volte iperstatica, bisogna innanzitutto sezionare la trave in corrispondenza dell'appoggio (B) e risolvere le tre equazioni di equilibrio solo del tratto della mensola.

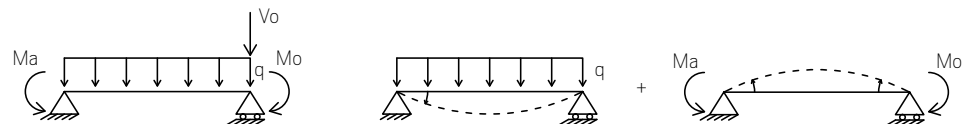


equilibrio alla traslazione orizzontale: $H_o = 0$
 equilibrio alla traslazione verticale: $V_o - R - q l_1 = 0$
 $V_o = 7,7 + (60,25)(3,10) = 194,47 \text{ kN}$
 equilibrio alla rotazione: $M_o - R l_1 - q l_1^2 / 2 = 0$
 $M_o = R l_1 + q l_1^2 / 2 = 313,36 \text{ kNm}$

Per il principio di azione-reazione, la forza verticale V_o e il momento M_o trovati, si riportano uguali e contrari sul reciproco tratto di trave, agenti sul punto di sezione. Questa sezione è ora risolvibile attraverso il metodo delle forze.



Si decide di declassare il vincolo da incastro a cerniera, inserendo quindi un momento M_a in A (prima contrastato dall'incastro stesso). Considerando ora le deformazioni determinate dal carico distribuito e dai momenti M_a e M_o , stabilendo come condizione che la rotazione in A debba essere nulla per la vera presenza dell'incastro, si riesce a calcolare l'entità di M_a .



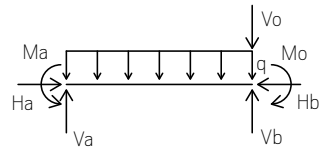
$$\phi_A = 0$$

$$-(ql^3)/24EI + l/3EI * Ma = 0$$

$$-(ql^2)/8 + Ma = 0$$

$$Ma = -(ql^2)/8 = -((60,25)(1,85)^2)/8 = 25,77 \text{ kNm}$$

Avendo così ridotto il numero delle incognite, si possono calcolare i valori delle restanti reazioni vincolari, attraverso le tre equazioni di equilibrio.



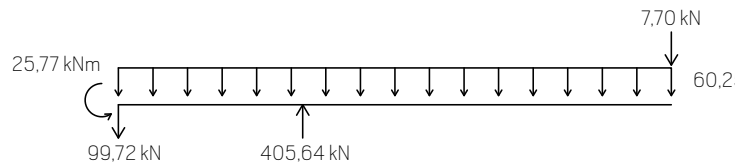
equilibrio alla traslazione orizzontale: $Ha = Hb$

equilibrio alla traslazione verticale: $Va + Vb - Vo - ql = 0$

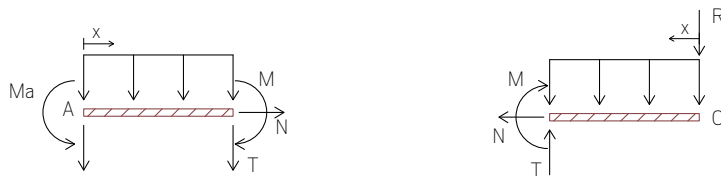
equilibrio alla rotazione (B): $Ma - Val + ql^2/2 - Mo = 0$

$$Va = Ma/l + ql^2/2 - Mo/l = -99,72 \text{ kN}$$

$$Vb = Va + Vo + ql = 405,64 \text{ kN}$$



A questo punto si possono trovare i diagrammi di taglio e momento della trave, utili per verificarne la deformazione e lo sforzo massimo e quali fibre di questa trave risulteranno tesi e quali compresse.



$$-T - Va - qx = 0$$

$$T = -Va - qx$$

se $x=0$, $T = -Va = -99,72 \text{ kN}$

se $x=l$, $T = -Va - ql = -99,72 - 60,25 \times 1,85 = -211,18 \text{ kN}$

$$M + qx^2/2 + Vax + Ma = 0$$

$$M = -qx^2/2 - Vax - Ma$$

$$\text{se } x=0, M = -Ma = -25,77 \text{ kNm}$$

$$\text{se } x=l, M = -ql^2/2 - Val - Ma = -60,25(1,85)^2/2 - (99,72)(1,85) - 25,77 = -313,36 \text{ kNm}$$

(tende le fibre sopra)

$$T - qx - R = 0$$

$$T = qx + R$$

$$\text{se } x=0, T = R = 7,70 \text{ kN}$$

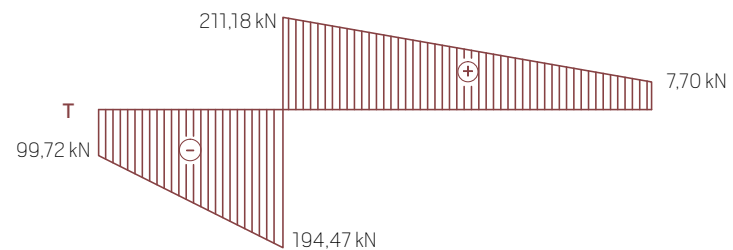
$$\text{se } x=l_1, T = ql_1 + R = (60,25)(3,10) + 7,70 = 194,47 \text{ kN}$$

$$-M - qx^2/2 - Rx = 0$$

$$M = -qx^2/2 - Rx$$

$$\text{se } x=0, M = 0$$

$$\text{se } x=l_1, M = -ql_1^2/2 - Rl_1 = -60,25(3,10)^2/2 - (7,70)(3,10) = -313,36 \text{ kNm (tende le fibre sopra)}$$



5.2 VERIFICA DELL'ALTEZZA MINIMA DELLA TRAVE

La trave parete scelta, avendo un'altezza elevata, sarà sicuramente in favore di sicurezza. Bisogna però verificare uno spessore minimo da garantire per resistere al momento flettente a cui la trave è sottoposta, considerando anche che la trave avrà un foro per garantire il passaggio degli utenti nel percorso.

Il materiale scelto è il calcestruzzo C 25/30, $R_{ck}=30$ MPa e $f_{ck}=25$ MPa.

σ ammissibile = $0,45 \times f_{ck} = 0,45 \times 25 = 11,25$ MPa (N/mm²), rapporto fornito da NTC 2008

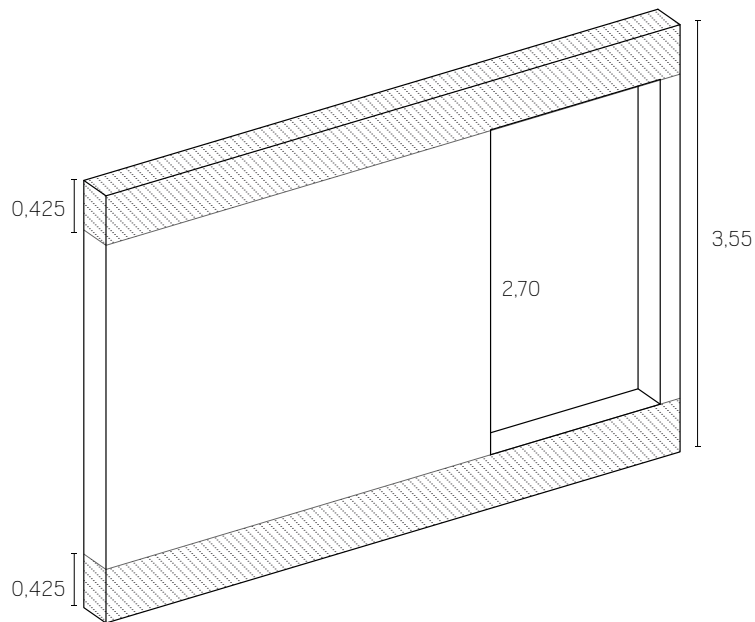
$W = M_{\text{ma}} / \sigma = 313,36 \text{ kNm} / (11,25 \text{ N/mm}^2) = (3,13 \times 10^8 \text{ Nmm}) / (11,25 \text{ N/mm}^2) = 6,30 \times 10^8 \text{ mm}^3$
modulo di inerzia ammissibile

Fissata la base della trave $b=300$ mm e sapendo che

$$W = (bh^2)/6$$

$$h = \sqrt{(6W/b)} = \sqrt{(6 \times 6,30 \times 10^8) / 300} = 746,38 \text{ mm} = 0,75 \text{ m}$$

In conclusione, bisogna garantire una sezione della trave di 0,75 m divisibile tra la parte superiore ed inferiore. Si potrebbe quindi aprire un buco di 2,80 m di altezza. Nel progetto l'apertura per garantire il passaggio delle persone è alta 2,70 m, lasciando una altezza resistente di 0,85 m.

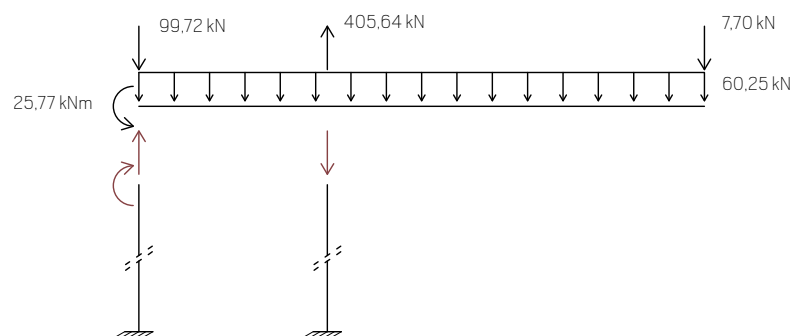


6. IL DIMENSIONAMENTO DEL PILASTRO

Si procede ora con il dimensionamento del pilastro in tutte le sue parti, dalla sezione alla fondazione. Questi pilastri devono sostenere le travi parete delle stanze espositive e costituiscono il sistema a telaio che forma il muro.

6.1 QUANTIFICAZIONE DEI TONDINI IN ACCIAIO DEL PILASTRO

Per l'effetto di azione-reazione, le forze verticali ed il momento agente sulla trave insistono anche sui pilastri, a cui la trave è legata. In particolare, il pilastro in B risulta essere soggetto ad una forza verticale di compressione, quello in A ad una forza verticale di trazione e ad un momento.



Nei pilastri di calcestruzzo armato, ciascuno dei due materiali che li costituiscono ha un compito preciso: il calcestruzzo resiste a compressione, l'acciaio a trazione. Nel caso in esame dunque, il pilastro ad essere in situazione più critica è quella in A in quanto soggetto a momento e a sola trazione. Bisogna perciò verificare che i tondini in acciaio, previsti nel pilastro, siano di un numero sufficiente affinché riescano ad opporsi alla forza di trazione massima.

Il materiale scelto è l'acciaio B450C, $f_{yk} = 450$ MPa e tondini $\phi = 20$ mm

σ tensione ammissibile = $0,8 \times 450 = 360$ MPa (N/mm^2) rapporto fornito da NTC 2008

$F_{max} = 99,72$ kN

Bisogna garantire che la forza, legata all'area dei tondini in funzione del loro sforzo ammissibile, sia superiore a quella a cui opporsi.

Il numero minimo di tondini con diametro 20 mm da garantire per resistere alla trazione massima è 1.

σ ammissibile acciaio B450C	360 N/mm ²	$F_{\text{trazione max}}$	99,72 kN
n tondini ϕ 20 [mm]	A tondini [mm²]	F [kN]	F > F max
1	314	113,04	x
2	628	226,08	x
3	942	339,12	x
4	1257	452,52	x

6.2 LA VERIFICA DELLA PRESSOFLESSIONE

Analizziamo forze e momenti a cui i pilastri A e B sono soggetti in corrispondenza della trave parete:

- A) $M_a = 25,77$ kNm
 $V_a = 99,72$ kN (trazione)
 $p = -9,80$ kN
- B) $V_b = -405,64$ kN (compressione)
 $p = -9,80$ kN

Come possiamo notare, mentre il pilastro in B è soggetto ad una forza di sola compressione, dovuta alla reazione vincolare dell'appoggio della trave e alla forza peso di se stesso, il pilastro A è soggetto ad una forza di trazione e ad un momento.

Per il pilastro B bisogna quindi solo verificare che la compressione a cui è soggetto non sia superiore allo sforzo normale ammissibile del calcestruzzo armato, per evitare fessurazioni.

Lo sforzo agisce in maniera perpendicolare ad una data superficie e viene definito considerando la componente della forza perpendicolare alla superficie e dividendo tale valore per l'area della superficie stessa. Fisicamente quindi ha le stesse unità di misura della pressione, cioè il Pascal (Pa o N/m²). In generale, la composizione di più sforzi può dare origine ad una compressione, se gli sforzi normali sono diretti verso l'interno del materiale, una trazione, se gli sforzi normali sono diretti verso l'esterno del materiale.

σ ammissibile = $0,45 \times f_{ck} = 0,45 \times 25 = 11,25$ MPa (N/mm²), rapporto fornito da NTC 2008

$N = V_b + p = -405,64 - 9,80 = -415,44$ kN

$\sigma_N = N/A = -415,44 / (0,35 \times 0,40) = -2,97$ N/mm²

$\sigma_N < \sigma_{amm}$, quindi siamo in sicurezza.

Il caso del pilastro A è invece più complesso in quanto, non solo è soggetto a trazione, mettendo a rischio la stabilità del calcestruzzo, ma presenta anche un momento in grado di rendere eccentrica la forza normale rispetto all'asse del pilastro causando presso-flessione.

Si parla di pressoflessione quando si ha una sollecitazione composta da compressione e da trazione. Nel nostro caso la pressoflessione si dice semplice e deviata, poiché è generata da uno sforzo nor

male e da un momento flettente che sposta la direzione di azione della forza, causando una diversa sollecitazione della superficie: una porzione sarà dunque compressa e una tesa.

In questo modo, non si ha solo uno sforzo dovuto alla forza verticale, ma uno dovuto anche al momento flettente. La tensione che sollecita una generica fibra della sezione a distanza y dall'asse x è data da $\sigma = N/A \pm M_x/I_x y_{max}$, dove

σ = tensione di una generica fibra della sezione (positiva se di trazione, negativa se di compressione) [N/mm²]

N = sforzo normale [N]

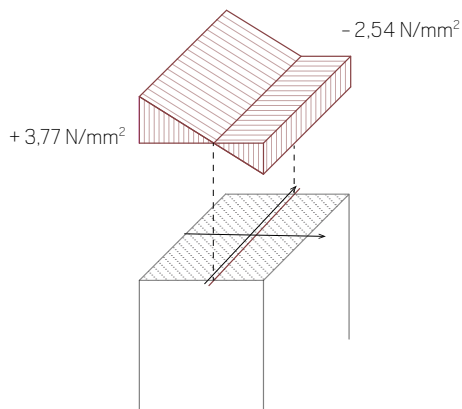
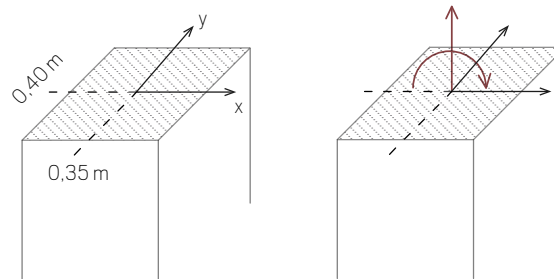
A = area della sezione [mm²]

M_x = momento flettente [Nmm]

I_x = momento di inerzia rispetto all'asse x [mm³]

y_{max} = valore massimo di distanza della fibra dall'origine [mm]

Disegniamo la sezione del pilastro, impostando gli assi cartesiani e l'origine di essi: considereremo il momento d'inerzia rispetto a y $I_y = hb^3/12$, poiché ci interessa sapere la distribuzione dei momenti lungo x .



$$N = Va + p = 99,72 - 9,80 = 89,92 \text{ kN}$$

$$\sigma_N = N/A = 89,92 / (0,35 \times 0,40) = 0,61 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M/I_y \times \max = [25,77 / (0,40 \times 0,35^3 / 12)] \times 0,175 = 3,16 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_N + \sigma_M = 3,77 \text{ N/mm}^2 \text{ trazione}$$

$$\sigma_N - \sigma_M = -2,54 \text{ N/mm}^2 \text{ compressione}$$

Per capire come affidare ad ogni fibra il rispettivo valore, bisogna capire dove cade l'asse neutro, cioè il luogo geometrico dei punti di una sezione generica in cui le tensioni normali sono nulle.

$$\sigma_N + \sigma_M = 0$$

$$\sigma_N = \sigma_M$$

$$N/A = M/I_x$$

$x = 0,03 \text{ m}$, il pilastro è dunque soggetto per metà a trazione e per metà a compressione.

I ragionamenti ed i calcoli fin qui svolti per i pilastri A e B nel punto di appoggio/incastro della trave parete, devono essere ripetuti anche per la base del pilastro, cioè nel punto in cui il pilastro termina nella fondazione ad una quota di $-0,45$ m da terra, dovendo superare la quota della vasca d'acqua antistante il percorso museale. L'altezza quindi del pilastro in quel punto è di $7,15$ m.

L'elemento che determina una differenza tra i due casi visti prima e questi che stiamo trattando, è rappresentato dal peso proprio del pilastro che alla base risulta massimo. Di conseguenza per il pilastro B la compressione a cui è soggetto aumenta, per il pilastro A ci sarà sempre la presso-flessione ma sarà ridotta grazie all'aumento del valore di compressione.

Riportiamo ora i calcoli per entrambi i pilastri, senza soffermarsi sulla spiegazione già illustrata precedentemente.

B)

σ ammissibile = $0,45 \times f_{ck} = 0,45 \times 25 = 11,25$ MPa (N/mm²), rapporto fornito da NTC 2008

$p = 25,03$ kN

$N = V_b + p = -405,64 - 25,03 = -430,67$ kN

$\sigma_N = N/A = -430,67 / (0,35 \times 0,40) = -3,08$ N/mm²

$\sigma_N < \sigma_{amm}$, siamo in sicurezza.

A)

$p = 25,03$ kN

$N = V_a + p = 99,72 - 25,03 = 74,70$ kN

$\sigma_N = N/A = 74,70 / (0,35 \times 0,40) = 0,53$ N/mm²

$\sigma_M = M/I_x \max = [25,77 / (0,40 \times 0,3^3 / 12)] \times 0,175 = 3,16$ N/mm²

$\sigma_N + \sigma_M = 3,69$ N/mm² trazione

$\sigma_N - \sigma_M = -2,62$ N/mm² compressione

$\sigma_N = \sigma_M$

$N/A = M/I_x$

$x = 0,028$ m, la situazione di pressoflessione si ripete anche alla base del pilastro

6.3 IL NUMERO DEI FERRI

Nel pilastro A c'è una parte che quindi sarà sempre soggetta a trazione: bisogna verificare che i toncini dell'armatura posti in corrispondenza di quella porzione di superficie, siano in grado di resistere alla trazione a cui sono sottoposti.

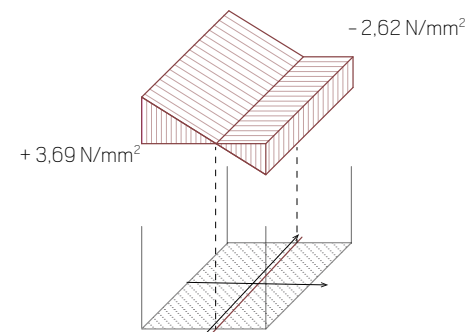
Innanzitutto si deve calcolare la risultante della forza di trazione che, considerando il valore massimo di trazione trovato ed avendo il carico una distribuzione triangolare, è dato da:

$R = \sigma_t y x = 3,80 \times x \times 400 \times (350/2 + 35,61) = 320$ kN

dove

σ = sforzo normale di trazione massima [N/mm²]

y = h del pilastro [mm]



x = porzione di b con fibre tese [mm]

Ogni tondino in acciaio può essere sottoposto ad uno sforzo di trazione inferiore a quello ammissibile, che per l'acciaio B450C è di 360 N/mm^2 . La verifica effettuata precedentemente per il numero di tondini minimo da garantire, aveva dato come risultato 1. Volendo progettare una distribuzione simmetrica dell'armatura, si può trovare ora il numero esatto di tondini da garantire per resistere allo sforzo di trazione massimo a cui essi sono sottoposti, cioè il caso del pilastro A nel punto di aggancio con la trave parete. Si verifica che i tondini da realizzare devono essere minimo 3 con diametro 20 mm.

σ amm acciaio B450C	360 N/mm^2		R_{trazione}	341,19 kN
n tondini ϕ 20 [mm]	A tondini [mm²]	R ferro singolo [kN]	σ ferri [N/mm²]	$\sigma < \sigma$ amm
1	314	341,96	1003,06	
2	628	157,48	501,53	
3	942	104,99	334,35	x
4	1257	78,74	250,77	x

6.4 LA DIMENSIONE DEL COPRIFERRO

Il copriferro nelle strutture in calcestruzzo armato è la distanza fra la superficie esterna dell'armatura (inclusi staffe, collegamenti e rinforzi superficiali se presenti), più prossima alla superficie del calcestruzzo e la superficie stessa del conglomerato cementizio.

Questa distanza in concreto risulta essere matericamente costituita da solo calcestruzzo, che però deve essere in grado di resistere alla compressione esercitata dall'armatura metallica per le sue deformazioni, dovute alle sollecitazioni. L'acciaio teso infatti, potrebbe deformarsi e poiché per la legge di Hooke ($\sigma = E\varepsilon$), deformazione e sforzo sono direttamente proporzionali tra loro, si creano inevitabilmente degli sforzi che agiscono direttamente sul copriferro. Bisogna quindi progettare una dimensione adeguata del copriferro affinché non si fessuri e non salti via.

Legge di Hooke: $\sigma = E\varepsilon$, dove

σ = sforzo normale [N/mm²]

E = modulo elastico caratteristico di ogni materiale [N/mm²]

ε = deformazione

Il modulo elastico dell'acciaio è $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ e per il calcestruzzo è $E = 31500 \text{ N/mm}^2$.

Dall'inverso della legge di Hooke, si risale alla deformazione che si determina nell'acciaio soggetto a

trazione

$$\epsilon_a = \sigma_a / E = 334,35 / 210000 = 1,59 \cdot 10^{-3}$$

Le deformazioni di acciaio e calcestruzzo sono legati da un rapporto per cui

$$\epsilon_c = \epsilon_a / 15 = 1,06 \cdot 10^{-4}$$

Dalla legge di Hooke, si ricava lo sforzo applicato sul calcestruzzo del copriferro

$$\sigma_c = E \epsilon_c = 31500 \times 1,06 \cdot 10^{-4} = 3,34 \text{ N/mm}^2$$

Considerando lo sforzo maggiore σ di trazione e l'area A di un tondino, sapendo che $\sigma = N/A$, è possibile determinare la forza assiale agente su un tondino

$$N = \sigma A = (334,35)(314) = 1183,26 \text{ N}$$

Con la stessa formula, conoscendo lo sforzo normale a cui è soggetto il calcestruzzo e la risultante di esso, si ottiene l'area di calcestruzzo necessaria

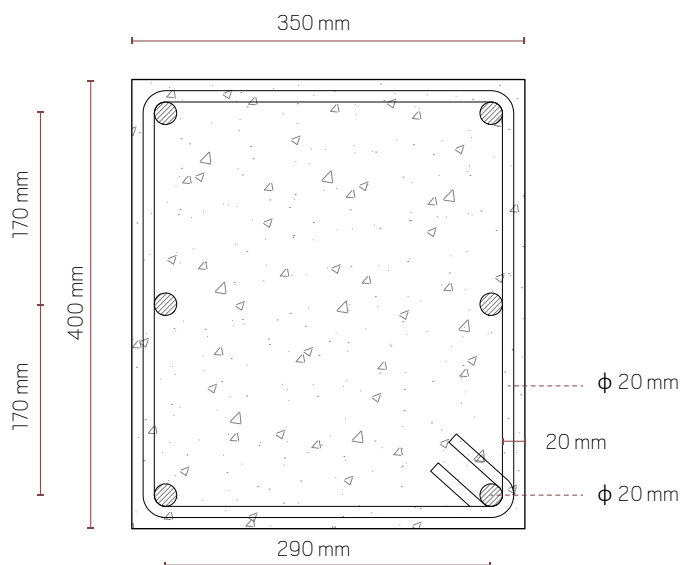
$$A_c = N / \sigma_c = 118,26 / 3,34 = 353,90 \text{ mm}^2 = 3,54 \text{ cm}^2$$

$$l = \sqrt{A} = \sqrt{3,54} = 1,88 \text{ cm}$$

Da progetto si ipotizza quindi un copriferro di 2 cm per rimanere in favore di sicurezza.

La dimensione dei ferri trasversali invece viene calcolata in riferimento a quanto riportato nella NTC 2008. Essa afferma che le staffe metalliche devono avere un diametro minimo di 6 mm e di 1/4 del diametro dei ferri longitudinali. Nel nostro caso, 1/4 del diametro dei ferri scelti ($d=20 \text{ mm}$) è 5 mm; confrontando con le staffe prodotte si avranno staffe di 10 mm di diametro.

Di seguito si può vedere la sezione del pilastro.



7. IL DIMENSIONAMENTO DELLE FONDAZIONI

Per poter garantire la stabilità della struttura, manca ora da progettare e dimensionare le fondazioni. Le fondazioni sono quella parte della struttura dell'edificio che svolge il compito di trasmettere i carichi dalle strutture in elevazione al terreno, quindi ricevono i carichi provenienti dalla sovrastruttura e li trasmettono al suolo.

Il tipo di fondazione di volta in volta impiegata dipende dalla sollecitazione che agisce su di essa e dal tipo di terreno a cui è connessa. Inoltre deve essere posata su un terreno di portanza adeguata ai carichi della struttura, cioè che sia in grado di sopportare le sollecitazioni di compressione dovute ad un carico sovrastante.

Le fondazioni vengono suddivise in due famiglie:

- fondazioni superficiali (o dirette), come plinto, trave di fondazione, piastra di fondazione detta anche platea;
- fondazioni profonde (o indirette), come palo di fondazione, micropalo.

Le prime vengono utilizzate quando il terreno non presenta particolari problemi di resistenza e le seconde quando gli strati superficiali del terreno non hanno una portanza sufficiente per sopportare il carico della struttura.

Dovendo quindi sostenere i carichi dell'edificio, le fondazioni sono tendenzialmente soggette a sola compressione. Nel nostro caso però, se riprendiamo il valore dei carichi verticali cui i pilastri sono soggetti e che abbiamo precedentemente calcolato, notiamo che il pilastro B subisce il valore massimo di compressione mentre quello in A è ancora soggetto a trazione. Il rischio è che la fondazione sia soggetta a pressoflessione o che addirittura possa ribaltarsi per il momento causato dalla presenza dello sbalzo.

La prima cosa da calcolare è l'area minima di terreno necessaria per opporsi alla forza di compressione, in modo così da trovare la superficie della fondazione del pilastro in B. Per farlo occorre ancora far riferimento alla relazione che definisce lo sforzo normale come una forza su unità di superficie,

$\sigma = N/A$, tenendo conto che si considera un terreno con portanza di $\sigma = 2 \text{ kg/cm}^2$:

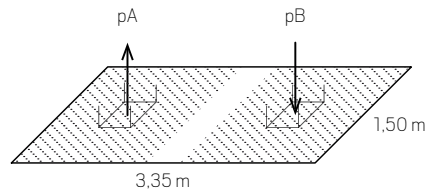
$$p_B = 430,67 \text{ kN} = 43916,11 \text{ kg}$$

$$\sigma_t = 2 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{\text{fondazione}} = N/\sigma = 2,20 \text{ m}^2$$

$$L = \sqrt{A} = 1,48 \text{ m}$$

Se entrambe le forze fossero di compressione, il procedimento usato per il pilastro B dovrebbe eseguirsi anche per il pilastro A e l'area della fondazione sarebbe data dalla somma delle due aree calcolate. Essendo invece in trazione, si ipotizza per A la stessa superficie di terreno di B. Inoltre, essendo l'interasse dei due pilastri di 1,85 m e posizionando le forze verticali nel centro delle due aree trovate, le superfici coincidono in parte quindi l'area di fondazione ipotizzata è 3,35 x 1,50 m.



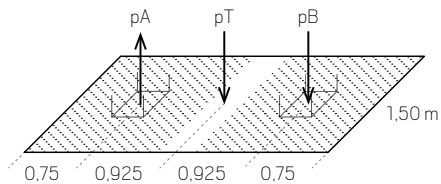
A causa della presenza della vasca d'acqua sulla parte est della parete museale, le fondazioni iniziano ad una quota di $-0,45$ m. Inoltre i due pilastri hanno una distanza di $1,50$ m ($1,85$ se si considera l'interasse) e quindi c'è una porzione di terreno che contribuisce alla compressione:

$$A_{\text{terreno}} = 1,50 \times 1,50 = 2,25 \text{ m}^2 = 22500 \text{ cm}^2$$

$$p_{\text{terreno}} = A\sigma = 22500 \times 2 = 45000 \text{ kg} = 441,30 \text{ kN}$$

Lo schema delle forze agenti sulla fondazione è quindi il seguente:

le forze PA e PB sono simmetriche rispetto al baricentro dell'area con un'eccentricità di $0,925$ m;
la forza Pt del terreno cade nel baricentro dell'area.



A causa della loro eccentricità, le due forze creano ciascuna un momento e la fondazione potrebbe essere soggetta a pressoflessione: per verificare la stabilità della fondazione bisogna dunque controllare se essa risulti effettivamente presso-tesa.

$$pA = 74,70 \text{ kN}$$

$$pB = -430,67 \text{ kN}$$

$$pT = -441,30 \text{ kN}$$

$$p = pA + pB + pT = -797,27 \text{ kN}$$

$$\sigma_N = p/A = -797,27 / (3,35 \times 1,50) = -0,16 \text{ N/mm}^2$$

$$Ma = pA \cdot e = 74,70 \times 0,925 = 69,09 \text{ kNm}$$

$$Mb = pB \cdot e = 430,67 \times 0,925 = 398,37 \text{ kNm}$$

$$M = Ma + Mb = 467,46 \text{ kNm}$$

$$\sigma_M = M/I_y \cdot x_{\text{max}} = (467,46) / [(1,50)(3,35)^3 / 12 \times (3,35/2)] = 0,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_N + \sigma_M = 0,01 \text{ N/mm}^2 \text{ trazione}$$

$$\sigma_N - \sigma_M = -0,33 \text{ N/mm}^2 \text{ compressione}$$

$$\text{asse neutro } x = -1,60 \text{ m}$$

La fondazione risulta essere soggetta anche a trazione. Bisogna ora verificare dove cade la risultante delle forze verticali rispetto al nocciolo centrale d'inerzia. Il nocciolo centrale d'inerzia è il luogo dei centri relativi alle rette tangenti la sezione assegnata senza tagliarla e nel nostro caso è utile in quanto con una sezione rettangolare è possibile individuare una relazione tra nocciolo centrale d'inerzia, centro di pressione e asse neutro.

Infatti si possono avere quattro casi:

- se il centro di pressione è all'interno del nocciolo centrale d'inerzia, l'asse neutro è esterno al bordo della sezione rettangolare;
- se il centro di pressione è situato sul bordo del nocciolo centrale d'inerzia, l'asse neutro coincide con il bordo della sezione rettangolare;
- se il centro di pressione si trova all'esterno del nocciolo centrale d'inerzia, l'asse neutro cadrà all'interno della sezione rettangolare;
- se il centro di pressione cade sul baricentro della sezione, l'asse neutro è infinito.

Perciò, riuscire a dimostrare che la risultante delle forze verticali, qualunque esse siano, cade nel nocciolo d'inerzia, vuol dire assicurarsi che tutta la superficie è soggetta comunque a compressione poiché l'asse neutro è esterno alla sezione.

Nel nostro caso il nocciolo d'inerzia, essendo rettangolare la sezione, ha le seguenti dimensioni:

$$x = 3,35/3 = 1,12 \text{ m}$$

$$y = 1,50/3 = 0,50 \text{ m}$$

$$pAx + pT(x - 0,925) + pB(x - 1,85) = 0$$

$$74,70x - 441,30(x - 0,925) - 430,67(x - 1,85) = 0$$

$$74,70x - 441,30x + 408,20 - 430,67x + 796,74 = 0$$

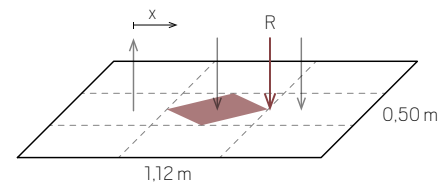
$$797,27x = 1204,94$$

$$x = 1,51 \text{ m}$$

$$1,51 + 0,75 = 2,26 \text{ m}$$

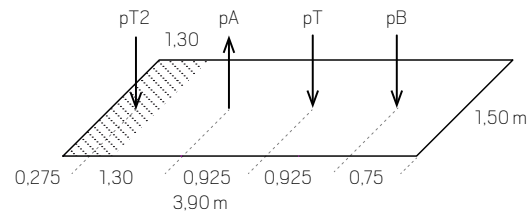
$$1,675 + 0,56 = 2,235 \text{ m}$$

$$1,675 - 0,56 = 1,115 \text{ m}$$



La risultante cade fuori dal nocciolo centrale d'inerzia, quindi la sezione risulta presso-tesa. Per renderla tutta compressa, essendo poca la distanza dal nocciolo, si decide di aumentare la fondazione di 0,55 m, diventando lunga 3,90 m. Da progetto nella parte ovest dietro il percorso museale è previsto uno spazio verde, perciò si può estendere la fondazione verso quel lato, al fine di aumentare la porzione di terreno che comprime la fondazione, ingrandire il nocciolo d'inerzia e contrastare il mo

mento che si genera. Il nuovo sistema di forze risulta pertanto essere:



Dimensioni fondazione = $3,90 \times 1,50$ m

Nocciolo d'inerzia: $x = 3,90/3 = 1,30$ m

$y = 1,50/3 = 0,50$ m

A_a terreno = $0,55 \times 1,50 = 0,83$ m²

$pT_2 = A\sigma_T = 161,81$ kN

$pT_2x + pA(x - 0,65) + pT(x - 1,575) + pB(x - 2,50) = 0$

$-161,81x + 74,70x - 48,56 - 441,30x + 695,05 - 430,67x + 1076,68 = 0$

$959,08x = 1723,17$

$x = 1,80$ m

$1,80 + 0,65 = 2,45$ m

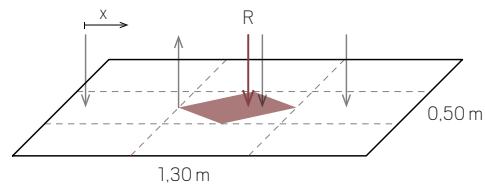
$1,95 + 0,65 = 2,60$ m

$1,95 - 0,65 = 1,30$ m

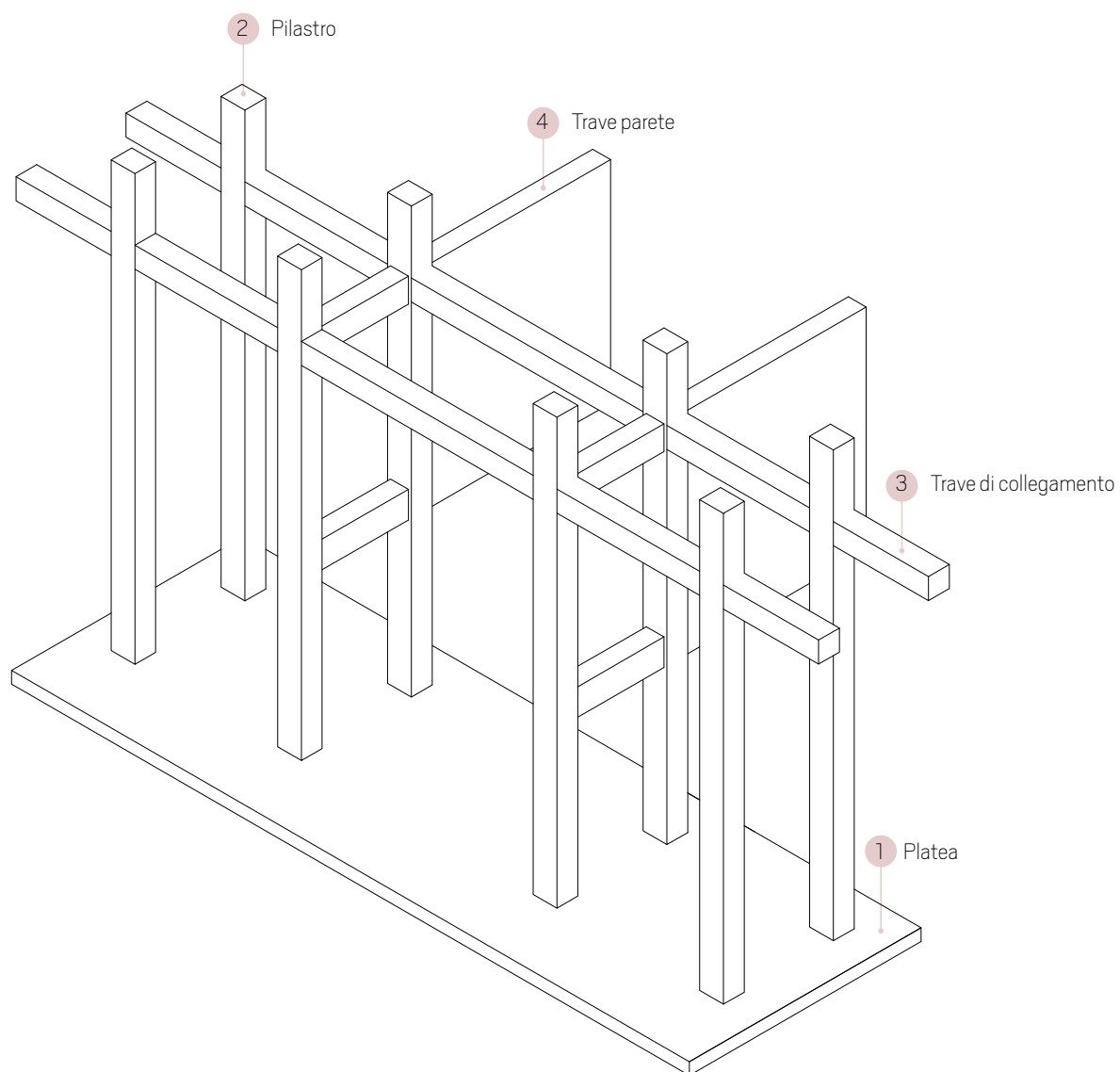
La risultante cade dentro al nocciolo d'inerzia di 15 cm, quindi la sezione è tutta compressa.

In questo caso la risultante delle forze cade nel nocciolo d'inerzia: l'asse neutro è esterno alla sezione che risulta completamente compressa.

In conclusione, si sceglie di eseguire una platea, in modo da garantire una maggiore rigidità alla struttura e che per ogni coppia di pilastri ha le dimensioni di $4,00 \times 1,65$ m.



Di seguito viene mostrata un'assonometria dei soli componenti strutturali che sostengono il percorso museale: 1. la platea di fondazione (spessore 30 cm); 2. i pilastri in c.a. 35x40 cm; 3. la trave di collegamento (35x35 cm) che unisce i pilastri; 4. la trave parete (5,1x3,55x0,30 m). A questi andrà poi aggiunto il rivestimento con pannelli prefabbricati e relativi montanti di sostegno e i solai in atterramento per copertura e calpestio.



8. TECNOLOGIA COSTRUTTIVA E MATERIALI

Il percorso museale in quota si compone di due lunghi muri paralleli a cui sono agganciate a sbalzo sul lato est quattro stanze.

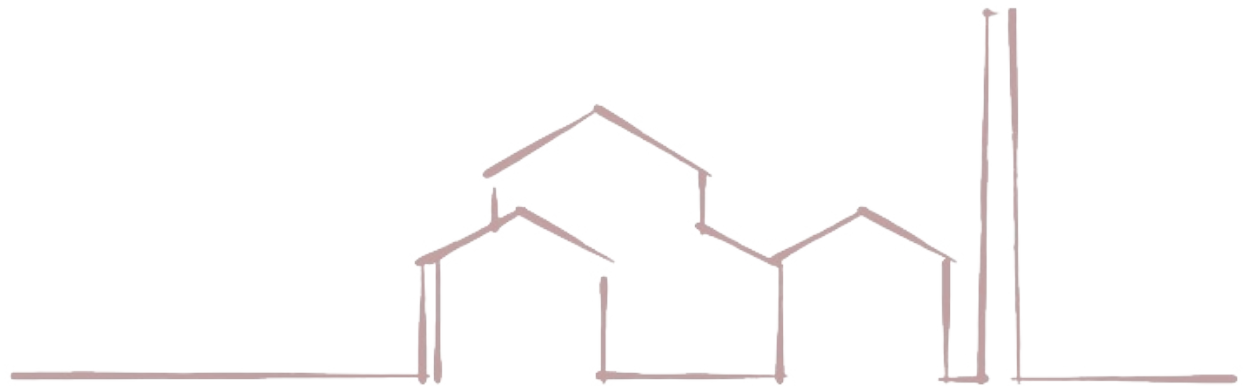
I due muri sono lunghi circa 72 m e hanno uno spessore di 40 cm, mentre lo spazio interposto fra essi è pari a 1,50 m. Per la costruzione si adoperava un sistema a telaio in modo da dare la maggior libertà all'interno del percorso per la definizione delle bucatore. Queste sono delle feritoie di dimensione pari a 20x60 cm distribuite lungo tutto il corridoio sul lato ad est e permettono la vista o del cielo o dell'acqua sottostante. Tali bucatore infatti presentano un orientamento tale per cui non è mai possibile guardare esattamente di fronte ma solo appunto in alto o in basso, non presentano una strombatura ma definiscono un preciso cannocchiale. Le feritoie inoltre sono distribuite a diverse altezze: questo fa sì che, sia l'utente bambino che l'utente adulto, ha la possibilità di osservare da queste aperture. La loro distribuzione inoltre crea dei giochi di luce diversi all'interno dello spazio di passaggio. Queste bucatore non presentano vetri per cui la ventilazione e il ricambio dell'aria sono assicurati dalla loro presenza.

Il sistema a telaio si compone di pilastri, travi parete, travi di collegamento e di un tamponamento alleggerito.

I pilastri rettangolari di 35x40 cm sono in calcestruzzo armato e servono per lo scarico delle forze in fondazione. Essi sono collegati trasversalmente dalle travi parete, progettate appositamente per reggere lo sbalzo delle stanze. Di tali travi parete è stata studiata la sezione minima resistente per comprendere quale potesse essere l'altezza massima da bucare. In questo modo si è quindi definita l'altezza interna degli ambienti, sia delle stanze che del percorso. Le travi pareti definiscono i lati nord e sud di ciascuna stanza che non presentano quindi bucatore e sono lasciate con la finitura grezza del cemento gettato in opera. In sezione longitudinale la struttura assomiglia staticamente e costruttivamente ad una trave Vierendeel.

Il sistema a telaio prevede infine una struttura metallica di collegamento fra i pilastri. Su tale struttura è posato un rivestimento in lastre prefabbricate con una finitura che simula la gettata del cemento a vista. Circa invece la cromia si è scelto il color mattone come uniformità agli edifici circostanti. Mediante questo rivestimento si sono disegnati i fronti, come il susseguirsi di linee parallele con diversi interassi. Lo stesso disegno continua poi nel tratto di percorso a bordo della vasca d'acqua, dando così continuità al sedime del Macello Bovini.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA



- S. CROCE, T. POLI, *Case a basso consumo energetico: strategie progettuali per edifici a climatizzazione spontanea in Italia*, ed. Ilsole24ore, Milano
- S. CROCE, T. POLI, *Transparency: facciate in vetro tra architettura e sperimentazione*, Ilsole24ore, Milano
- S. CROCE, *Innovazione tecnologica Architettura Clima*, in Manuale di Progettazione Edilizia, volume 3, Hoepli, 1998
- V. CORRADO, M. SERRAINO, *Il nuovo quadro legislativo italiano sull'efficienza energetica degli edifici*, Building Rockwool School
- C. AGHEM, A. PELLEGRINO, S. CAMMARANO, *Sistemi di gestione e controllo della luce naturale e artificiale*, Report RSE/2009/11
- G. MUSSO, G. COPPERI, *Particolari di costruzioni murali e finimenti di fabbricati*, 1885, Torino, G. Paravia



- www.dicat.unige.it/tecnica_delle_costruzioni_1/Lezioni04-05-capriata.pdf
- www2.ing.unipi.it/~a009220/lezioni/LI_ING_EDILE/AA1011/MATERIALE_DIDATTICO/AP-PUNTI/RILIEVI_TOPOGRAFICI_ALTIMETRICI_1112.pdf
- www.ilmeteo.it/portale/medie-climatiche/Monza
- www.altabrianza.org/brianza.html
- www.comune.monza.it/portale/index.html
- ita.arpalombardia.it/ita/index.asp
- www.treccani.it/enciclopedia/inquinamento-ambientale_%28Enciclopedia_della_Scienza_e_della_Tecnica%29/
- lucenergia.velux.it
- www.parmabeniartistici.beniculturali.it/altri-luoghi/teatro-farnese/
- www.rpbw.com/project/76/niccolo-paganini-auditorium/#

- www.rpbw.com/project/19/prometeo-musical-space/
- www.schaubuehne.de/en/pages/architecture.html
- www.museodelviolino.org/auditorium/auditorium-idea/
- www.egramma.it/eOS2/index.php?id_articolo=1301
- www.viaggio-in-germania.de/muro-berlino.html
- english.thekotel.org/content.asp?id=212
- www.alhambra-patronato.es/
- www.visitfai.it/villapanza/collezione-d-arte
- www.archea.it/biblioteca-e-auditorium-di-curno/

NORMATIVA

Analisi strutturali

NORMA UNI 103551: Murature e solai, valori della resistenza termica e metodo di calcolo

UNI EN 10027 – denominazioni acciai

CNR 10011/88 – Costruzioni di acciaio, istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione

CIRCOLARE 617/2009: Tabella C8A.2

NTC 2008 - EDIFICI ESISTENTI Ci si è posti in LC2 – conoscenza adeguata, poiché è possibile osservare il manufatto, rilevarlo e conoscere in modo adeguato le sue strutture e i materiali di cui è composto. Dalla stessa norma si è utilizzata la Tabella 3.1.II (Tabella per valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici). La descrizione più corretta è "cat.C3 – ambienti privi di ostacoli per il movimento e per eventi pubblici, sale concerto, ecc.", da cui si sono dedotti i carichi, pari a 4/5 KN/m² per i carichi verticali distribuiti, 5 KN per i carichi verticali puntuali e 3 KN/m per i carichi orizzontali.

Caratteristiche materiali

UNI 10351

UNI 10355

Indici di affollamento, ricambio d'aria, valori di UR

UNI 10339

Condizioni ambientali di progetto

DPR 1052/77

Antincendio

DM 19-08-1996

Circolare Ministero Interno n 91, 14-09-1961

Decreto del Ministero dell'Interno 14-12-1993

Certificazione energetica

Decreto n 5796, 11-06-2009

Calcolo carichi termici invernali

UNI EN 12831

Potenza termica rilasciata in ambiente da un uomo medio per varie attività

Ashrae Handbook Fundamentals (2001)

