

ISSN n° 0010-9873 Poste Italiane SpA - Sped. in abb. post. n° 46143 - 10 dicembre 2020 - M. Prezzo a cop. € 15,00 - In caso di arretrati, restituire il volume al CPTA di viale Mazzini 10, 00187 Roma, Tel. 06/47811111 - Fax 06/47811112 - E-mail: cpta@ptt.it



MAG/GIU 2021

C  
T  
A  
COLLEGIO  
DEI TECNICI  
DELL'ACCIAIO

UNICMI

RIVISTA BIMESTRALE  
PER LA DIFFUSIONE  
DELLA CULTURA DELL'ACCIAIO

**COSTRUZIONI  
METALLICHE**



# Giornate Nazionali di Saldatura

## GNS 11

Genova. 2-3 Dicembre 2021  
Porto Antico  
Centro Congressi

L'EVENTO CULTURALE DI RIFERIMENTO  
NEL MONDO DELLA FABBRICAZIONE  
DEI PRODOTTI SALDATI

WORKSHOP TECNICO SCIENTIFICI | CORSI DI FORMAZIONE | AGGIORNAMENTI | FAQ | ESPOSIZIONE

SPONSOR TECNICI | Aggiornamento al 08/07/2021



Your welding power



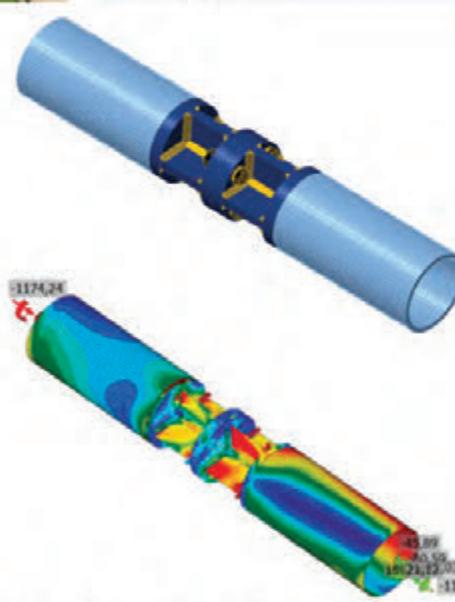
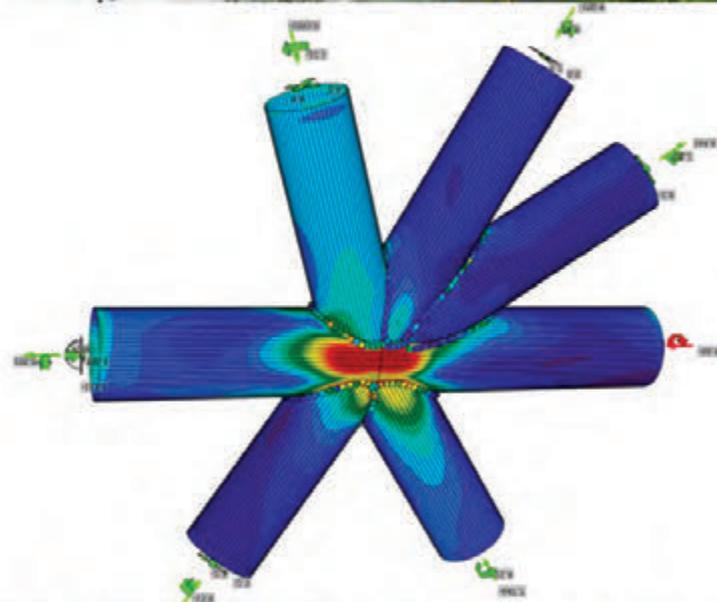
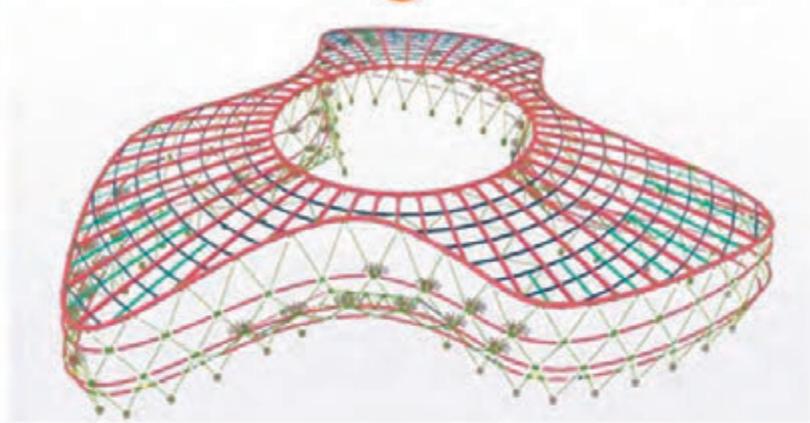
[www.gns.iis.it](http://www.gns.iis.it)

# IDEA StatiCa® CONNECTION

LEADER MONDIALE PER LA VERIFICA DI CONNESSIONI IN ACCIAIO GENERICHE  
BIM - ANALISI NON LINEARI - MULTILINGUA - NORME: 

Hungexpo Arrival Hall, Budapest  
Progetto: BIM Design Kft  
Realizzazione: KÉSZ Group

 Tekla Structures  IDEA StatiCa®



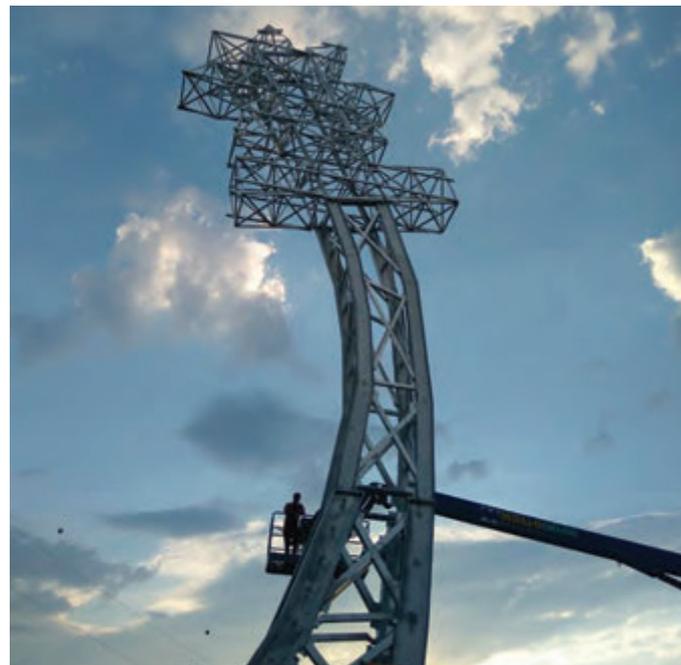
**PROVA LA VERSIONE COMPLETA PER 14 GIORNI**

EISEKO COMPUTER S.R.L. - Viale del Lavoro 17, 37036 San Martino B. A. (VR)

idea@eiseko.it

+39 045 80 31 894

www.eiseko.it



## ZINCATURA A CALDO: DURABILITÀ E SICUREZZA NEL RISPETTO DI SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE ED ECONOMICA

Gli input sempre più pressanti che vengono dalla società di oggi sono relativi alla tutela del nostro pianeta che potrebbe non reggere più all'impatto della nostra specie. Per questo sentiamo parlare di economia circolare e sostenibilità ambientale nel giusto equilibrio con la sicurezza e la sostenibilità economica. Il metallo più utilizzato, nelle sue svariate forme e applicazioni, è il ferro, moltiplicando il suo ciclo di vita, si offre un corretto contributo per la tutela del nostro pianeta. La zincatura a caldo è oggi il trattamento anticorrosivo dell'acciaio più efficace e con un ottimo rapporto tra costi e benefici. Proteggere a lungo termine l'acciaio dalla ruggine vuol dire ridurre l'uso delle risorse non rinnovabili, ottenere un netto miglioramento della sicurezza delle opere e tutelarne il valore nel tempo. Recenti ricerche scientifiche dimostrano che la zincatura a caldo può svolgere un importante ruolo anche nel migliorare la resistenza al fuoco delle strutture in acciaio ampliando, con ciò, le capacità già importanti che la zincatura a caldo ha nel proteggere l'acciaio.

## SE L'UNIONE FA LA FORZA: LA SINERGIA DI GIAMBARINI GROUP

Dalle costruzioni all'arredo urbano, fino all'agricoltura: sono tantissimi i campi di impiego della zincatura a caldo.

Il minimo comune denominatore si chiama Giambarini Group.

Sono oltre 70mila tonnellate di materiale zincato che escono ogni anno dagli stabilimenti di un gruppo che con sei diverse realtà e oltre 200 addetti, offre un servizio di prima qualità a 360 gradi nell'ambito della zincatura a caldo.

La zincatura a caldo risulta fondamentale e preziosa in diversi comparti, ma a fare la parte del leone resta l'edilizia, sia per quanto riguarda i capannoni industriali che le opere pubbliche (stadi, stazioni ferroviarie, strade) sia in ambito domestico per balconi, cancelli, opere in ferro.

In questo campo si propende spesso alla doppia protezione, sistema duplex: sulla superficie zincata a caldo si aggiunge la verniciatura. In tal modo si garantisce una protezione di maggior durata oltre che un'esigenza decorativa.

## IL GRUPPO:

Giambarini Group rappresenta oggi una realtà industriale capace di soddisfare un mercato sempre più esigente.

Nato nel 2016 per dar riconoscibilità ad un gruppo di aziende appartenenti alla famiglia Giambarini, operante nella zincatura a caldo da oltre 60 anni, quando il capostipite Giuseppe iniziò l'attività nello stesso sito dove ancora oggi si trova OLFEZ SRL.

Nel corso degli anni si è vista poi una crescita costante che grazie a serietà, qualità e ottimo servizio, ha portato il gruppo ad avere 4 zincherie di carpenteria e minuteria metallica (oltre a OLFEZ Srl, ZINCATURA DI CAMBIANO Srl, GALVAN Srl e ZITAC Srl), un'azienda di trasporti (ODS Srl) e una commerciale di grigliato, ferro battuto e acciaio inox (METALJUMBO Srl), offrendo servizi specializzati ad ampio raggio.

## QUALITÀ E ATTENZIONE ALL'AMBIENTE

A testimoniare la qualità e l'affidabilità della zincatura a caldo di Giambarini Group, non è solo la storia del Gruppo, ma ad oggi è dimostrato dalle certificazioni ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001 e dall'ottenimento di HiQualiZinc, il marchio di qualità della zincatura a caldo di proprietà di Associazione Italiana Zincatura. HiQualiZinc è sinonimo di rispetto di requisiti riguardanti sia le caratteristiche del prodotto finito, consistente nel rivestimento ottenuto per immersione nel bagno di zinco fuso, sia dei parametri di processo il cui controllo influenza la qualità del prodotto stesso. Lo scopo del Disciplinare predisposto dall'Associazione Italiana Zincatura è quello di garantire al cliente le migliori caratteristiche di protezione dalla corrosione dei prodotti sottoposti a zincatura a caldo.

<http://www.giambarinigroup.it/>



# Tekla® Structures

## #differentbutbetter

Il BIM per l'ingegneria strutturale

La qualità di sempre  
al prezzo più conveniente di sempre

**Tekla Structures 2021**, ancora più facile da utilizzare, si presenta in una nuova modalità: la formula in Subscription, a noleggio.

**Quali sono i vantaggi della modalità Subscription?**



Investimento iniziale inferiore rispetto al passato



Sempre aggiornato alla nuova versione

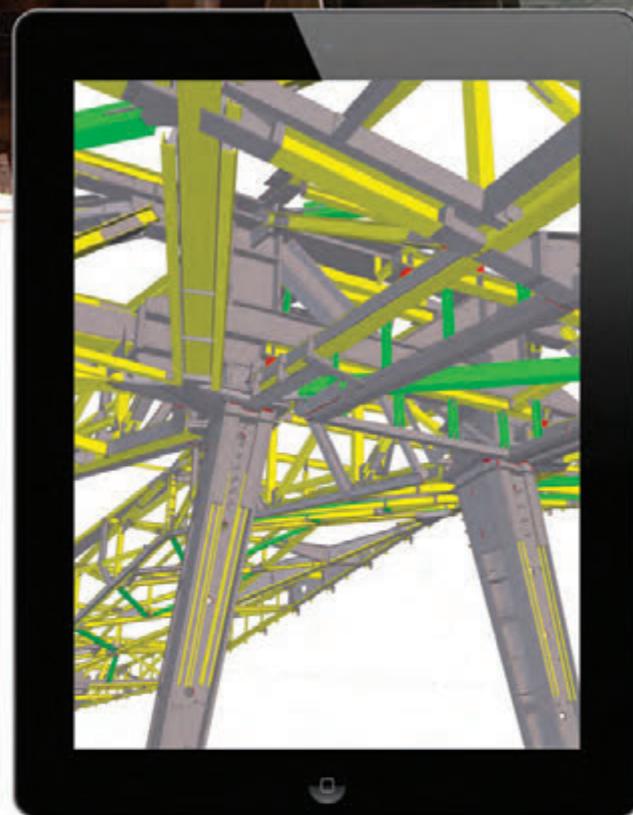


Supporto tecnico compreso nel canone di noleggio



Flessibile e adatto alle nuove esigenze del mercato

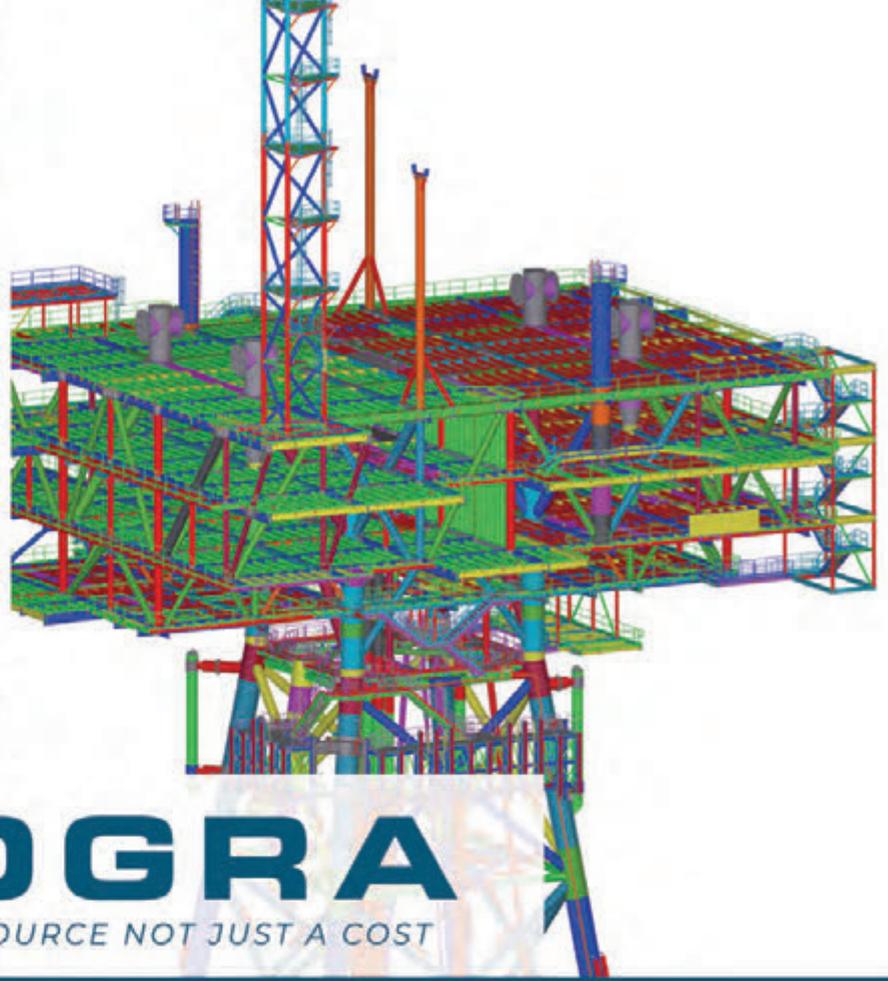
e molto altro...



Rivenditore esclusivo per l'Italia  
since 1990

**HARPACEAS**  
More than BIM

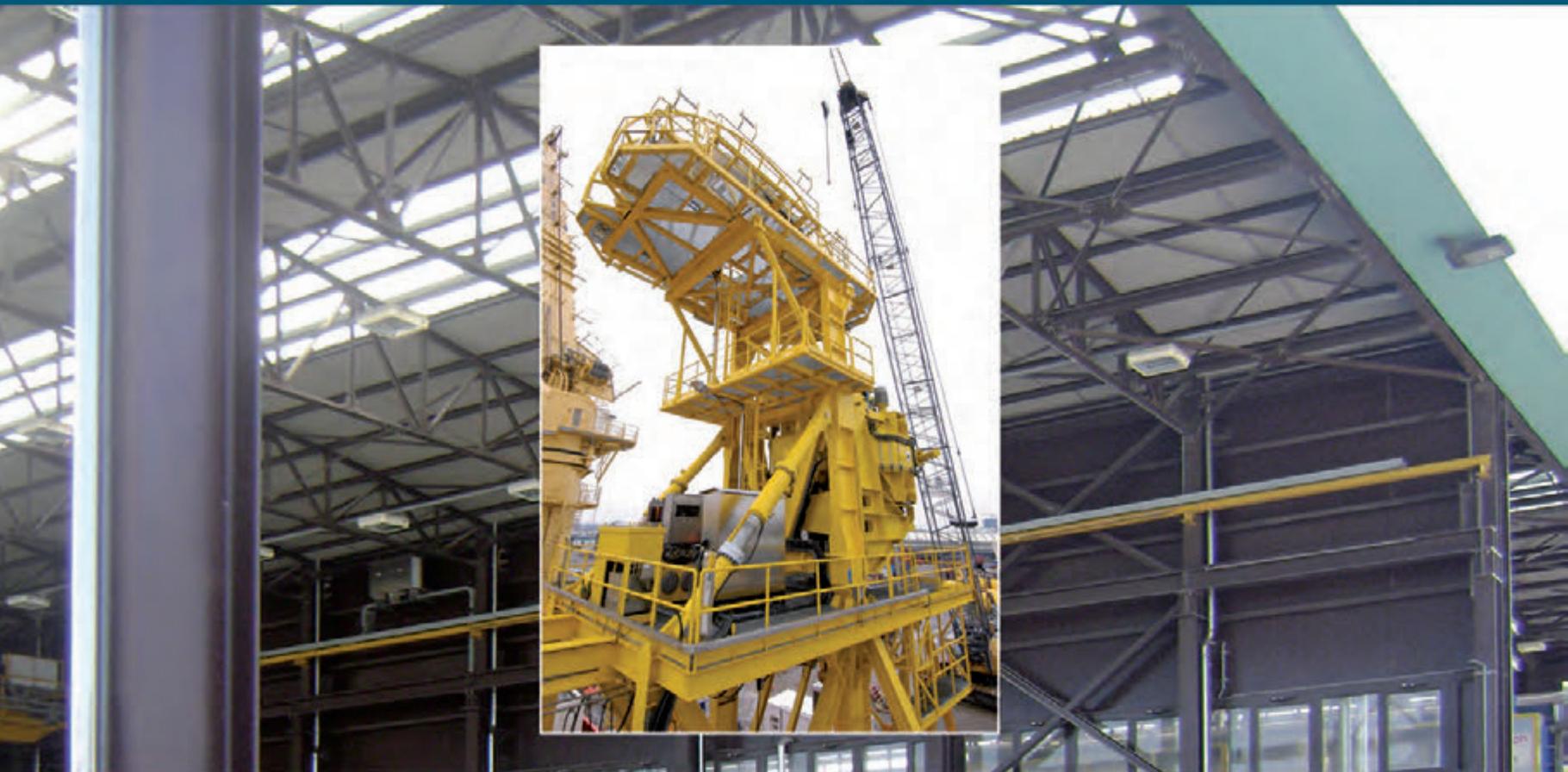




 **PROGRA**

ENGINEERING AS A RESOURCE NOT JUST A COST

**INGEGNERIA MULTIDISCIPLINARE  
IN CAMPO INDUSTRIALE, CIVILE, INFRASTRUTTURALE ED OFFSHORE**



 **PROGRA**

PROGRA Srl / 48122 RAVENNA Italy / Via Pirano 7 / Tel. 0544/591511 - Fax. 0544/591344  
[www.progra.it](http://www.progra.it) / [info@progra.it](mailto:info@progra.it)

 since  
1987

**COSTRUZIONI METALLICHE - FONDATA NEL 1949**

**REDAZIONE**

**DIRETTORE RESPONSABILE:** BRUNO FINZI

**EDITOR IN CAPO:** ELIDE NASTRI Università di Salerno, Italia

**COMITATO DI REDAZIONE:**

NADIA BALDASSINO Università di Trento, Italia  
 ANDREA CAMPIOLI "Politecnico" di Milano, Milano, Italia  
 PAOLO CASTALDO "Politecnico" di Torino, Torino, Italia  
 MARIO DE MIRANDA IUAV Università di Venezia  
 MAURO EUGENIO GIULIANI Redesco Progetti srl, Milano, Italia  
 RAFFAELE LANDOLFO Università di Napoli "Federico II", Italia  
 EMANUELE MAIORANA Isocomit Srl, Legnaro (PD), Italia  
 ELENA MELE Università di Napoli "Federico II", Italia  
 GIOVANNI METELLI University of Brescia, Italia  
 PAOLO NAPOLI "Politecnico" di Torino, Torino, Italia  
 EMIDIO NIGRO Università di Napoli "Federico II", Italia  
 VINCENZO PILUSO Università di Salerno, Italia  
 SHAHAB RAMHORMOZIAN University of Auckland, New Zealand  
 ATSUSHI SATO Nagoya Institute of Technology, Japan  
 SERGIO SCANAVINO Istituto Italiano di Saldatura, Italia  
 MARCO SIMONCELLI "Politecnico" di Milano, Milano, Italia  
 LUCIA TIRCA Concordia University of Montreal, Canada

**COMITATO EDITORIALE ESECUTIVO:** GIANCARLO CORACINA,  
 BENEDETTO CORDOVA, RICCARDO DE COL, ALBERTO VINTANI

**COMITATO SCIENTIFICO:**

GIULIO BALLIO "Politecnico" di Milano, Milano, Italia  
 CLAUDIO BERNUZZI "Politecnico" di Milano, Milano, Italia  
 MARIO D'ANIELLO Università di Napoli "Federico II", Italia  
 LUIGINO DEZI Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italia  
 ERIC DUBOSC Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris, France  
 DAN DUBINA Polytechnic University of Timisoara, Timisoara, Romania  
 MASSIMO MAJOWIECKI Università di Bologna  
 FEDERICO M. MAZZOLANI Università di Napoli "Federico II", Italia  
 ROSARIO MONTUORI Università di Salerno, Salerno, Italia  
 RENATO MORGANTI Università degli Studi dell'Aquila, Italia  
 VITTORIO NASCÉ "Politecnico" di Torino, Italia  
 D.A. NETHERCOT Imperial College London, London, UK  
 MAURIZIO PIAZZA Università di Trento, Trento, Italia  
 COLIN ROGERS McGill University, Montreal, Canada  
 LUIS SIMOES DA SILVA University of Coimbra, Portugal  
 ENZO SIVIERO Università Telematica E-campus, Italia  
 CARLO URBANO "Politecnico" di Milano, Milano, Italia  
 RICCARDO ZANDONINI Università di Trento, Trento, Italia

**SEGRETERIA:** VALERIA PASINA

**EDITORE:** GIANGIACOMO FRACCHIA EDITORE Srl  
 Via C. Goldoni 1, 20129 Milano, tel. 02 49524930  
 C.F./P.Iva: 07153040964 - CCIAA Milano REA n° 1939256

**UFFICIO ABBONAMENTI:** CTA Collegio Tecnico dell'Acciaio,  
 20129 Milano, Viale dei Mille, 19  
 tel. 02 784711; costruzionimetalliche@ctanet.it  
 http://www.collegiotecniciacciaio.it/costruzionimetalliche/

**CONCESSIONARIA PUBBLICITÀ:**

Agicom srl, Viale Caduti in Guerra, 28,  
 00060 Castelnuovo di Porto (RM)  
 Tel. +39 069078285  
 www.agicom.it  
 Dott.ssa Manuela Zuliani, Cell: +39 3467588821  
 manuelazuliani@agicom.it

**IMPAGINAZIONE E GRAFICA:**

Huttert Edgardo | SINAPSI |  
 www.sinapsiweb.info

**STAMPA:**

GIERRE PRINT SERVICE Srl, Via Carlo Goldoni, 1  
 20129 MILANO Tel. 02 49524930  
 e-mail: commerciale@gierreprint.com

**ABBONAMENTI PER L'ANNO 2021 (6 NUMERI):**

Italia: € 60,00 - Estero: € 150,00 - Studenti: € 20,00  
 Prezzo a copia: € 15,00

Garanzia di riservatezza per gli abbonati: l'Editore garantisce la massima riservatezza dei dati forniti dagli abbonati e la possibilità di richiederne gratuitamente la rettifica o la cancellazione. Le informazioni custodite nell'archivio elettronico dell'Editore verranno utilizzate al solo scopo di inviare agli abbonati eventuali proposte commerciali (legge 675/96 tutela dati personali)

La rivista non assume alcuna responsabilità delle tesi sostenute dagli Autori e delle attribuzioni relative alla partecipazione nella progettazione ed esecuzione delle opere segnalate dagli stessi Autori

La rivista è inviata ai soci del Collegio dei Tecnici dell'acciaio (C.T.A.)

Iscrizione al Tribunale di Milano in data 8 febbraio 1949,  
 n. 1125 del registro.

Iscrizione ROC n. 020654 (Art.16 Legge 62 - 7/03/2001)

ISSN n. 0010-9673

Spedizione in A.P. - D.L. 353/2003 (conv. in L.27.02.14  
 N. 46) - Art. 1 comma 1 CNS PD

**Questo numero della rivista è stato chiuso in redazione e stampato nel mese di luglio 2021**

È vietata e perseguibile per legge la riproduzione totale o parziale di testi, articoli, pubblicità ed immagini pubblicate su questa rivista sia in forma scritta, sia su supporti magnetici, digitali, ecc.

# COSTRUZIONI METALLICHE

ANNO LXXIII MAG GIU 21



[www.facebook.com/CMrivista](http://www.facebook.com/CMrivista)

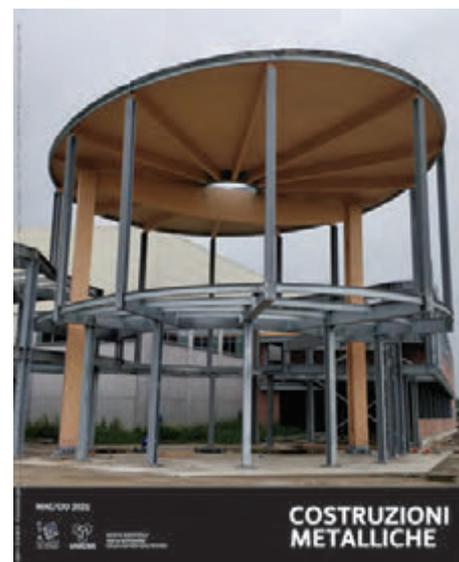
[costruzionimetalliche@ctanet.it](mailto:costruzionimetalliche@ctanet.it)

In copertina:

**STRUTTURE IN ACCIAIO PER UFFICI**

**ORVA a Bagnacavallo (RA)**

**Marco Peroni Ingegneria**



9 EDITORIALE

**LA REDAZIONE**

55 ANNI FA:

Nasce il Collegio dei Tecnici dell'Acciaio CTA

10 INGEGNERIA

**PAOLO RIGONE, PAOLO GIUSSANI**

Sistemi costruttivi a secco per l'involucro edilizio:  
 dai materiali alla progettazione integrata delle componenti

26 ARCHITETTURA

**TECLA CAROLI**

PROGETTARE E COSTRUIRE REVERSIBILE IN ACCIAIO:  
 Il nuovo edificio circolare per la sede di Vandemoortele

45 REALIZZAZIONI

**M. MONTANARI, G. SARAGONI**

LA RIQUALIFICAZIONE DEL MERCATO  
 COPERTO DI RAVENNA

60 REALIZZAZIONI

**MARCO PERONI**

STRUTTURE IN ACCIAIO PER UFFICI  
 IN ROMAGNA

64 REALIZZAZIONI

**GIANLUCA VALLERINI**

La Gare Rabat Ville Marocco  
 Rinnovamento ed ampliamento della stazione centrale  
 della capitale del Marocco

79 LIBRI

**RICCARDO DE COL**

Carlo Sigmund  
 "Progettazione e calcolo di elementi e connessioni in acciaio"  
 Gennaio 2020, Dario Flaccovio Editore

80 RICORDO

**LA REDAZIONE**

1933-2021  
 ANTONIO SALMERI  
 Un grande strutturista dell'acciaio  
 innamorato della matematica

82 LE AZIENDE INFORMANO

MARCO PERONI INGEGNERIA  
 Diamo struttura alle idee

# IL TEMPO CAMBIA TUTTO, TRANNE UN PONTE ZINCATO A CALDO.

Il mondo cambia in fretta con il passare del tempo, evolve tecnologicamente, si trasformano i modi di vivere e di muoversi, e inevitabilmente si deteriorano tutti quegli elementi, come l'acciaio, sensibili all'attacco degli agenti atmosferici e non solo. Il processo di zincatura a caldo permette di difendere i manufatti in acciaio dalla corrosione, mantenendo inalterate le proprietà delle strutture per un periodo che spesso supera il loro stesso ciclo di vita.

Un ponte, i cui elementi sono protetti dalla zincatura a caldo, garantisce durabilità, sicurezza e solidità per il nostro futuro.



## 55 ANNI FA:

### Nasce il Collegio dei Tecnici dell'Acciaio CTA

L' 11 luglio 1966 l'ing. Franco Bianchi di Castelbianco –Presidente ACAI-, il prof. Leo Finzi, il prof. Fabrizio De Miranda, l'ing. Umberto Venanzi, l'ing. Luigi De Bartolomeis, l'ing. Piero Bonfiglio, l'ing. Dante Zaffaina, l'ing. Arnaldo Venegoni, il prof. Elio Giangreco, l'ing. Giorgio Magenta, l'ing. Gustavo Riccardo Badoni, l'ing. Salvatore Trillo, l'ing. Giorgio Negri, il comm. Ottorino Zecchi, l'ing. Fulvio Ranucci, il prof. Luca Sanpaolesi costituiscono l'Associazione culturale autonoma denominata "COLLEGIO DEI TECNICI DELL'ACCIAIO C.T.A." con scopi esclusivamente culturali ed in particolare „,per lo studio ed il perfezionamento della tecnica della costruzione metallica.

Il 12 luglio 1966 l'Atto costitutivo, insieme allo Statuto, vengono depositati presso il notaio Alessandro Guasti di Milano, determinando così la nascita del C.T.A.

Su Costruzioni Metalliche n.4 del 1966 comparve questo annuncio:

#### *E nato il Collegio dei Tecnici dell'Acciaio CTA*

Per esaudire le aspirazioni da tempo e ripetutamente espresse dai Consiglieri e dall'Assemblea del Collegio dei Tecnici dell'ACAI, con atto 12 luglio 1966 è stato costituito il Collegio dei Tecnici dell'Acciaio, C.T.A.; soci fondatori il Presidente e i Consiglieri del vecchio Collegio dei Tecnici dell'ACAI, il Presidente e i Consiglieri dell'ACAI.

Lo scopo della nuova Associazione, che ha carattere strettamente ed esclusivamente culturale, risulta chiaramente dallo Statuto, pubblicato nel presente fascicolo, e in particolare dall'art. 2 che qui riporto:

L'Associazione ha scopi esclusivamente culturali ed in particolare lo studio e il perfezionamento della tecnica della costruzione metallica, mediante pubblicazioni, conferenze, concorsi, convegni e viaggi di studio, corsi di perfezionamento, raccolta di ogni documentazione interessante la costruzione metallica ed ogni altro mezzo idoneo. In questo ambito l'Associazione promuoverà la intima collaborazione a livello culturale, tecnico e scientifico fra gli Enti, le Industrie, gli Istituti ed i Tecnici italiani e stranieri interessati alla costruzione metallica.

La composizione del Consiglio Direttivo, che comprende esponenti del mondo Universitario, della Tecnica e delle Aziende Costruttrici, riflette l'analoga paritetica presenza, in seno all'Associazione, dei Docenti, dei Tecnici degli uffici di progettazione e di officina e dei Costruttori.

Affrontando insieme e su piede di perfetta uguaglianza i problemi della costruzione in acciaio che, al pari di ogni opera di ingegneria, è sintesi poliedrica di scienza, tecnica, economia e capacità organizzativa, si perverrà certamente a conclusioni di alta validità.

Infatti la convivenza nell'Associazione e la partecipazione a studi e serene discussioni educeranno a meglio contemperare le esigenze di ognuno con quelle generali e, mediante l'apporto dei diversi punti di vista, consentiranno di riconoscere la vera essenza di ogni problema.

55 anni di storia del CTA, uniti ai 73 anni della rivista Costruzioni Metalliche, sono un patrimonio di testimonianze, ricordi, progetti e persone di straordinario valore.

Nei prossimi numeri di CM ricorderemo alcune di queste mirabili storie che le giovani generazioni dovrebbero conoscere.

*La Redazione di Costruzioni Metalliche*

# Sistemi costruttivi a secco per l'involucro edilizio: dai materiali alla progettazione integrata delle componenti

## Dry wall construction systems: materials and components through an integrated design approach

Prof. ing. Paolo Rigone

*Direttore Tecnico UNICMI e Docente di Progettazione dell'Involucro Edilizio al Politecnico di Milano,  
Titolare Studio di Ingegneria Rigone*

Ing. Paolo Giussani\*

*Façade Engineer, consulente in materia di involucro edilizio, collabora con lo Studio di Ingegneria Rigone,  
cultore della materia di Progettazione dell'Involucro Edilizio al Politecnico di Milano*

Oggigiorno è molto diffuso l'impiego di tecniche costruttive a secco nel campo dell'edilizia, specialmente nel campo delle facciate, permettendo la realizzazione di edifici sempre più complessi. Questi sistemi si distinguono per la leggerezza e la semplicità di posa, caratterizzati da ottime prestazioni meccaniche, energetiche, acustiche e sostenibilità. Essi si basano su di un concetto evoluto di prefabbricazione edilizia che si integra con l'organismo edilizio attraverso un'attenta e dettagliata fase di sviluppo progettuale a cura di tecnici specializzati. La vastissima gamma di prodotti e materiali disponibili, e la varia scelta di stratigrafie e di connessioni, richiede l'approfondimento di diverse nozioni che interessano l'ingegneria dei materiali e strutturale, la fisica dell'edificio dal punto di vista termico ed acustico, lo studio delle combinazioni di accoppiamento tipiche dei sistemi a multistrato e a sandwich.

*Nowadays, dry construction techniques are widely used in the building industry, especially in the field of facades, allowing the construction of increasingly complex buildings. These systems are characterised by their lightness and simplicity of installation, with excellent mechanical, energy, acoustic and sustainability performance. They are based on an evolved concept of building prefabrication that integrates with the building organism through a careful and detailed design development phase by specialised technicians. The vast range of products and materials available, and the varied choice of stratigraphy and connections, requires in-depth study of various notions concerning materials and structural engineering, the physics of the building from a thermal and acoustic point of view, and the study of the coupling combinations typical of multilayer and sandwich systems.*

### 1. INTRODUZIONE

Il primo sistema costruttivo impiegato dall'uomo primitivo era fondato su metodi di posa a secco, spesso mono strato, interconnessi tra loro con semplici elementi di bloccaggio. Oggigiorno le importanti innovazioni tecnologiche hanno permesso di introdurre a larga scala l'impiego di tecniche a secco nel campo della realizzazione di edifici complessi. Questi sistemi si distinguono per la leggerezza e la semplicità di posa, caratterizzati da ottime prestazioni meccaniche, energetiche, acustiche e di sostenibilità. Essi si basano sul concetto della prefabbricazione e dell'integrazione con l'organismo edilizio, quindi su un'attenta e dettagliata fase di sviluppo progettuale a cura di tecnici specializzati. La vastissima gamma di prodotti e materiali disponibili, e la varia scelta di stratigrafie e di connessioni, richiede l'approfondimento di diverse nozioni che interessano l'ingegneria dei materiali e lo studio delle combinazioni di accoppiamento tipiche dei sistemi a layer o sandwich. Concettualmente, il sistema costruttivo consiste in una struttura principale "portante" composta

da profili in acciaio, legno, o misti, con successiva sovrapposizione di strati senza l'impiego di acqua nel processo di assemblaggio. Di particolare importanza anche l'impatto dei sistemi costruttivi a secco sulle dinamiche del cantiere: riduzione dei tempi di posa e riduzione della magnitudo sulle fasi di cantiere (movimentazione di carichi leggeri, etc.). La vastissima combinazione di materiali e componenti bene si sposa con la libertà delle forme, dando soluzioni ai desiderata architettonici. L'impiego dei materiali varia in funzione dei livelli prestazionali ricercati dal progettista delle opere. Oltre al legno e alle diverse categorie di leghe di metalli, i materiali spaziano da prodotti sintetici a base poliuretana, EPS/XPS, a prodotti naturali o sostenibili, come la fibra di legno, tessuti come la canapa, lana di roccia di vetro, e le fibre di poliestere. In aggiunta a queste categorie vale la pena citare prodotti di ultima generazione, detti *nanotech*, che si caratterizzano per prestazioni molto superiori, ridotti spessori, ma che tutt'ora non trovano ampio impiego a causa dell'impatto economico rispetto alle soluzioni più "tradizionali". Il rivestimento più esterno di una facciata deve

\*Corresponding author. Email: p.giussani@studiorigone.it

possedere le caratteristiche di resistenza a umidità e ai cicli gelo-disgelo, stabilità dimensionale, resistenza alle muffe e alle alghe, resistenza a pioggia battente e grandine, resistenza al carico vento: entreremo nel merito di questi aspetti nel proseguo dell'articolo.

## 2. PROGETTAZIONE INTEGRATA

Vediamo nel seguito quali sono i requisiti connotanti le chiusure perimetrali verticali ed opache nell'ottica della progettazione integrata:

**Prestazioni termiche:** non sempre isolare è sufficiente per ottenere una buona prestazione energetica così come non costituisce una condizione necessaria per ottenere una prestazione energetica "a costi non elevati". Ricordiamo che isolare termicamente è pur sempre richiesto dagli aspetti normativi e per garantire un livello minimo di comfort (temperatura operante). La prestazione di isolamento termico dell'involucro, con riferimento alla norma UNI EN ISO 6946, si misura sulla base della sua resistenza termica R (oppure trasmittanza termica U che rappresenta il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad 1°C). Generalmente le chiusure opache a secco raggiungono bassissimi valori di trasmittanza termica grazie alla presenza di elevate percentuali di materiali coibenti sovrapposti tra loro in spessori complessivi ridotti (poco superiori ai 30 cm). Le stratigrafie includeranno gli accorgimenti volti al controllo della condensazione interstiziale e superficiale. Per una progettazione consapevole in climi estivi molto caldi, è necessario raggiungere adeguati valori di sfasamento dell'onda termica sufficienti ad evitare il surriscaldamento degli ambienti interni: facendo riferimento ad un valore indicativo di circa 10 ore, la progettazione delle stratigrafie deve tenere conto di adeguati valori di densità dei materiali per aumentare la massa complessiva e quindi l'inerzia termica dell'involucro esterno.

**Prestazioni Acustiche:** la suddivisione in strati consente di ottimizzare le prestazioni acustiche grazie all'impiego di materiali massivi alternati a prodotti con densità variabile. Questo aspetto regolato dalla legge della massa e dal comportamento massa-molla-massa permette di ottenere buoni valori di potere fonoisolante ( $\geq 60$  dB). Particolare attenzione andrà posta nella fase di posa in opera, al fine di evitare ponti acustici dovuti al non corretto posizionamento degli strati, oppure alla mancata introduzione di accorgimenti quali nastri antivibranti, sigillature mal eseguite, etc. La progettazione acustica segue le indicazioni del D.P.C.M. 05/12/1997 (figura 1), tuttavia a partire da luglio 2010, UNI ha pubblicato la norma volontaria UNI 11367 "Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari - Procedura di valutazione e verifica in opera" che introduce il concetto di classificazione acustica sulla scorta di misurazioni in opera. La classificazione acustica globale che ne deriva è calcolabile come media dei singoli componenti. Alcuni dei requisiti da verificare a cura di un tecnico competente in acustica sono l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato di facciata, l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di partizioni verticali e orizzontali fra differenti unità immobiliari, il

livello sonoro immesso da impianti a funzionamento continuo e discontinuo e l'indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti sovrapposti e/o adiacenti appartenenti a differenti unità immobiliari. La classificazione acustica è determinata in funzione delle caratteristiche intrinseche degli elementi tecnici e degli ambienti delle unità immobiliari oggetto di classificazione. In conseguenza di ciò, ad una determinata classe acustica di un'unità immobiliare non sempre corrisponde la stessa qualità acustica percepita da parte degli occupanti di detta unità immobiliare.

**Tabella A - Classificazioni, degli ambienti abitativi (art. 2)**

- categoria A: edifici adibiti a residenza o assimilabili;
- categoria B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili;
- categoria C: edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili;
- categoria D: edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili;
- categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;
- categoria F: edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili;
- categoria G: edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili.

**Tabella B - Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici**

Categorie di cui alla Tab. A	Parametri				
	R'w(*)	D <sub>20,0</sub> T <sub>10</sub>	L'f,w	L <sub>ASmax</sub>	L <sub>ASeq</sub>
1. D	55	45	58	35	25
2. A, C	50	40	63	35	35
3. E	50	48	58	35	25
4. B, F, G	50	42	55	35	35

Fig. 1 | Estratto D.P.C.M. 5 dicembre 1997 - Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici - Tabella A e B

**Protezione al fuoco:** per limitare la probabilità di incendio della facciata e la sua successiva propagazione. Da valutare quindi la classe di reazione al fuoco delle componenti e le modalità di messa in opera delle stesse. L'impiego di materiali con classe di reazione al fuoco B o superiore garantisce un ottimale comportamento al fuoco della chiusura opaca. Le pareti costituite da strati risultano performanti anche qualora uno strato di migliore reazione al fuoco venga utilizzato come elemento protettivo verso un elemento di reazione al fuoco inferiore. Da attenzionare anche il rischio, in caso di incendio, della caduta rovinosa di parti di facciata che possono quindi compromettere l'esodo in sicurezza degli occupanti e l'intervento delle squadre di soccorso.

**Leggerezza e comportamento meccanico:** non si evidenziano ridotte prestazioni meccaniche rispetto ai più tradizionali sistemi costruttivi "umidi". Le pareti a secco sono inoltre caratterizzate da un ottimo comportamento anche nei confronti del sisma, grazie alla ridotta massa degli elementi e alla duttilità e resilienza che ne consegue. Le valutazioni del comportamento meccanico delle chiusure opache a secco tengono conto non solo del comportamento globale della parete ma anche di alcune analisi puntuali, basti pensare ad involucri ventilati, dove il paramento esterno di finitura risulta ancorato con un sottoreticolo direttamente alla parete a secco: in questo caso l'orditura portante della parete dovrà essere opportunamente studiata, dimensionata e posizionata per costituire il corretto supporto al rivestimento di facciata. Il comportamento meccanico della facciata tiene inoltre conto di altre azioni agenti, quali i carichi antropici, termici, urti etc.

**Velocità di installazione:** la rapidità di posa degli elementi a secco è frutto di un'attenta programmazione delle fasi progettuali e delle forniture in cantiere. Si annullano i tempi di attesa di asciugatura tipici delle pareti umide. Attraverso lo studio delle fasi di assemblaggio è inoltre possibile semplificare la gestione dell'avanzamento del cantiere, ridurre le attività di pulizia, gli scarti, con il conseguente risparmio anche in termini economici. Risparmio da intendersi come riduzione dei tempi a parità di qualità del manufatto. Il sistema costruttivo è dotato di grande flessibilità, ottenibile grazie ad un'elevata integrazione che sin dalle fasi di sviluppo progettuale (preliminare, definitivo, esecutivo e costruttivo) racchiude tutti gli aspetti di coordinazione tra il progetto architettonico, strutturale ed impiantistico (eventualmente con approcci di tipo BIM). La flessibilità dell'opera è inoltre estesa al concetto di modifica in corso d'opera: recepire eventuali modifiche durante le fasi di cantiere risulta altrettanto perseguibile attraverso lo smontaggio/rimontaggio delle medesime componenti.

**Riuso dei materiali:** uno tra i vantaggi delle costruzioni a secco, è appunto l'ecosostenibilità. Il tema dell'impatto ambientale, inteso come energia incorporata e riciclabilità di prodotti e materiali, deve anche essere riferito ed esteso alle filiere produttive delle materie prime. Per fare un esempio, il sistema LCA "*Life Cycle Assessment*" consiste appunto in una valutazione dell'impatto ambientale sulla base della quantità di energia e di materia prima necessaria per ogni fase di vita di quel prodotto "*from cradle to gate*". Gli aspetti legati al LCA accompagnano il progettista ad un approccio consapevole di progettazione a basso impatto ambientale.

**Manutenzione:** Se pure è vero che una progettazione mirata concorre nella durabilità dell'opera (pensiamo alla sottostima del problema della corrosione per le componenti in acciaio, oppure al rischio di attacco di organismi biologici, funghi, termiti, oppure umidità per quanto riguarda le strutture in legno), l'organizzazione dei piani di manutenzione ordinaria e straordinaria sono di fondamentale importanza per mantenere i livelli prestazionali dell'organismo edilizio nel tempo. Segue la scelta corretta dei materiali in ambito realizzativo e quindi il corretto impiego dei materiali durante la fase di posa. Oltre a quanto sopra, è di particolare importanza la scelta delle superfici più esposte riferite al tema della pulibilità (capacità di accumulare acqua, superfici trattate, etc.) quindi alla resistenza agli agenti climatici, UV, resistenza alle piogge acide e agli agenti chimici della "componente" involucro.

In aggiunta alle prestazioni indicate in precedenza, un'attenta progettazione dell'involucro deve tenere conto degli aspetti legati alla protezione contro vento, intemperie e pioggia battente oltre agli aspetti legati alla permeabilità all'aria delle strutture e alla diffusione del vapore e al comportamento che ogni strato ha rispetto a questo parametro. È noto infatti che, in particolari condizioni ambientali è possibile notare la formazione di condensa sulle componenti esposte verso l'esterno derivante da una non efficace convezione o diffusione del vapore verso l'esterno a seguito di una progettazione non sempre attenta e mirata. Esempi costruttivi che influenzano questi aspetti sono a titolo di esempio le chiusure a secco la cui stratifica inibisce il passaggio di vapore

a seguito di errate valutazioni sui coefficienti di resistenza alla diffusione di vapore ( $\mu$ ) e  $S_a$ . Senza dilungarci ulteriormente rientrano in elenco anche numerosi altri requisiti quali chiaramente la sicurezza durante l'uso, l'attrezzabilità, l'aspetto (planarità, omogeneità di colore, di riflettanza e di "insudiciamento", assenza di difetti superficiali, etc.), flessibilità (di finitura, di prestazione, di uso, etc.), sicurezza ai fenomeni elettrici ed elettromagnetici, per citarne alcuni.

### 3. MATERIALI E TECNOLOGIE COSTRUTTIVE

Parlando di involucro edilizio a secco, vale la pena elencare quali sono i principali materiali isolanti applicabili e utilizzabili come componenti delle chiusure opache. I materiali isolanti con la funzione di controllo termico, possono essere distinti sulla base di fibre minerali (vetro o roccia), roccia espansa, argille cotte e laterizi, cementi cellulari (silico-calcici), plastiche espanse (polistirene, poliuretano, urea-formaldeide, etc.), fibre naturali (lana, cotone, altri derivati del legno variamente collegati tra loro) e i materiali compositi, spesso isolanti termo-acustici, in grado di garantire anche determinate proprietà meccaniche in funzione della specifica composizione. All'elenco di cui sopra, è tuttavia opportuno citare anche le cavità, o meglio le intercapedini di separazione tra due superfici a temperatura differente, le quali offrono un contributo sensibile nei confronti dell'isolamento termico. All'interno dell'intercapedine si instaurano scambi di calore per irraggiamento (le due superfici stabiliscono uno scambio dovuto a fenomeni radiativi che seguono la legge di Planck (corretta), per conduzione e per convezione dello strato di aria che satura la cavità (funzione della dimensione dell'intercapedine stesso): trattando la superficie interna dell'intercapedine con materiali basso emissivi si ottiene un miglioramento delle prestazioni, viceversa, saturando la cavità con un materiale isolante (non trasparente) si riducono gli scambi di irraggiamento e quelli di convezione aumentando ci contro la conduzione.

#### Fibre di roccia o di vetro

La materia prima che costituisce la ricetta è sostanzialmente il vetro di scarto additivato con minerali di aggiunta (quarzo, quarzite, dolomite, feldspato con soda e boro), rocce silicatiche e rifiuti (loppe, ceneri, etc.). L'impasto fuso viene poi ridotto in fibre sottili che sotto l'azione di pressione o forze centrifughe rende le fibre orientate meno casualmente a formare un intreccio simile al filato. Questi isolanti trovano svariati impieghi in edilizia per via dei costi contenuti e per le prestazioni che variano dall'isolamento termo-acustico, all'ottima permeabilità al vapore, ridotto assorbimento capillare, resistenza alle alte temperature, stabilità dimensionale (dilatazione termica contenuta - circa  $2 \mu\text{m}/\text{mK}$ ), durabilità, lavorabilità. Le lane sono inoltre dotate di discreta resistenza a compressione se addivate con prodotti ad alto peso specifico che agiscono modificando la densità del materiale finito. Per quanto riguarda la lana di vetro, la percentuale di materiale riciclato utilizzato per la produzione è pari al 95% di materie prime naturali e riciclate (dal 50% all'80% di vetro riciclato). Riciclabilità del prodotto pari al 100%. A partire dagli anni ottanta IARC - International Agency for Research on Cancer - classificò le fibre

sintetiche minerali come potenzialmente cancerogene. A partire da quel momento la tossicità delle fibre è stata oggetto di numerosi studi e ricerche che hanno portato alla revisione sia delle “ricette” degli impasti che delle dimensioni delle fibre. Densità del materiale compresa tra  $10\div 200 \text{ kg/m}^3$  e conduttività di  $0,032\div 0,054 \text{ W/mK}$ .

#### **Argilla espansa**

Prodotto dalla cottura di argilla all'interno di forni rotativi a temperature superiore ai  $1200^\circ\text{C}$ . I granuli di argilla hanno una struttura cellulare che conferisce leggerezza e isolamento termico mentre l'esterno poroso contribuisce alla non impermeabilità del materiale. Hanno una densità che si aggira intorno ai  $300\div 500 \text{ kg/m}^3$  e una conduttività di  $0,11\div 0,15 \text{ W/mK}$ .

#### **Perlite espansa**

Di colore bianco, si presenta relativamente impermeabile, termoisolante e fonoassorbente. La materia base è la perlite, una roccia vetrosa, che viene frantumata e lavorata ad alte temperature ( $800\div 1000^\circ\text{C}$ ) ottenendo un materiale molto leggero, incombustibile e dotato di buona capacità meccanica. Densità pari a  $80\div 120 \text{ kg/m}^3$  e una conduttività di  $0,05\div 0,06 \text{ W/mK}$ .

#### **Vermiculite espansa**

Minerale alterato di origine micacea, contiene silicati, alluminati di magnesio e ferro idratati. Quando il materiale viene portato ad alte temperature le molecole di acqua poste all'interno della struttura cristallina si espandono modificando il volume di oltre 10-20 volte. Essendo il materiale di origine minerale, è possibile il rischio di radioattività naturale oltre al rischio di contaminazione da fibra di amianto. Densità pari a  $80\div 100 \text{ kg/m}^3$  e una conduttività di  $0,06\div 0,09 \text{ W/mK}$ .

#### **Vetro cellulare sfuso**

Prodotto non solo in blocchi o pannelli ma anche impiegato come materiale sfuso in granulati utilizzati come riempitivo in intercapedini e cavità. Pesa tra i 100 e  $200 \text{ kg/m}^3$ . Conduttività inferiore a  $0,1 \text{ W/mK}$ .

#### **Silicati di calcio**

A partire dalla sabbia di silice fine e dal calcare, l'impasto viene mescolato con acqua e fatto stagionare ad alta pressione con vapore. La reazione di idratazione che si innesca nel carbonato di calcio e nella silice genera silicati calcici idrati (S-C-H), prodotti stabili termicamente e chimicamente dotati di buona resistenza meccaniche. Il materiale non è da confondersi con il calcestruzzo alveolare autoclavato (AAC) meglio noto con il nome di Gasbeton.

#### **Polistirene EPS-XPS**

La maggior parte dei polimeri può essere prodotta sotto forma di schiuma con proprietà isolanti grazie all'introduzione di agenti espandenti durante il processo di polimerizzazione. Il polistirene, insieme al poliuretano, polietilene, PVC e resine fenoliche, è uno di questi. Densità  $15\div 50 \text{ kg/m}^3$ . Conduttività di  $0,035\div 0,05 \text{ W/mK}$ .

#### **Poliuretano**

In funzione dell'agente espandente è possibile modulare sia le

proprietà termiche (raggiungono valori anche molto bassi) sia quelle meccaniche (rendendo il materiale molto resistente). In alternativa il poliuretano può essere prodotto a partire dall'olio di soia, ed è per questo che il PU è commercializzato anche come prodotto naturale. Il processo di espansione e polimerizzazione può essere riprodotto anche in cantiere, rendendo molto flessibile il suo impiego attraverso processi di schiumatura in intercapedine oppure come materiale riempitivo. Densità  $15\div 50 \text{ kg/m}^3$ . Conduttività di  $0,025\div 0,05 \text{ W/mK}$ .

#### **Lana di pecora**

È una fibra naturale ottenuta dalla tosatura annuale del pelo dell'animale o da lane di recupero. Una volta tagliata, la lana viene lavata con sapone naturale e carbonato di sodio per rimuovere grasso ed impurità. Le lavorazioni possono essere in pannelli, rotoli oppure sfusa. Riciclabile al 100%. Il materiale ha un'elevatissima permeabilità al vapore e un'elevata capacità di assorbimento di acqua (fino al 33% del suo peso). La reazione al fuoco del materiale è buona (Euroclasse A1 - autoestinguente). È resistente al degrado per umidità se trattato con appositive pesticidi naturali. Densità  $60\div 120 \text{ kg/m}^3$ . Conduttività termica pari a  $0,046\div 0,082 \text{ W/mK}$ .

#### **Cellulosa**

Il prodotto di partenza è la polpa di legno sbiancata (processo chiamato ossigenazione) con fibre sintetiche (5%-10% viscosa) oppure fibre provenienti dal riciclo della carta di giornali o prodotti similari. Le proprietà di resistenza meccanica e resistenza al fuoco sono pressoché inesistenti. Soffre l'umidità, quindi laddove venga inserita come materiale di riempimento per intercapedini delle pareti a telai in legno, il progettista dovrà tenere conto di specifiche valutazioni sul rischio di formazione di condensa interstiziale nella stratigrafia. Il prodotto può essere insufflato all'interno delle pareti e lo spessore regolarizzato con rullatura della superficie prima della posa dei pannelli di placcatura.

#### **Isolanti di cotone**

Composto da fibre di cotone (e/o denim riciclate) è dotato di buone proprietà termo-acustiche. Scarse le proprietà meccaniche del materiale. Per migliorare il comportamento al fuoco, Euroclasse B1/B2, i fiocchi di cotone vengono impregnati con sali di boro durante la fase di produzione. Per produrre pannelli o rotoli, il cotone viene cardato, indurito meccanicamente e infine impregnato. Come per la cellulosa, è solitamente impiegato come isolante da insufflare nelle cavità. In pannelli è disponibile fino a spessori di 20 cm. Densità  $20\div 60 \text{ kg/m}^3$ . Conduttività termica pari a  $0,040 \text{ W/mK}$ .

#### **Pannelli in fibre di legno**

Buona resistenza sia termica che meccanica. Lavorati a partire da fibre di legno di recupero di spessori e dimensioni variabili, sono altamente riciclabili (oltre 90%) e per produrli spesso vengono utilizzati legnami provenienti da foreste controllate nel rispetto delle direttive internazionali. La lavorazione dei bordi dei pannelli può essere migliorata con la formazione di giunti in battuta che migliorano il comportamento di tenuta dell'isolante. I processi produttivi permettono anche la realizzazione di materassini “leggeri” fino a spessori superiori ai 10 cm. Tenuto conto dell'ottima

compatibilità con le varie finiture tradizionali, i pannelli in fibra di legno sono disponibili anche nelle versioni prefinite, con gesso/fibra o similare. Densità 200÷250 kg/m<sup>3</sup>. Conduttività termica pari a 0,05÷0,06 W/mK.

#### **Sughero e paglia**

Materiali impiegati in quantità minore rispetto a quelli in elenco, sono in ogni caso dotati di buone prestazioni termiche (Conduttività 0,045÷0,06 W/mK). A differenza della paglia, il sughero ha un buon comportamento meccanico e di resistenza al fuoco. La paglia viene fornita pre-accoppiata in forma di pannelli prefabbricati in legno pronti per la posa in opera.

#### **Canapa, fibre di juta, cocco**

Le prestazioni di resistenza al fuoco sono basse (la juta può essere additivata con fosfato di ammonio) ma è buona la resistenza rispetto al degrado (fibre di cocco). La canapa presenta fibre prive di proteine pertanto non subisce aggressioni da insetti e roditori. Solitamente i pannelli hanno un contenuto di fibra naturale superiore al 90% e oltre ad essere completamente riciclabile hanno un calore specifico superiore alle lane minerale ( $c = 1700 \text{ J/kgK}$  – per la juta 2350 J/kgK) contribuendo quindi al raffrescamento estivo degli edifici (a parità di condizioni). L'impiego della canapa è particolarmente indicato per ambienti umidi (l'assorbimento di acqua viene compensato da un lento rilascio nel tempo). Se opportunamente combinato, la traspirabilità del materiale evita l'insorgere di condensa interstiziale. Densità 20÷80 kg/m<sup>3</sup> (fibre di cocco fino a 160 kg/m<sup>3</sup>). Conduttività termica pari a 0,04÷0,06 W/mK.

#### **Fibre di lino**

Le fibre di lino sono tenute insieme da collanti naturali non putrescibili. Eventualmente è possibile modificare la composizione degli impasti introducendo resine termoplastiche che migliorano la stabilità del prodotto finito. Il materiale è dotato di ottima permeabilità al vapore, assorbe buone quantità di acqua mantenendo inalterata la durabilità nel tempo. Densità 150÷200 kg/m<sup>3</sup>. Conduttività 0,04 W/mK.

#### **PSE nero**

Questi tipi di isolanti rientrano nella categoria denominata "Isolanti non convenzionali". Il PSE nero, deve la sua colorazione alla presenza della grafite che, essendo riflettente e basso emissiva, riduce i flussi termici per irraggiamento tra cella e cella. Oltre al limitato trasporto di calore per convezione, il principio di funzionamento degli isolanti non convenzionali si estende sugli altri due meccanismi di trasporto del calore, ovvero alla capacità di variare la selettività e l'emissività al variare della lunghezza d'onda (come avviene per i coating basso emissivi e selettivi nei vetrocamera) e l'ulteriore riduzione della conduzione all'interno del gas per via delle dimensioni nanometriche delle celle cave. Questo tipo di materiale può essere accoppiato a lastre tipo gesso rivestito con l'introduzione di speciali cartoni di supporto utilizzati come base per l'incollaggio del sandwich.

#### **Isolanti "radiativi"**

Sono isolanti termo-acustici di tipo radiante, composti solitamente da due o più strati di polietilene a bolle d'aria termosaldati all'interno e rivestiti da due film metallici (tipo alluminio) all'esterno, per uno spessore totale molto ridotto ed inferiore al centimetro e peso approssimativo intorno ai 500 g/m<sup>2</sup>. La presenza del film metallico permette di riflettere il calore e quindi ridurre le dispersioni energetiche esaltando l'isolamento termico. Sono applicati su un supporto rigido (es. struttura timber frame) per mezzo di nastature (mono e biadesivo) oppure fissati meccanicamente (graffatura, etc). Durante la progettazione e posa di questi materiali è necessario porre molta attenzione alle discontinuità e sulla gestione dei giunti, dei raccordi e delle interfacce.

#### **Pannelli sotto vuoto**

Il corpo centrale del pannello è di tipo rigido (polveri di silicato compresse e microporose) oppure celle aperte a base PUR rivestito esternamente con un film sottilissimo (40 nm) di alluminio sigillato lungo il perimetro. Il pannello così composto viene poi messo sottovuoto (vacuum insulating panel) ottenendo valori di conduttanza termica equivalente dell'ordine di 0,004 W/mK. All'interno del pannello lo scambio termico è solo per irraggiamento e conduzione.

#### **Aerogel**

Molto leggeri, dalla consistenza solida simile a quella di un gel, sono composti dal 98% di aria e 2% di silicio amorfo. All'apparenza è una schiuma solida in grado di resistere ad altissime temperature ed è inoltre un ottimo isolante termico. Per questo motivo l'impiego in edilizia di questo materiale avviene sotto forma di pannelli con proprietà di isolamento termico e resistenza al fuoco. La stratigrafia del pannello è composta da uno strato nanotecnologico di aerogel, accoppiato ad una membrana traspirante in polipropilene armato con fibra di vetro per uno spessore complessivo nell'ordine dei 10 mm. I pannelli sono idrofobici ma al contempo dotati di traspirabilità al vapore acqueo. Conduttività termica estremamente bassa pari a 0,015 W/mK.

La lunga lista dei materiali isolanti disponibili per le applicazioni edilizie, rappresentano una sfida per il tecnologo che si trova ad approfondire le tematiche legate alla progettazione dell'involucro edilizio. Non solo quindi la scelta del semplice materiale, ma anche lo studio delle stratigrafie e come l'accoppiamento di diversi materiali porta al raggiungimento dei livelli prestazionali delle superfici disperdenti.

I sistemi costruttivi a secco per l'involucro si distinguono innanzitutto per la posizione che la chiusura opaca occupa rispetto alla linea dei solai. È possibile quindi identificare costruzioni tra solai, quando la chiusura è posizionata in completo appoggio sulla soletta, oppure costruzioni esterne ai solai, quando la chiusura è realizzata con giacitura completamente esterna ai solai. Le prime sono solitamente combinate con ulteriori sistemi, come ad esempio facciate ventilate oppure cappotto, le seconde sono ideali per la riduzione dei ponti termici in quanto "fasciano" completamente il bordo orizzontale dell'impalcato (figura 2).

Parete applicata tra i solai

Facciata ventilata

Parete applicata esternamente ai solai

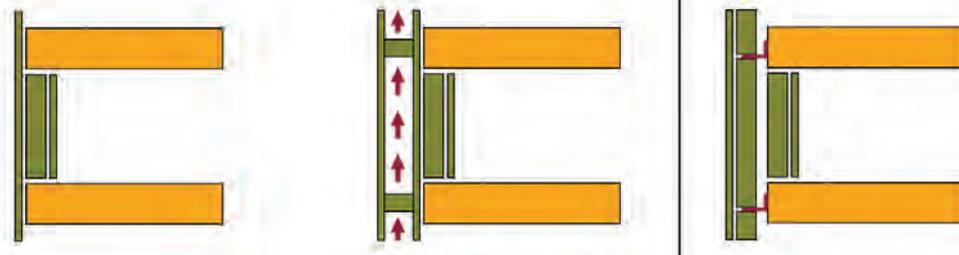
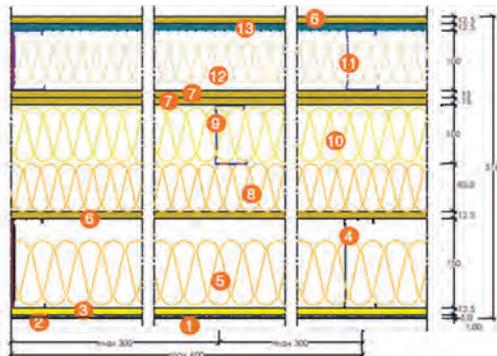


Fig. 2 | Sistemi costruttivi installati tra solai e costruzioni esterne ai solai

Indipendentemente dagli accorgimenti che possono o meno essere introdotti per vincolare le chiusure opaca alle strutture principali dell'edificio, i sistemi costruttivi a secco che verranno trattati nel proseguo dell'articolo interesseranno:

- sistemi costruttivi a secco con sottostrutture metalliche;
- sistemi costruttivi a secco a base legno.



Descrizione Componenti	Sp. Larghezza [mm]	
1 TONACHINO PLUS 1,2 mm + BASE COAT	1	
2 Rasante	5	
2 Lastra - A1 - Tipo D E F H1 I R	12,5	
4 Montanti sp. 0,6 mm dorso dorso interasse 600 mm	150	
Guide sp. 0,6 mm tasselli interasse 500mm		
5 Lana di roccia d=110 kg/m3	120	
6 Lastra - A2-s1,d0 - Tipo D E F H1 I R	12,5	
7 Lastra - A2-s1,d0 - Tipo A	12,5	
8 Lana di roccia d=70 kg/m3	80	
9 Montanti sp. 0,6 mm Interasse 600 mm	100	
Guide sp. 0,6 mm tasselli interasse 500mm		
10 Lana di vetro d=32 kg/m3	95	
11 Montanti sp. 0,6 mm Interasse 600 mm	100	
Guide sp. 0,6 mm tasselli interasse 500mm		
12 Lana di vetro d=13 kg/m3	70	
13 Lastra - A2-s1,d0 - Tipo A		
<b>SPESORE TOTALE (SI)</b>		<b>511</b>

- Nastro in rete/carta per l'armatura dei giunti interni, stucco a base gesso
- Rete per rasatura della facciata
- Viti da 32 mm, interasse max 200 mm
- Viti punta chiodo 25 mm e 35 mm
- Nastro monoadesivo da applicare su tutto il perimetro della struttura metallica.

Fig. 3 | Esempio di stratigrafia a secco su orditura metallica (estratto scheda tecnica tipologica)



Fig. 4 | Fasi di cantiere per la realizzazione di involucro opaco su orditura metallica

### 3.1 Sistemi costruttivi con sottostrutture metalliche

Questi sistemi costruttivi si caratterizzano per avere una sottostruttura metallica in elementi in acciaio zincato e una pelle esterna che può essere costituita da lastre intonacabili in cemento, o cemento rinforzato all'esterno e in cartongesso o gesso fibra sul lato interno (figura 3).

Nell'intercapedine interna è possibile inserire materiale termoisolante garantendo la dovuta flessibilità anche per l'integrazione impiantistica della parete (figura 4). L'impiego di un'ossatura in acciaio è senz'altro una scelta ecosostenibile, in quanto il materiale è riciclabile al 98% e alimenta all'infinito il processo di economia circolare - life cycling.

Spesso si legge che una casa in acciaio coibentata possa far risparmiare più del 30%: chiaramente da un punto di vista dell'ingegneria dell'involucro questa affermazione deve essere letta non solo come la selezione di un sistema costruttivo efficiente rispetto ad un altro, ma anche e soprattutto, all'integrazione tra sistemi quindi secondo il principio della progettazione integrata. Per raggiungere spessori sufficienti a garantire il rispetto delle prestazioni tipiche di una superficie disperdente ottimizzata, spesso la sottostruttura del tamponamento è realizzata con doppia orditura metallica leggera, costituita da profili a C laminati a freddo in lega

di acciaio. La doppia orditura metallica consente di eliminare il ponte termico dato dalla posizione dei profili stessi, oltre che a gestire lo spessore della chiusura opaca avvolgendo le strutture di supporto principali quali pilastri e teste dei solai (figura 5).

Tra le leghe di acciaio più utilizzate per i profili di orditura metallica la combinazione zinco magnesio dell'acciaio offre ottime garanzie in termine di resistenza alla corrosione. Il processo produttivo avviene per immersione a caldo del profilo di acciaio nelle vasche di trattamento, nella quale è possibile aggiungere alluminio e magnesio per conferire la protezione di anticorrosione catodica dello strato di zinco. Il rivestimento interno è composto da lastre in fibra di gesso, eventualmente unite e rinforzate con prodotti in fibra di carta/cellulosa.

Tra paramento esterno e orditura viene solitamente interposto uno strato di tessuto con funzione di barriera all'acqua e traspirante al passaggio di vapore dall'interno verso l'esterno della parete. Il tessuto viene fissato provvisoriamente sulle ali dei profili metallici mediante l'utilizzo di nastri adesivi, o biadesivi, sovrapponendo "a tegola" gli strati per circa 100-150 mm prima della nastratura (figura 6). Questi manti, in funzione del produttore, hanno inoltre un lato specifico per l'esterno solitamente individuabile data la presenza di marchi o indicazioni visive. La continuità dello strato

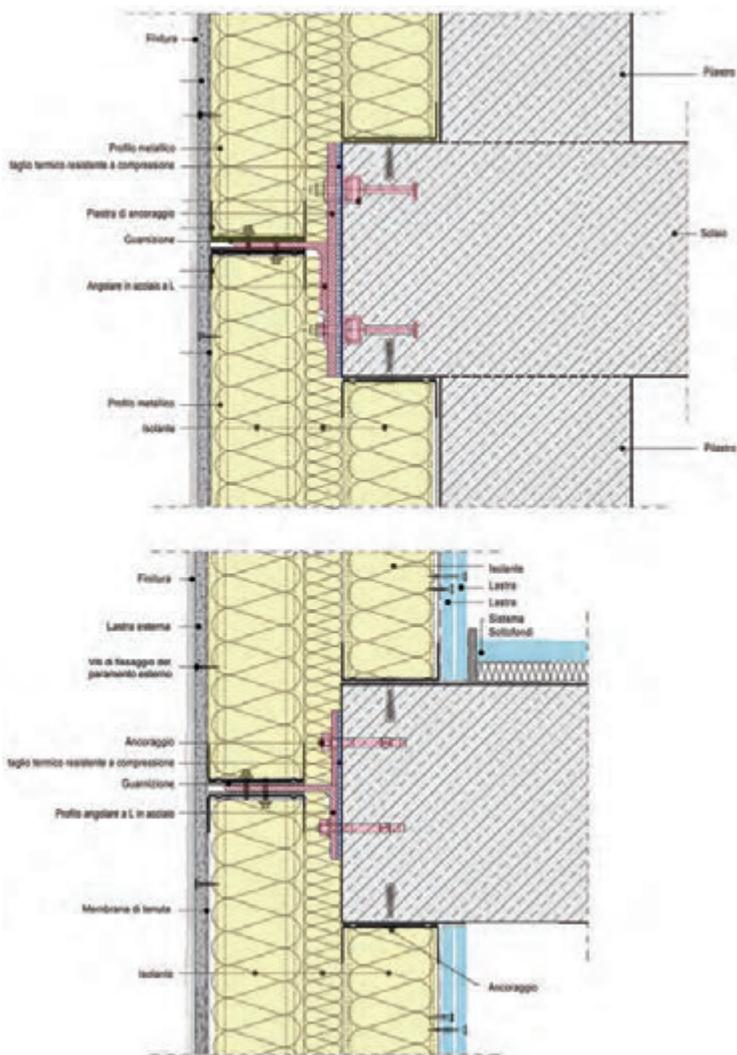
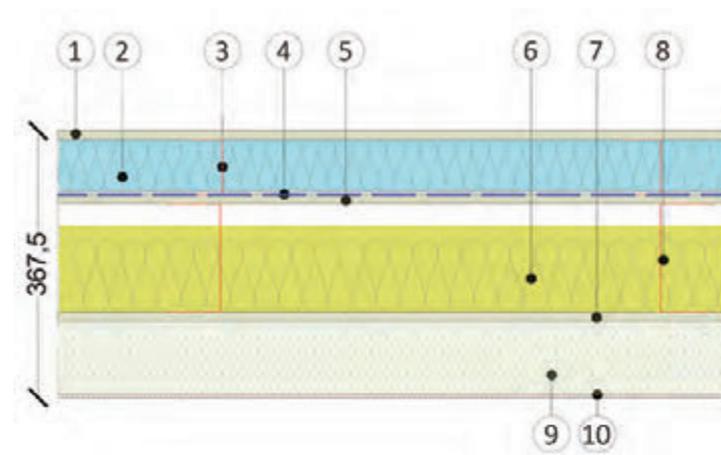


Fig. 5 | Soluzioni costruttive per il collegamento della chiusura opaca a ridosso della struttura a solaio



#### LEGENDA:

- 1 FIBROGESSO - BORDO RIBASSATO sp. 12,5 mm
- 2 LANA di VETRO sp.70 mm
- 3 GUIDE E MONTANTI in LAMIERA ZINCATA 40/75/40 sp. 0,6 mm
- 4 TELA IGROVARIABILE E NASTRO
- 5 CARTONGESSO sp. 12,5 mm
- 6 LANA di ROCCIA sp. 120 mm
- 7 FIBROCEMENTO sp. 12,5 mm
- 8 GUIDE E MONTANTI in AL 50/150/50 sp. 0,8 mm
- 9 PANNELLO in LANA di ROCCIA sp. 100 mm
- 10 COLLANTE sp. 5 mm
- 10 RETE
- 10 TONACHINO ACRILICO gr. 1,2

Fig. 6: Dettaglio costruttivo tipologico in sezione orizzontale - struttura a secco su supporto metallico

di tenuta dovrà poi essere ripetuta in corrispondenza dei vani di apertura (porte, finestre, etc.) andando così a raccordare lo stesso evitando discontinuità nella chiusura.

Ricordiamo che la progettazione di chiusure opache a secco deve tenere conto della presenza di eventuali giunti di dilatazione presenti nella sottostruttura e nel paramento. Per quanto riguarda l'orditura di sostegno, i giunti si otterranno con la completa interruzione della struttura metallica, sia delle guide ad U sia dei profili a C, mentre per quanto riguarda il rivestimento, il giunto dovrà essere riempito con un sigillante (di riferimento la classificazione dei sigillanti secondo norma UNI 11600 e UNI 11296 che tratta il tema della compatibilità) eventualmente irrigidito dal profilo porta giunto in materiale plastico (es. PVC con anima elastica - figura 7). Ulteriori accorgimenti legati alle dilatazioni del sistema costruttivo interessano il raccordo di giunto tra lastre, in particolare si raccomanda (è buona norma) di lasciare una certa distanza (circa 3/4 mm) tra una lastra e l'altra per consentire un adeguato alloggiamento dello stucco - filler - fino al retro della superficie e garantire pertanto un'adeguata resistenza meccanica (evitando così fenomeni fessurativi e la formazione di cavillature). L'accorgimento appena descritto viene suggerito per i giunti longitudinali (lati lunghi) mentre sui lati trasversali (lato corto della lastra) è possibile realizzare un giunto parzialmente in accosto. Lo stucco posizionato nei giunti dovrà inoltre essere rinforzato con l'impiego di nastri in rete di fibra di vetro, o similare, in grado di resistere agli alcali, compatibile con l'eventuale rasatura finale. A sua volta la rasatura dovrà essere regolarizzata avendo cura di rispettare uno spessore minimo (indicativamente > 7 mm), e stesa su rete rinforzata in fibra di vetro con peso consigliato superiore ai 200 g/m<sup>2</sup> e maglia 6 x 6 mm con resistenza a trazione nelle due direzioni.

Le lastre di rivestimento comunemente utilizzate in esterno hanno uno spessore indicativo a partire da 12,5 mm e sono dotate di buone prestazioni meccaniche (modulo elastico  $E > 4000 \text{ N/mm}^2$ , resistenza a flessione  $\approx 10 \text{ MPa}$ , resistenza a taglio  $> 600 \text{ N}$ , resistenza alla trazione perpendicolare al piano della lastra  $\approx 1 \text{ N/mm}^2$ , densità  $\approx 150 \text{ kg/m}^3$ ). Nella scelta della tipologia della lastra di rivestimento sono inoltre importanti altri fattori, come la resistenza al passaggio di vapore, la stabilità dimensionale dovuta

alla presenza di inerti minerali e leganti cementizi esenti da gesso, eventuale presenza di fibre di rinforzo nella miscela, etc. La classe di reazione al fuoco delle lastre è nella maggior parte dei casi pari ad A1/A2 (incombustibile secondo le indicazioni della norma EN 13051). Conducibilità termica 0,35 W/mK.

Vale la pena ricordare l'importanza di scegliere adeguati fissaggi meccanici opportunamente posizionati alle giuste distanze (solitamente 200/250 mm) e oggetto di calcolo meccanico di dimensionamento in funzione dei carichi di esercizio che insistono sulla parete. La scelta delle viti, oltre che per tipologia, sarà inoltre distinta in funzione della classe di resistenza alla corrosione secondo le categorie indicate dalla norma EN 12944 (es. categoria C4).

### 3.2 Sistemi costruttivi in legno

Gli edifici progettati con l'impiego del legno possono essere realizzati mediante differenti sistemi e/o tecnologie. Una prima categorizzazione è fatta tra costruzioni di tipo leggero e costruzioni di tipo massiccio.

Nelle realizzazioni di tipo massiccio, lo strato isolante è separato dalla struttura portante mentre, nelle costruzioni di legno di tipo leggero, l'isolamento e la struttura portante si trovano nello stesso piano. Le costruzioni di legno di tipo massiccio generalmente non necessitano di barriera al vapore, in quanto possiedono elevata massa in grado di immagazzinare un'alta capacità di energia. Il tipo di legno che comunemente viene impiegato è il legno di Conifera, accanto al legno di Abete Rosso, Larice e Douglasia.

Per tutte le modalità realizzative valgono i seguenti concetti fondamentali:

- Rimanere asciutto per avere un'ottima durabilità;
- Asciugatura rapida in seguito a bagnature;
- "Vitalità" del materiale legno legata alla variazione di temperatura e umidità;
- Le caratteristiche meccaniche dipendono dal tipo di legno impiegato e dalla giacitura delle fibre.

In entrambi i sistemi costruttivi è possibile concepire liberamente le facciate esterne ed il rivestimento interno. Al fine di raggiungere elevate prestazioni termoacustiche, di comfort abitativo e durabilità della struttura/edificio ricordiamo gli aspetti fondamentali legati

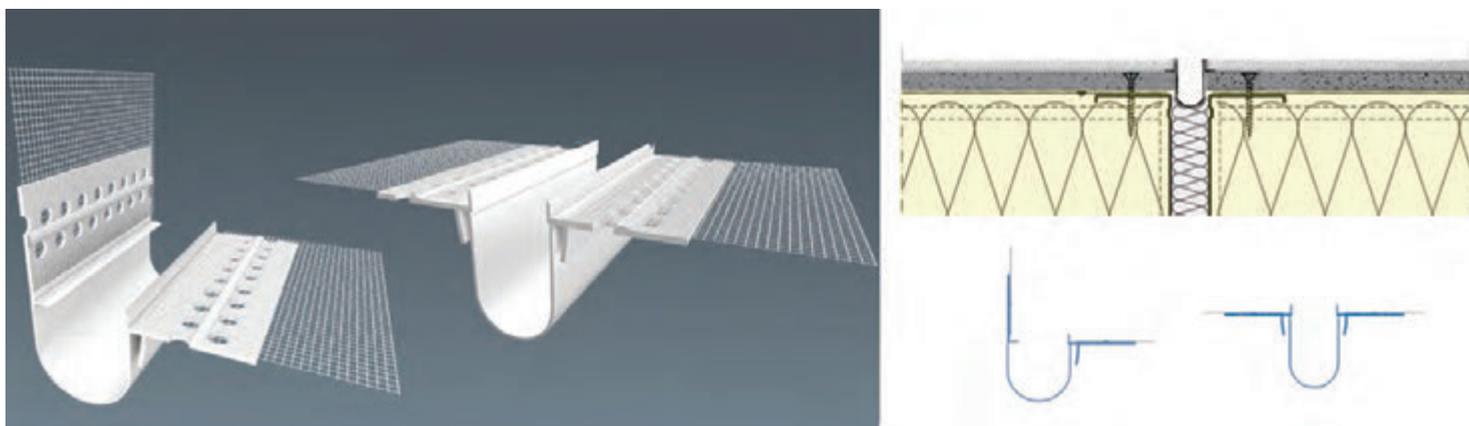


Fig. 7 | Esempio di profilo per giunti di dilatazione a forma V e E impiegato in corrispondenza di giunti di dilatazione sul paramento cieco in lastre - Rif. EJOT e KNAUF

alla tenuta all'aria/acqua della soluzione impiegata, quindi ancora una volta lo sforzo nella fase progettuale per quanto riguarda la redazione di nodi e dettagli costruttivi in capo al progettista del sistema.

Sistemi massicci:

- tecnica del tronco sovrapposto o blockbau
- pacchetti di tavole parallele
- legno compensato di tavole (CLT)

Sistemi leggeri:

- ossatura portante in legno
- tralicci in legno
- strutture intelaiate (timber frame)

### Sistema blockbau

Le costruzioni massicce sono costituite da elementi disposti orizzontalmente che assolvono sia funzione portante che di irrigidimento. Il collegamento allo spigolo dell'edificio viene realizzato mediante intagli tipo coda di rondine o eventuali connessioni di rinforzo in carpenteria classica. La stabilità strutturale è data dall'intaglio delle travi di legno nell'intersezione degli spigoli, dove le pareti si bloccano tra loro. La tecnologia costruttiva, pur avendo origini antiche, si è evoluta nel tempo, ed è solito impiegare travi con scanalature longitudinali a maschio-femmina nelle quali si inseriscono le guarnizioni di tenuta che migliorano il comportamento di tenuta all'aria ed acustico (figura 8). Le aperture delle finestre vengono solitamente rinforzate mediante spinotti, barre filettate e rondelle a sezione quadrata in fori circolari.

### Sistema a pacchetti di tavole tra loro parallele

Elementi costruttivi massicci di tipo piano costituiti da tavole o lamelle disposte di costa "in piedi" l'una affianco all'altra. Lo spessore di questi elementi coincide con la larghezza delle tavole che solitamente è compresa tra gli 8 e i 12 cm per le pareti, mentre 12 cm e 20 cm per i solai, a seconda delle luci e dei carichi di esercizio. Le tavole sono ricavate dalla porzione esterna del tronco di spessore compreso tra 24 mm e 30 mm, essiccate ( $UR 15 \pm 3 \%$ ) e

piallate, per poi essere successivamente collegate di costa l'una con l'altra mediante una chiodatura continua (o spinotti di legno duro) con la funzione di assorbire gli sforzi di taglio che si generano tra le tavole.

### Sistema costruttivo con tavole di legno compensato e tavole

Il sistema è caratterizzato dall'impiego di elementi massicci piani multistrato che possono assumere anche la funzione portante del fabbricato. Le dimensioni lungo entrambi gli assi principali sono di gran lunga maggiori dello spessore della tavola. Gli elementi piani portanti di compensato di tavole, in base alle condizioni di carico, lavorano a piastra. Lo spessore di un elemento di compensato di tavole a 5 strati utilizzato per un edificio multipiano (max. 3 piani) è di circa 95 mm. Lo spessore minimo non dovrebbe mai essere inferiore a 75 mm. Negli elementi di compensato di tavole, i singoli strati vengono piallati e classificati secondo la resistenza in modo visivo e meccanico. La sezione deve avere una struttura simmetrica. Le singole tavole possono essere incollate sui bordi e giuntate in direzione longitudinale mediante giunti di tipo a pettine (con pannelli di compensato di tavole a 5 strati, spessore compreso tra 125 e 160 mm, si possono coprire indicativamente luci di 4-5 m). I collegamenti in grado di trasmettere gli sforzi sono solitamente affidati ad angolari in acciaio e connettori meccanici quali bulloni, aste filettate incollate, chiodi, spinotti, viti calibrate, etc. La tenuta del giunto nei confronti del vento è garantita dall'incollaggio delle singole tavole, in alternativa si dovrà ricorrere a soluzioni alternative quali profili coprigiunto (in spessore o incassati) oppure con l'impiego di guarnizioni, nastri (figura 9).

Idonei accorgimenti sono da introdurre qualora siano richieste particolari esigenze riguardo il comportamento al fuoco (se non richiesto è sufficiente un rivestimento semplice in cartongesso) mentre dal punto di vista acustico, ricordiamo l'importanza di separare tra loro gli elementi (es. parete e solaio) in modo da interrompere la propagazione del suono attraverso la parete esterna (figura 10).

Si distinguono nella categoria diversi sistemi costruttivi come CLT oppure X-LAM. Questa tecnologia che si è sviluppata nella storia

recente (intorno agli anni '90), si basa sulla sovrapposizione in numero dispari (3, 5, 7 strati) di tavole di legno massiccio (generalmente Abete - classe C24 - in spessori variabile dai 15 ai 40 mm) disposte ortogonalmente e fra loro collegate tramite incollaggio a freddo (colle omologate di tipo poliuretaniche monocomponente senza rilascio di formaldeide oppure colle a base di melammina-urea-formaldeide a basso rilascio di formaldeide). I pannelli sono marchiati CE (con eventuale certificazione PEFC): il produttore attiva il processo di marcatura CE sulla base di



Fig. 8 | particolari della giunzione per sistema costruttivo Blockbau

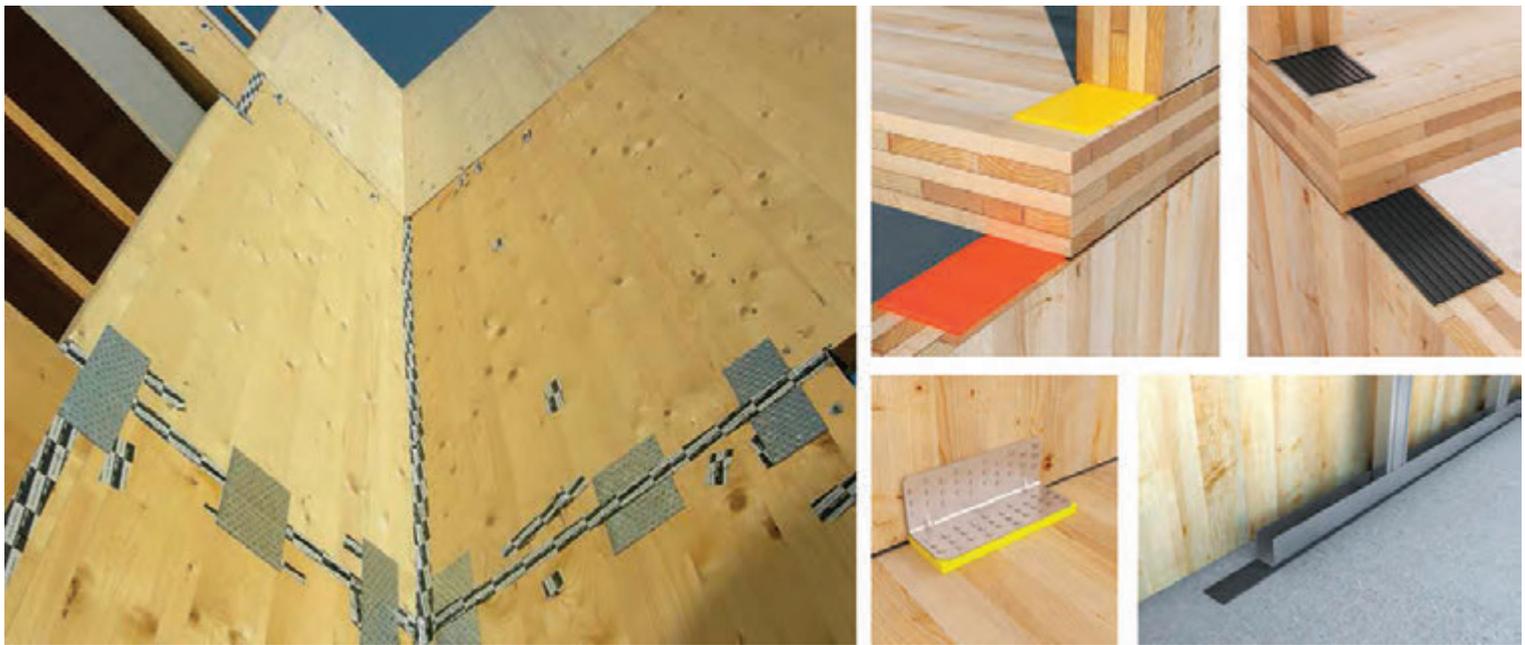


Fig. 9 | Accorgimenti introdotti lungo i giunti di collegamento tra pannelli

specifici Benestare Tecnici Europei (ETA) rilasciati sulla base di una Linea Guida di Benestare Tecnico Europeo (ETAG). I pannelli di dimensioni min. pari a 125 cm, se utilizzati come elemento di tamponamento dell'involucro, assolvono le funzioni di resistenza ai carichi verticali (pesi propri e accidentali), resistenza ai carichi orizzontali agenti sul piano della parete (carico antropico, vento, sisma, etc.). Oltre al giunto pannello-pannello, andranno verificati e progettati i fissaggi di collegamento perimetrali dei moduli. A diverse tipologie di fissaggio corrispondono funzioni meccaniche differenti: sono un esempio l'impiego di viti inclinate poste alla base del pannello che assumono la funzione di vincolo di scorrimento, oppure piastre angolari e staffaggi in acciaio che contrastano l'azione di sollevamento del pannello, hold-down (figura 11).

Vale la pena di ricordare che la durabilità delle strutture in legno è fortemente legata alla sua protezione nei confronti dell'acqua. È necessario infatti introdurre gli accorgimenti necessari per impedire le infiltrazioni dall'esterno, le risalite di umidità dal sottosuolo e le sigillature non idonee.

#### Ossatura portante in legno

A seconda del tipo di costruzione, le luci delle travi principali sono comprese tra 3 e 8 m. Luci comprese tra 3,5 e 4,5 m (5,0 m) sono economicamente convenienti in relazione all'uso dell'edificio: residenziale o ufficio. Le principali caratteristiche del sistema ad ossatura portante sono:

- Flessibilità di utilizzo della pianta dell'edificio (pareti intercambiabile e pareti facilmente spostabili);
- Libertà di organizzazione degli spazi interni sulla base di reticoli e moduli variabili;
- Ossatura portante e pareti non portanti indipendenti - struttura portante immediatamente riconoscibile. I carichi vengono assorbiti da elementi strutturali di tipo lineare;
- Elevato grado di prefabbricazione;
- Irrigidimento per lo più mediante solai con comportamento a piastra, diagonali di acciaio o di legno oppure lastre di parete.

La maggior parte degli edifici sono costruiti secondo un reticolo orizzontale e spesso anche secondo uno verticale. In fase progettuale si

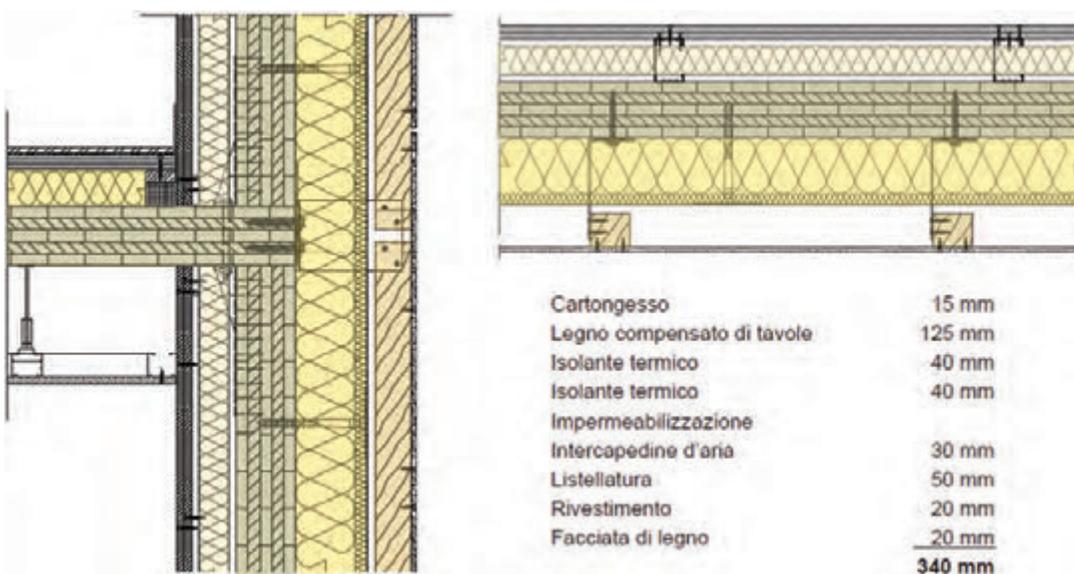


Fig. 10 | Dettagli tipologici in sezione verticale e orizzontale - costruzioni in legno a secco

individua un “modulo tipo” e quindi il reticolo che ne consegue è ottenuto come multiplo di questo modulo. Le dimensioni consuete del reticolo nelle costruzioni ad ossatura portante sono solitamente: 120/120 cm, 120/360 cm, 125/125 cm, 360/360 cm, 480/480 cm.

### Tralicci in legno

Questo tipo di costruzione si è sviluppato in Europa dell’est e centrale, ma anche in Inghilterra, Germania settentrionale, Danimarca e Olanda. Le peculiarità delle costruzioni a traliccio sono:

- Libertà nell’organizzazione: l’ossatura portante viene rivestita da entrambi i lati o rimane a vista da un lato solo;
- Realizzazione di edifici mono o multipiano;



Fig. 11 | Dettaglio al piede in fase di esecuzione – sistema costruttivo X-LAM

- Disposizione fissa per tutti i piani in pianta;
- Avanzamento della costruzione piano per piano;
- Impiego prevalente di connessioni senza elementi meccanici di collegamento (connessioni di carpenteria) con incastri e sovrapposizioni;
- Gli elementi portanti hanno sezioni di grande dimensione e di forme tipicamente quadrangolari;
- I collegamenti vengono sollecitati poco in quanto gli elementi di legno sono posti ad interasse ravvicinato
- Nelle costruzioni a traliccio la trasmissione dei carichi verticali avviene mediante giunti a contatto trasferiti ed assorbiti da elementi di tipo lineare.

### Strutture intelaiate (timber frame)

Questo sistema, conosciuto anche con il nome di “case a telaio” prevede la realizzazione della chiusura verticale attraverso un telaio portante di irrigidimento costituito da elementi rettilinei di legno (montanti) che vengono imbottiti da pannelli e richiusi da lastre. Gli elementi portanti non sono separati da quelli di irrigidimento e tamponamento. Quando gli edifici a struttura intelaiata di legno vengono costruiti piano per piano, si parla convenzionalmente di “Platform Frame” proprio per ricordare la successione delle fasi realizzative a “piattaforma”. Occasionalmente (soprattutto in

America) vengono impiegati anche elementi di altezza pari a più piani, noti con il nome di Balloon Frame. Le contro placcature del reticolo possono essere realizzate mediante l’impiego di pannelli di diversa tipologia quali OSB (Oriented Strand Board) composti da trucioli di legno prevalentemente lunghi e stretti (Strand) di rapporto 10:1 assemblati tra loro mediante colla al fine di migliorarne la resistenza a flessione nella direzione dell’orientamento degli strati esterni (posti parallelamente al lato del pannello). Altra tipologia solitamente impiegata sono i pannelli di particelle (truciolare) composti da trucioli di dimensione fine, uniti tra loro mediante leganti (colle) e additivati con agenti idrofobizzanti, fungicidi, etc., ottenuti attraverso un processo di pressatura in continuo. Il telaio di legno è realizzato con montanti disposti a distanza piuttosto ravvicinata che vengono successivamente rivestiti al fine di realizzarne un elemento tridimensionale a piastra. L’esterno della chiusura viene solitamente completato con un cappotto isolante armato, rasato e tinteggiato (anche in questo caso in fibra di legno, lana minerale, oppure a volte in sughero). La struttura della parete è tipo sandwich di legno con integrato al suo interno gli strati funzionali e di isolamento termo-acustico (l’integrazione impiantistica nella parete è possibile sfruttando le intercapedini disponibili all’interno del reticolo primario del modulo, in alternativa si sfruttano le contropareti interne). La stratigrafia della parete è completata con l’impiego di membrane con la funzione di controllo della migrazione del vapore (barriera al vapore, freno al vapore, membrane traspiranti). L’elemento parete così realizzato possiede un comportamento a telaio controventato, dotato di discreta rigidità ed una ridotta massa strutturale. Sono utilizzate sezioni e materiali di rivestimento standard connessi mediante semplici elementi quali: chiodi, viti, cambrette e bulloni. Pareti, solai e coperture realizzate in questa tecnologia possono essere prodotte in stabilimento a differenti livelli di prefabbricazione e montate in cantiere riducendo notevolmente i tempi e le incertezze della posa in opera (a patto che il progetto costruttivo sia ben definito e completo in ogni sua parte prima dell’inizio dei lavori).

## 4. INTERAZIONE DELLE DISCONTINUITA’ CON LA CHIUSURA OPACA

Un breve accenno sulle relazioni che intercorrono tra i sistemi a secco e le discontinuità rappresentate dai vani e dalle aperture per l’eventuale alloggiamento dei serramenti. Come è noto, le discontinuità tra materiali e le interfacce costruttive tra l’involucro e le sue componenti rappresentano punti critici per cui si richiede una specifica e dettagliata progettazione. Un esempio è lo studio del nodo di collegamento tra il serramento e il vano murario che, convenzionalmente, è progettato secondo tre livelli di protezione nei confronti dell’isolamento termico, acustico e funzionale del serramento (figura 12). Il livello più esterno ha la funzione di tenuta all’acqua o più in generale agli agenti atmosferici. Rientrano tra le funzioni di questo livello anche la traspirabilità nei confronti della migrazione del vapore dall’interno verso l’esterno del nodo. Il livello intermedio ha la funzione di garantire la prestazione termoacustica e il fissaggio meccanico del serramento (la scelta dei materiali impiegati rappresenta il giusto compromesso sia nei confronti dell’una e dell’altra prestazione). Il livello più interno

ha la funzione di tenuta all'aria e controllo del vapore interno degli ambienti (figura 13). Il "piano di permeabilità all'aria interna dell'edificio", che tipicamente è collocato sulle superfici interne dell'edificio e dei giunti, deve essere raccordato con gli elementi di isolamento interno dei locali e deve essere in grado di impedire o regolare il passaggio interno-esterno di umidità, al fine di prevenire il rischio di formazione di condense interstiziali e superficiali e di altri fenomeni degradanti il vano, il prodotto ed il sistema di posa in opera (figura 14). I giunti di installazione sono progettati tenendo conto del controllo del passaggio di vapore quindi conoscendo le caratteristiche di traspirabilità dei materiali ( $\mu$  o  $S_d$ ) in relazioni degli spessori dei materiali impiegati.

La progettazione deve garantire che l'interfaccia con il vano non sia causa di peggioramento delle prestazioni di prodotto dichiarate e che non si generino degradi funzionali. Nell'ambito della progettazione dei giunti di installazione del serramento, in relazione alle condizioni di impiego, devono essere considerate le azioni fisiche agenti sui serramenti, qui riassunte:

- Deformazioni della costruzione;
- Condizioni climatiche interne ed esterne;
- Azione degli agenti atmosferici;
- Variazioni dimensionali proprie dei materiali;
- Carichi agenti.

Lo sviluppo progettuale dei giunti, in relazione alla situazione di installazione, deve quindi garantire:

- La corretta compensazione delle variazioni di forma del vano di posa;
- La tenuta all'aria delle interfacce interne;
- La protezione agli agenti atmosferici, quindi la tenuta all'acqua delle interfacce esterne;
- La mitigazione e lo studio dei ponti termici lineari e puntuali, dei ponti acustici, comprensivi di quelli in corrispondenza dei davanzali e delle soglie;
- L'isolamento dei giunti primari e secondari;
- Efficacia dei sistemi di fissaggio in relazione alla tipologia di supporto e di carico agente.

Permeabilità all'aria: Le caratteristiche dei giunti di installazione devono essere congruenti con i livelli prestazionali di permeabilità all'aria previsti per l'opera dalle indicazioni delle specifiche tecniche, pertanto non dovranno essere sottovalutati gli aspetti di:

- Continuità della sigillatura interna (sia del giunto primario che del giunto secondario) sull'intero perimetro del vano per consentire la continuità del piano funzionale di permeabilità all'aria dell'involucro dell'edificio;
- Compatibilità chimico-fisica tra le componenti impiegate;
- Impiego materiali di sigillatura e di membrane idonee al campo di applicazione richiesto dalla soluzione tecnica (vedi rif. normativi UNI 11470 e UNI 12114).

#### Tenuta all'acqua

Al fine di garantire l'impermeabilità alle infiltrazioni di acqua dei giunti di installazione, la progettazione del dettaglio costruttivo e quindi la conseguente posa in opera deve tenere conto di:

- Regolarità dello strato di tenuta (o sigillatura) esterno (sia del

giunto primario che del giunto secondario) sull'intero perimetro del vano;

- Garantire la continuità del piano funzionale di tenuta agli agenti atmosferici (acqua stagnante, pioggia battente, etc.) dell'involucro dell'edificio;
- Qualora siano presenti materiali sigillanti con caratteristiche differenti, andrà verificata la compatibilità chimico-fisica tra le componenti.

Per prendere coscienza della corretta esecuzione delle stratigrafie e dei raccordi è possibile eseguire sia delle verifiche in campo che interessano la rispondenza al progetto costruttivo e alle previsioni progettuali, sia l'esecuzione di test strumentali volti all'individuazione delle criticità.

#### Rappresentazione schematica dei giunti primario e secondario

##### Legenda

- 1 Giunto primario
- 2 Controtelaio
- 3 Giunto secondario
- 4 Telaio fisso
- 5 Anta

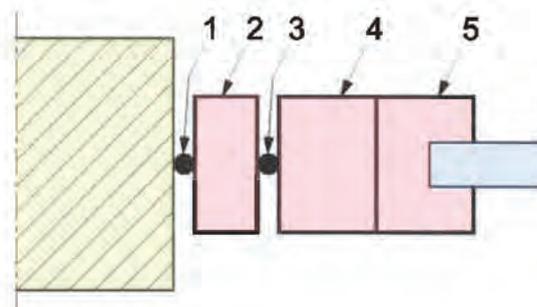


Fig. 12 | Estratto della norma UNI 11673-1 - Giunto primario e secondario, rappresentazione schematica

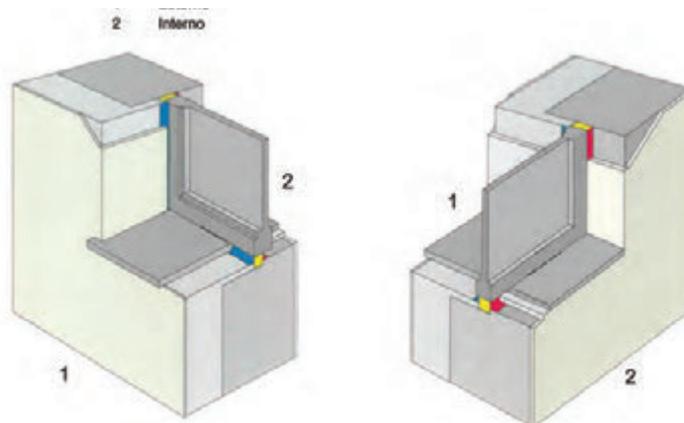


Fig. 13 | Estratto della norma UNI 11673-1 - Piani di tenuta, rappresentazione schematica



Fig. 14 | Profilo di temperature nodo serramento – involucro (analisi FEM) – vista in sezione orizzontale

### Irregolarità termiche

Per rilevare le irregolarità termiche (ponti termici) sono oggi disponibili analisi termografiche (figura 15) ad infrarosso (TT) definite all'interno delle norme UNI EN 13187 e UNI EN ISO 9712. Le prove andranno eseguite nel rispetto di alcuni fattori, quali:

- Le specifiche e le potenzialità dell'apparecchiatura termografica (caratteristiche dello strumento e sensibilità);
- La conoscenza delle caratteristiche della struttura portante del fabbricato, del sistema costruttivo dell'involucro edilizio e del sistema di generazione, distribuzione ed emissione della climatizzazione invernale;
- Le proprietà radianti delle superfici con particolare riferimento ai materiali di rivestimento;
- I fattori climatici interni ed esterni: la misurazione delle temperature dell'aria interna ed esterna deve essere effettuata con accuratezza di +/- 1°C prima dell'inizio delle operazioni di verifica. In analogia alla verifica della temperatura devono essere registrate le variazioni riferite all'umidità dell'aria, oltre alle condizioni atmosferiche (nuvolosità, precipitazioni, vento);

- La certificazione del personale secondo UNI EN ISO 9712 risulta elemento prioritario per eseguire della prova.

### Termografia

Le verifiche termografiche possono inoltre essere eseguite per localizzare eventuali infiltrazioni/perdite di aria attraverso i giunti di installazione e le discontinuità. In questo caso è necessario creare una differenza di pressione tra l'involucro edilizio e l'esterno: In quest'ottica, la differenza di pressione minima consigliata per poter evidenziare eventuali criticità è di 15 Pa.

### Comportamento acustico

Le valutazioni intensimetriche dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio sono un aspetto fondamentale da tenere sotto controllo attraverso l'esecuzione di test in sito volti al collaudo dell'opera. Le prove sperimentali si eseguono su una porzione individuata di facciata che può includere elementi di discontinuità come vani, serramenti, etc. Le tecniche di misura adottate per le valutazioni dell'isolamento acustico delle facciate sono quelle descritte nella norma tecnica UNI EN ISO 16283:2016 "Misure in opera dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio", relativamente alla parte 3 "Isolamento acustico di facciata".

La procedura per la misurazione dell'isolamento acustico per via aerea della facciata D2m,nT (metodo globale con altoparlante) tiene in considerazione i seguenti aspetti:

- La sorgente di rumore posta all'esterno della facciata e con angolo di incidenza stabilito dalla norma tecnica (distanza minima di 5 m dalla facciata e angolo di incidenza del suono pari a 45°);
- Il campo sonoro generato dall'altoparlante posizionato in campo libero è rumore rosa;
- Posizione del microfono esterno ed interno per le misurazioni L1 ed L2. Una possibile procedura è quella di posizionare il microfono esterno ad una distanza di 2 m dalla facciata o di 1 m qualora siano presenti aggetti o balaustre mentre, il microfono interno viene collocato in diversa posizione per eseguire più valutazioni del campo di misura in modo da non avere una griglia regolare né rilevamenti su di uno stesso piano parallelo ad una superficie dell'ambiente;
- I livelli di pressione sonora sono misurati in bande di terze di ottava (gamma di frequenze di misurazione comprese tra 100 e 3150 Hz);
- Misurazioni del tempo di riverberazione T (eseguita ad esempio con la tecnica impulsiva) e misurazione del rumore di fondo.

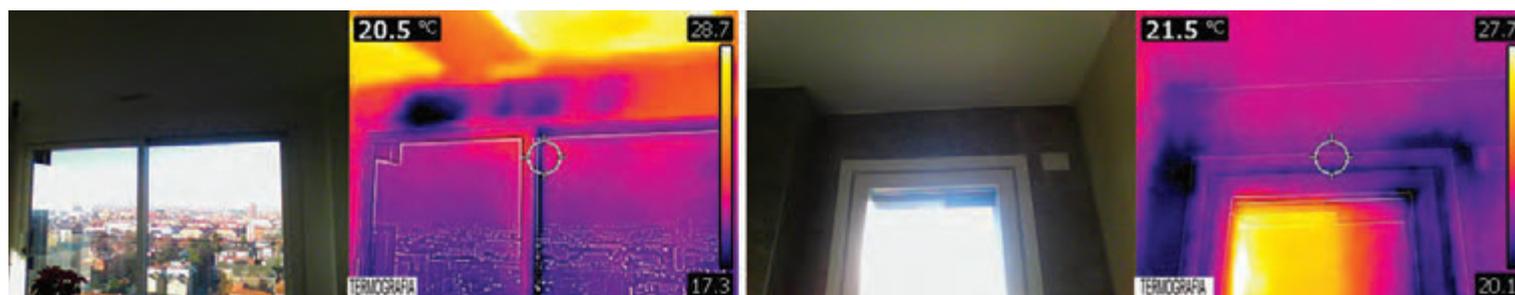


Fig. 15 | Indagini termografiche sull'involucro edilizio e sue componenti

## Permeabilità all'aria

La verifica di permeabilità all'aria può essere eseguita in opera per quantificare le perdite di aria del sistema involucro attraverso il metodo di pressurizzazione mediante ventilatore, anche noto con il nome di Blower door test. Secondo la procedura di prova si sottopone l'ambiente di verifica ad una pressione positiva pari a 50 Pa (figura 16), misurando contestualmente le perdite di sistema e quindi l'aria che filtra attraverso le discontinuità dell'involucro (eventualmente rilevando i principali punti di infiltrazione di aria mediante l'impiego di fumi traccianti). Il test permette di rilevare con precisione i punti di discontinuità presenti nell'involucro, come per esempio il raccordo tra serramento e monoblocco inserito in parete (figura 17) oppure le infiltrazioni di aria attraverso le prese elettriche laddove assenti gli accorgimenti come gli accessori di chiusura sui corrugati che collegano l'interno e l'esterno della parete (figura 18).

La camera di tenuta che si realizza prendendo come riferimento un ambiente campione, può ulteriormente essere perfezionata o modificata con l'installazione di teli di plastica sigillati lungo il perimetro e che permettono le esclusioni di porzioni di facciata non oggetto di verifica. Il sistema è corredato da un dispositivo di misura delle pressioni interna ed esterna della camera di tenuta andando così a determinare la quantità di aria in entrata, che

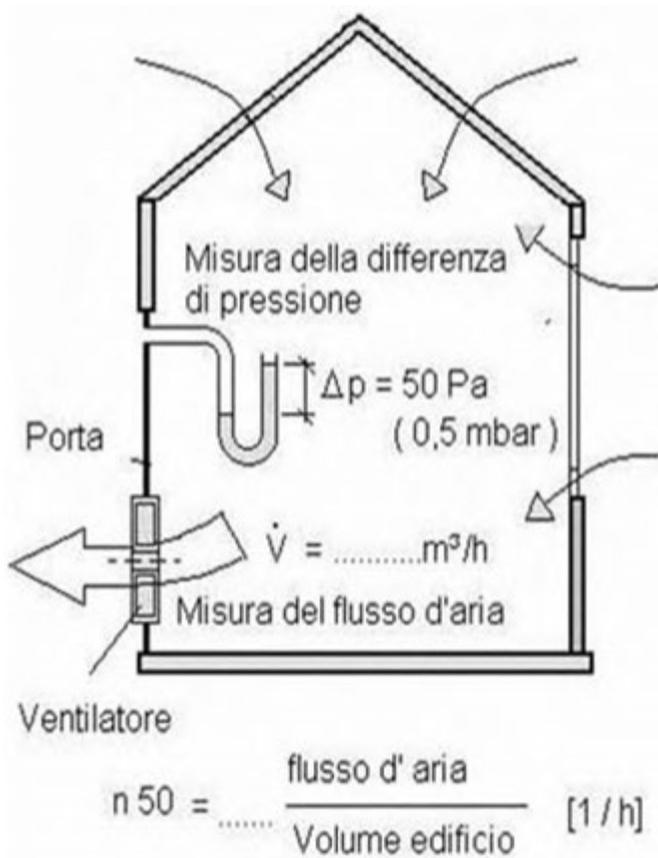


Fig. 16 | Schema generale della prova di pressurizzazione mediante ventilatore secondo la norma UNI EN ISO 9972

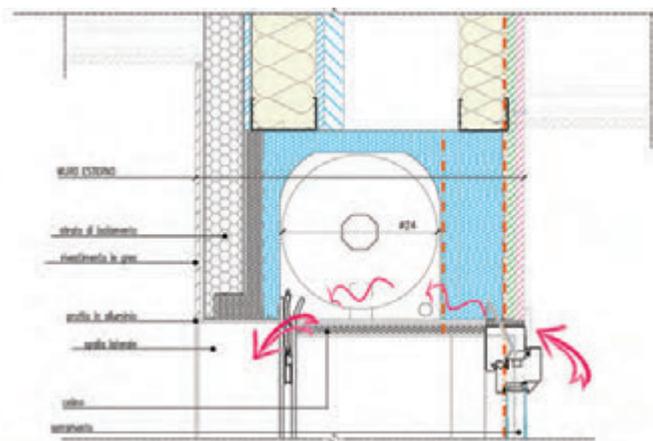


Fig. 17 | Blower Door Test – criticità di tenuta all'aria nell'interfaccia parete opaca - serramento\

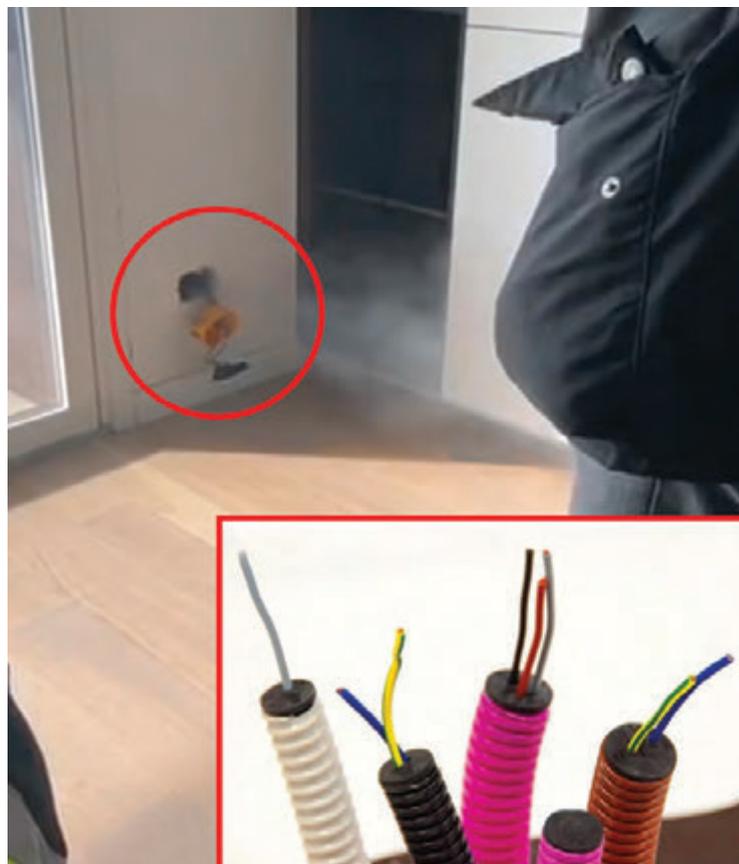


Fig. 18 | Blower Door Test – criticità di tenuta all'aria in corrispondenza dei punti elettrici

corrisponde alle perdite d'aria dovute alle discontinuità.

La verifica della tenuta all'acqua del sistema involucro, è possibile attraverso due possibili modalità di prova che prevedono: la prima, l'irrorazione di acqua sulla superficie oggetto di verifica senza applicazione di differenziale di pressione, mentre la seconda con applicazione di differenziale di pressione tra l'interno e l'esterno. La prima metodologia è spesso finalizzata al collaudo oppure all'indagine di cause di infiltrazioni da giunti o discontinuità, mentre la seconda è finalizzata alla verifica del mantenimento in opera delle prestazioni di tenuta all'acqua per esempio dei serramenti o delle componenti poste in opera rispetto ai valori dichiarati dal fabbricante.

### Comportamento meccanico

La valutazione della resistenza meccanica al carico vento e ai carichi agenti è verificabile attraverso prove di carico sui paramenti murari oppure prove di estrazione dei fissaggi meccanici (per tipologia, e gerarchia). Ricordiamo che sono funzionali a questo tipo di indagine anche le verifiche visive di integrità delle connessioni, dello stato del serraggio con controllo manuale e anche le valutazioni documentali e descrittive del tipo di fissaggio, i report di calcolo con le indicazioni sull'interesse di posa e sul tipo di supporto. Queste verifiche sono da eseguirsi prima delle prove strumentali in campo.

## 5. CONCLUSIONI

I sistemi costruttivi a secco rappresentano, oggi, un'importante realtà del settore delle costruzioni, con particolare riferimento all'edilizia corrente ma anche complessa, come il caso di edifici residenziali multipiano oppure adibiti a uffici. Tuttavia essi richiedono un'attenta fase di progettazione con particolare attenzione ai dettagli costruttivi dei vari componenti tra di loro coordinati per poter dar vita ad un sistema costruttivo prestazionalmente efficiente e vantaggioso per tempi e modalità di posa in opera. Proprio la fase di posa in opera è particolarmente delicata e richiede attenzione e cura nell'esecuzione dei dettagli che, se non realizzati a regola d'arte, possono dare origine a vizi e difetti, quali ponti termici ed eccessive filtrazioni d'aria, che possono vanificare la bontà e l'efficienza delle soluzioni tecniche adottate.

Per questo motivo molto importanti sono le fasi di controllo e verifica durante l'esecuzione delle opere, compresa anche la messa in campo di prove in situ (termografiche e di permeabilità all'aria) in grado di dare un valido e fondamentale aiuto diagnostico nell'individuazione delle eventuali anomalie e irregolarità esecutive.

---

## 6. BIBLIOGRAFIA

- UNI EN ISO 6946 Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodi di calcolo
- UNI 10351:1994 Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore
- UNI EN ISO 10456 Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà igrometriche. Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto
- UNI 10355:1994 Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo.
- UNI/TS 11300-1 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
- UNI EN ISO 10077-1 Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1: Generalità
- UNI EN ISO 10077-2 Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Calcolo della trasmittanza termica - Metodo numerico per i telai
- UNI EN 13187 "Prestazione termica degli edifici - Rivelazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi, Metodo all'infrarosso"
- UNI 11296 - Linee guida per la progettazione, la selezione, l'installazione e il collaudo dei sistemi per la mitigazione ai ricettori del rumore originato da infrastrutture di trasporto
- UNI EN ISO 13790 Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento
- UNI 11673-1 Parte 1: Posa in opera dei serramenti - requisiti e criteri di verifica della progettazione
- UNI EN ISO 14683 Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento
- UNI EN ISO 10211 Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - calcoli dettagliati
- UNI EN ISO 13370 Prestazione termica degli edifici - Trasferimento di calore attraverso il terreno - Metodi di calcolo
- D.M. 17/01/2018, "Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"", Ministero delle Infrastrutture.
- Circolare 21/01/2019 n.7, "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle 'Norme Tecniche per le Costruzioni', di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018", Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.
- Legge 05/11/1971 n.1086, "Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- Legge 02/02/1974 n.64, "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- E.S. Mazzucchelli, Sistemi Costruttivi in legno. Tecnologie, soluzioni e strategie progettuali verso edifici Zero Energy, Maggiori Editore, Politecnica, 2016

- UX83 Linee guida per la progettazione e la posa in opera delle facciate ventilate
- UX59 La pulizia e la manutenzione dell'involucro leggero
- UX84 Linee guida per la convalida del contenuto di riciclato



### **Prof. Ing. Paolo Rigone**

Laureato in Ingegneria Civile nel 1989 presso l'Università degli Studi di Pavia, è iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pavia dal 1990. Dottore di ricerca in ingegneria ergotecnica edile presso il Politecnico di Milano nel 1995. Dal 2007 è Professore associato di Architettura Tecnica presso il Politecnico di Milano e titolare della cattedra di Progettazione dell'involucro edilizio presso la Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura. Dal 1989 è partner di Studio di Ingegneria Rigone e dal gennaio 2000 è direttore tecnico di UNICMI - Unione Nazionale delle Industrie delle Costruzioni Metalliche dell'Involucro e dei serramenti. Esperto in materia di tecnologie dell'involucro edilizio con particolare riferimento al settore delle facciate e della tecnologia dell'involucro edilizio. È attivo in diverse commissioni e gruppi di lavoro normativi, sia a livello nazionale ed internazionale, alla definizione delle norme tecniche con particolare riferimento al settore dell'involucro edilizio. È autore e co-autore di numerose pubblicazioni scientifiche in materia di tecnologia dell'involucro, edilizia ospedaliera, gestione dei processi edilizi, manutenzione e qualità in edilizia, project management, applicazione delle norme ISO 9000, gestione qualitativa di microambienti ospedalieri, controlli sulla patologia dei sistemi edilizi.



### **Ing. Paolo Giussani**

Laureato in Ingegneria dei sistemi edilizi presso il Politecnico di Milano, è iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Milano dal 2014. Collabora con l'ufficio tecnico di UNICMI facendo attività di consulenza nel settore delle facciate continue e dei serramenti, supporto alle attività di progettazione e costruzioni, assistenza tecnica e consulenza alla predisposizione di gare d'appalto, redazione di capitolati speciali di natura prestazionale per involucro opaco, serramenti metallici, coperture vetrate, facciate continue e facciate ventilate. Nel 2014 inizia una proficua collaborazione con Studio di Ingegneria Rigone svolgendo il ruolo di Façade Engineer nelle attività legate alla progettazione, direzione lavori e consulenza in materia di involucro edilizio. Si occupa di audit ed expediting presso aziende produttrici di sistemi di facciate continue, vetrerie e prove di laboratorio. Dal 2016 è cultore della materia al corso di progettazione dell'involucro edilizio, Dip. ABC - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, presso il Politecnico di Milano.

**CAPITOLATO SPECIALE**  
**SERRAMENTI E CHIUSURE OSCURANTI**  
il Capitolato speciale e il Contratto di uso e manutenzione ordinaria  
scopri i nuovi documenti su [unicmi.it](http://unicmi.it)

**FACCIATE CONTINUE E VENTILATE**  
Linee guida per la redazione del Capitolato speciale  
[unicmi.it](http://unicmi.it)

# PROGETTARE E COSTRUIRE REVERSIBILE IN ACCIAIO:

Il nuovo edificio circolare per la sede di Vandemoortele

## DESIGN AND BUILD REVERSIBLE IN STEEL:

The new circular building for the Vandemoortele headquarters

Arch. Tecla Caroli\*

*Politecnico di Milano, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente Costruito*

Commissionata dal produttore alimentare belga Vandemoortele Group, RAU Architects, insieme ad altri professionisti del settore, ha progettato la nuova sede centrale completata nel 2019 a Gent. Il Food Experience Center concretizza l'obiettivo fondamentale dell'azienda: "Plasmare un futuro gustoso" secondo i principi di sostenibilità e innovazione. Questa visione condivisa con lo studio di architettura olandese è stata concretizzata attraverso un edificio reversibile e circolare in acciaio.

*Commissioned by the Belgian food producer Vandemoortele Group, RAU Architects, with other experts involved, designed the headquarters completed in 2019 in Gent. The Food Experience Center is the formal expression of the company's objective: "Shaping a tasty future" towards sustainability and innovation. This vision shared with the Netherlands architectural studio has been realized through a reversible and circular building in steel.*



Fig 1 | Food Experience Center. © Marcel van der Burg

\*Corresponding author. E-mail address: [tecla.caroli@polimi.it](mailto:tecla.caroli@polimi.it)

## Obiettivi e sviluppo del progetto

Il concorso di idee istituito nel 2016 da Vandemoortele, in collaborazione con l'azienda di Real Estate olandese Bopro, definiva una lista di requisiti da rispettare tenendo conto delle prestazioni attese a livello tecnologico, sociale, economico e ambientale. Nonostante la richiesta comportasse una grande sfida per i progettisti, lo scopo di tali indicazioni è stato quello di ottimizzare l'intero processo edilizio.

Le scelte progettuali dovevano tener conto dei seguenti obiettivi:

- enfatizzare una nuova identità e i valori aziendali nel nuovo edificio;
- creare un ambiente di lavoro stimolante e un luogo di incontro in cui si promuove la diversità e l'azienda possa essere in stretto contatto con tutti i suoi stakeholder, sia interni (staff) che esterni (fornitori e clienti) al fine di raggiungere gli obiettivi aziendali e favorire l'innovazione;
- sostenere la trasformazione della cultura aziendale in un'ottica di trasparenza, innovazione, marketing e passione, stimolando la ricerca e l'incorporazione di nuovi talenti;
- progettare e costruire un edificio flessibile che consenta di lavorare in modo innovativo, che guarda al futuro, consentendo possibili espansioni e trasformazioni degli spazi;
- progettare e costruire un edificio energeticamente efficiente, il più possibile autonomo, in continua interazione con il contesto che lo circonda.

La proposta vincente, risultata idonea rispetto agli obiettivi fissati e anche stimolante dal punto di vista tecnologico, è stata quella di RAU Architects, grazie al progetto di un edificio reversibile e circolare (figura 1). Reversibile perché l'insieme delle tecnologie adoperate (strumenti tecnici e gestionali) consentono ad un sistema di ritornare al proprio stato originario e attivare strategie circolari come il riuso, il riciclo e la rigenerazione. La possibilità di essere circolare permette ad un sistema edilizio di essere reimpiegato in nuovi cicli di vita, riducendo il consumo di risorse e la produzione di rifiuti.

## Rendere disponibile all'infinito ciò che è finito

Con la crescente scarsità di materie prime e di produzione di rifiuti, la capacità di riutilizzo di un sistema costruttivo diventa sempre più importante. Gli attuali processi industriali si basano su modelli economici lineari, guidati principalmente da criteri di vendita e consumo piuttosto che dalla conservazione delle risorse. Di conseguenza risorse preziose vengono distrutte in modo irreversibile. Per contrastare tale tendenza, è necessario trasformare l'attuale modello economico in circolare.

Thomas RAU, fondatore dell'omonimo studio di architettura ad Amsterdam, porta da sempre avanti la missione di "rendere disponibile all'infinito ciò che è finito", attraverso un approccio circolare al progetto di architettura, concependo gli edifici non come prodotti statici e permanenti, ma dinamici e in continua evoluzione, capaci di generare energia senza produrre rifiuti. RAU progetta i propri edifici con tecnologie reversibili in modo tale che, a fine vita, possano essere smontati e tutti gli elementi recuperati. L'edificio è pensato come una vera e propria banca dei materiali: Building as a Material Bank.

Durante la realizzazione di un edificio circolare, è importante

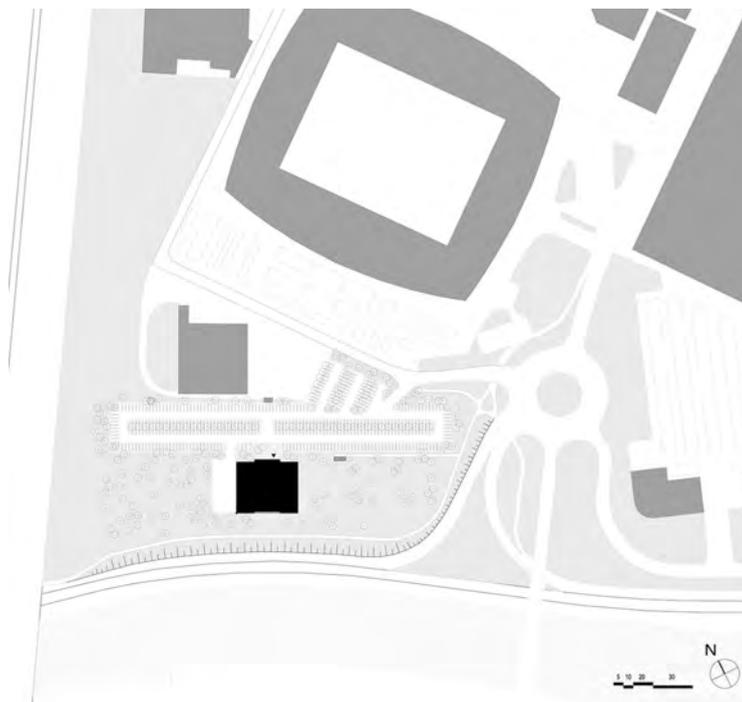


Fig. 2 | Stato di progetto. © RAU



Fig. 3 | Foto di cantiere nodo trave-setto in calcestruzzo. © RAU



Fig. 4 | Foto di cantiere strutture di elevazione. © RAU.jpg

che l'intero sistema edilizio sia adattabile durante la sua fase di utilizzo. Adeguamenti dovuti al cambio di esigenze dell'utente, o a causa di differenti cicli di vita, non dovrebbero comportare complicazioni. Tutti i componenti devono avere la possibilità di essere sostituiti, senza causare la demolizione o il degrado di altri elementi dell'edificio e allo stesso tempo avere la possibilità di essere riutilizzati in conformità ai principi legati all'economia circolare.

Oltre a distinguere la tipologia dei diversi sistemi costruttivi (struttura, facciata, partizioni interne, impianti e arredi) e la rispettiva durata, è importante che venga fatta una scelta consapevole relativa ai metodi di assemblaggio dell'edificio e dei suoi componenti. Scegliendo viti e bulloni e finiture non a umido, si rende più facile lo smontaggio (figura 3).

Inoltre, per garantire il riutilizzo delle materie prime, è fondamentale che durante le varie fasi del processo edilizio, i dati relativi ai materiali, ai componenti e alle lavorazioni, impiegati

all'interno dell'edificio, vengano raccolti e documentati in un passaporto dei materiali (material passport). Lo scopo è quello di controllare il flusso delle risorse in modo tale che i materiali siano sempre disponibili, incrementando il potenziale riutilizzo e quindi il loro valore nel tempo. Rendendo disponibili all'infinito risorse finite attraverso azioni che mettono insieme aspetti tecnologico-costruttivi e gestionali, è possibile progettare e costruire sistemi edilizi non solo circolari ma anche sostenibili.

### Nuovi modi di lavorare

La lista dei requisiti e il programma funzionale elaborato dal committente insieme a Bopro definiscono un modo differente di vivere gli spazi adibiti ad ufficio.

L'edificio offre spazio a quattrocento dipendenti: l'atrio centrale d'ingresso (figura 15) che ne costituisce il cuore e gli uffici sul perimetro dell'edificio, definiscono un luogo stimolante per l'incontro e l'interazione tra dipendenti, sviluppatori di prodotti,

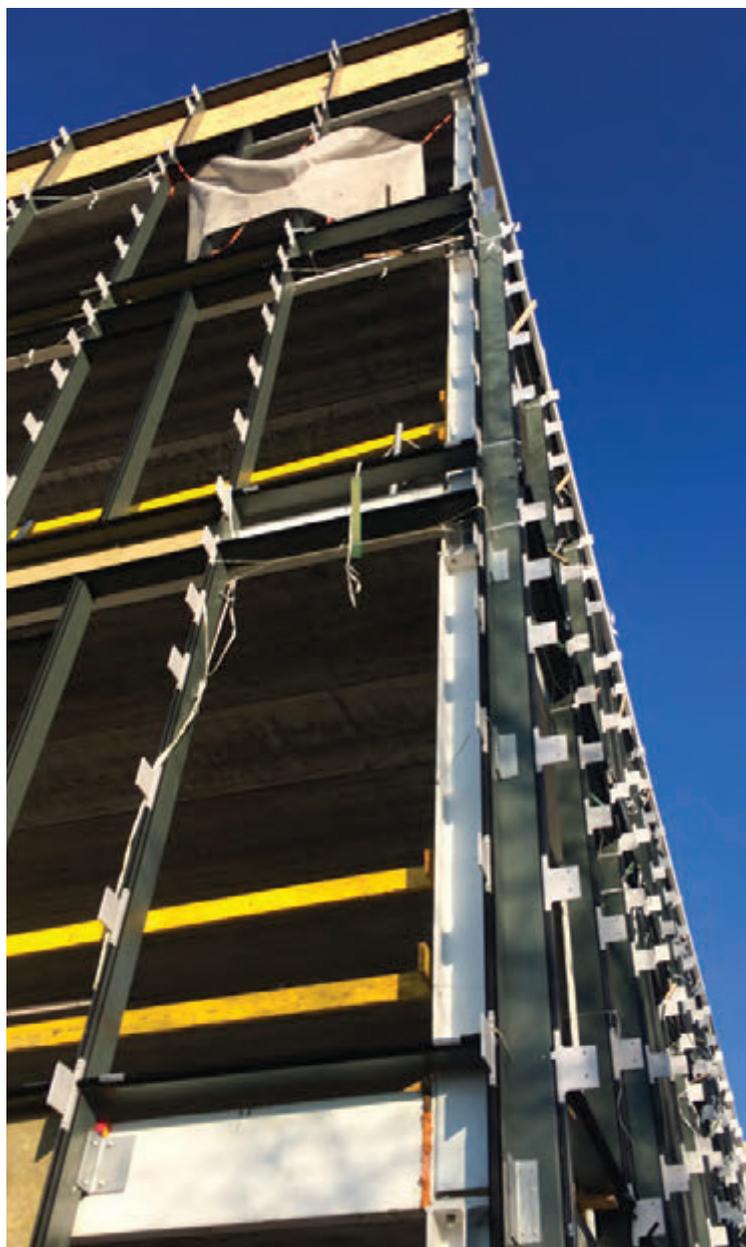


Fig. 5 | Foto di cantiere struttura portante involucro. © RAU



Fig. 6 | Foto di cantiere struttura portante involucro. © RAU

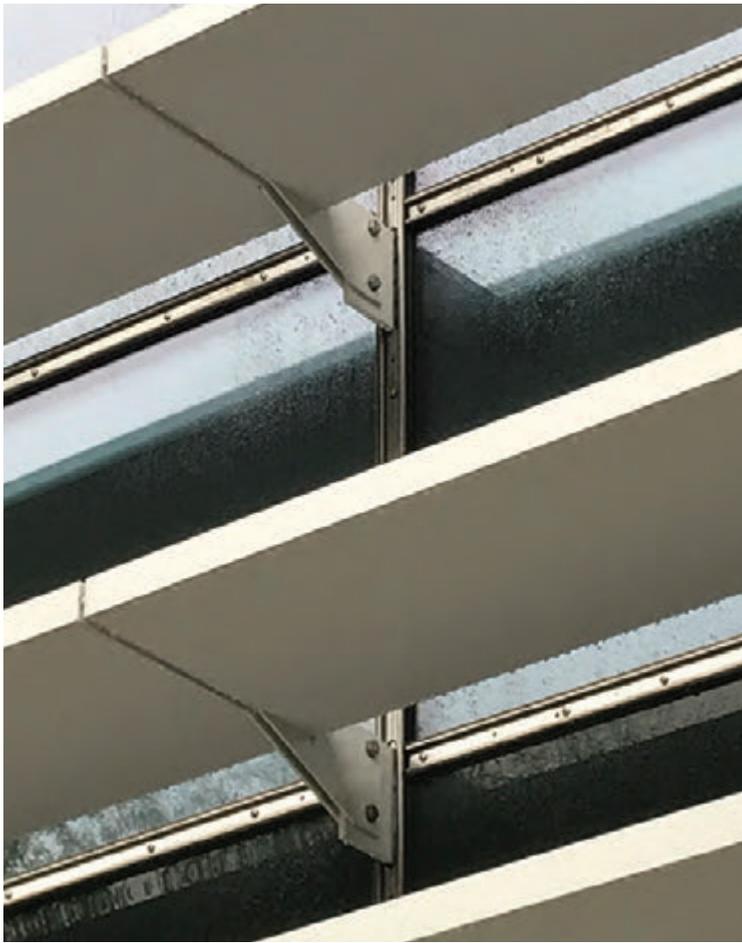


Fig. 7 | Foto di cantiere dettaglio sistema di connessione schermatura\_involucro. © RAU



Fig. 8 | Foto di cantiere struttura portante in acciaio e solai in calcestruzzo. © RAU



Fig. 9 | Foto di cantiere atrio e passerella centrale. © RAU

cuochi, clienti e fornitori. La sfida infatti è stata quella di creare un luogo capace di integrare la socialità con la qualità per i diversi fruitori dello spazio offerto. Un'importante trasformazione spaziale consiste nel facilitare l'incontro informale di persone offrendo un luogo in cui poter condividere le proprie conoscenze ed esperienze, creando una maggiore sintonia con il luogo in cui si lavora. La predisposizione di spazi adattabili caratterizzati da pareti e arredi mobili e flessibili permette la fruizione degli ambienti per diverse attività, come concentrarsi, comunicare e collaborare. Ogni spazio si trasforma in base alle proprie necessità: ad esempio la mensa diventa luogo di incontro (figura 16) e le sale riunioni, ambienti di co-working.

La conformazione interna dell'edificio è generata principalmente dalla disposizione del piano terra. Il collegamento tra la cucina, i ripostigli, l'atrio e le sale riunioni costituiscono la base per i piani superiori. L'atrio (figura 17) e la sala da pranzo (figura 18) fungono da collegamento funzionale e visivo tra di loro e la cucina e le sale riunioni sono i loro spazi di servizio. Gli angoli caffè, le zone flessibili e le aree di consultazione si trovano su diversi livelli dell'atrio (figura 19). Agli ultimi piani, gli spazi per gli uffici singoli (figura 20) o per gruppi di lavoro (figure 21-22). I dipendenti non hanno la propria postazione di lavoro, ma possono muoversi liberamente tra le diverse zone scegliendo liberamente il luogo più adatto per adempiere alle proprie mansioni. Sale riunioni e aree di studio per gruppi di lavoro si trovano nella zona di transizione tra atrio e aree comuni, con lo scopo di diventare spazi pubblici in cui



Fig. 10 | Foto di cantiere allocazione impianti nel controsoffitto. © RAU



Fig. 12 | Foto di cantiere montaggio rivestimento in legno. © RAU



Fig. 11 | Foto di cantiere dettaglio copertura e passerella. © RAU

il mondo esterno può essere portato all'interno. Questo layout crea una zona filtro per un maggiore isolamento acustico tra l'atrio e le aree di lavoro che richiedono una minore esposizione al rumore. Le connessioni visive offerte dalle partizioni trasparenti (figura 23) tra i diversi livelli degli uffici e l'atrio (figura 24) forniscono una vivace interazione tra le diverse funzioni.

### Edificio Sostenibile e Innovativo

Le prestazioni dell'edificio hanno permesso di raggiungere la certificazione BREEAM Olandese con punteggio Eccellente. Particolare attenzione è stata data alla progettazione degli impianti di produzione di energetica. L'inserimento di sistemi energetici attivi per la generazione di energia da fonte rinnovabile e passivi, ha reso il Food Experience Center un edificio a energia quasi zero. L'edificio produce solo energia rinnovabile grazie alle scelte progettuali e impiantistiche effettuate: l'orientamento del sistema edilizio che sfrutta il contesto e il clima circostante; il posizionamento in copertura di pannelli solari, per il riscaldamento dell'acqua e dell'aria, combinati a moduli fotovoltaici per la generazione di energia elettrica; la presenza di una pompa di calore geotermica per il sistema di raffreddamento e riscaldamento dell'edificio; e infine, l'inserimento di un serbatoio per il recupero dell'acqua piovana.

Tutte le risorse sono state ottimizzate. I rifiuti da demolizione e costruzione dell'edificio esistente in calcestruzzo armato sono stati riciclati per la produzione di aggregati per il calcestruzzo utilizzato per le fondazioni e i solai del nuovo edificio. Il sistema di ventilazione e illuminazione è studiato in base al numero di persone presenti in ogni spazio, per ottimizzare i consumi e

rendere gli ambienti di qualità offrendo un alto livello di comfort. Gli shed in corrispondenza dell'atrio centrale interno, le grandi finestre al piano terra e la facciata continua, che caratterizza il resto dell'involucro dell'edificio ai piani superiori, portano il massimo di luce naturale negli ambienti interni e riducono la richiesta di luce artificiale. Inoltre, gli ambienti sono stati dotati di rilevatori di movimento per l'attivazione dell'illuminazione LED solo se necessario.

La forma compatta (figura 25) offre un rapporto ottimizzato tra volume e superficie, riducendo al minimo la dispersione di calore e lasciando maggiormente spazio alle aree verdi esterne (figura 26). Gli spazi aperti in prossimità dell'edificio sono stati sapientemente progettati da RAU in collaborazione con lo studio di architettura del paesaggio Neighbor. Alberi e piante accuratamente selezionati e l'inserimento di alveari sostengono una visione della conservazione della biodiversità a lungo termine. Le aree adibite a parcheggio costituite da pavimentazione filtrante e vasche d'acqua permettono la raccolta delle acque piovane ad uso sanitario. Inoltre, l'aggiunta ai parcheggi per auto, per biciclette e carpooling e punti di ricarica per macchine e bici elettriche incentivano la mobilità sostenibile all'interno dell'area.

### Tecnologie Costruttive

Gli elementi che compongono l'edificio sono prefabbricati e assemblati a secco, fatta eccezione della fondazione in calcestruzzo armato gettato in opera.

La struttura in acciaio è completamente smontabile, modulare e adattabile. Progettata e costruita per riutilizzare ogni sua parte a fine uso, è completamente assemblata attraverso l'utilizzo di bulloni e viti.

La struttura in acciaio è composta da travi HEA 400 e pilastri HEA 280 al piano terra e HEA 180 al terzo e ultimo piano, creando una griglia modulare 5,40x12,60 m agli estremi e 5,40x9,00 m verso l'interno. La stabilità al vento è garantita da due nuclei in calcestruzzo armato in cui sono disposti il vano scala e l'ascensore. La struttura modulare permette di ottenere un alto livello di flessibilità e quindi la possibilità espansioni future.

La struttura principale delle coperture (figura 29) a shed (figura 30) è costituita da travetti a quattro sezioni (figura 31) con una luce di 18,6 m e un'altezza di 1,74 m. Le travi a quattro sezioni sono in acciaio di qualità S355. Le travi maggiormente sollecitate sono costituite da profili scatolari K220/10 utilizzati come guide superiori e inferiori. Per le altre, sono stati utilizzati profili K22/8. Tutti i profili in acciaio sono stati trattati contro la ruggine con un sistema di verniciatura conforme alla classe di corrosività C2. Tale sistema è stato utilizzato per gli elementi con resistenza al fuoco REI60.

Per quanto riguarda le partizioni orizzontali, sono costituite da soletta in calcestruzzo armato prefabbricato di 32 cm. Per coprire il sistema di ventilazione e illuminazione, lungo tutti i piani dell'edificio è presente un controsoffitto con profili in acciaio zincato e un pannello in lana di roccia con spessore 3 cm, per l'isolamento acustico (Figure 32-33).

Il pavimento flottante, che poggia su di un sottofondo a base cementizia (Figure 32-33), è composto da una struttura di appoggio in acciaio zincato, una finitura inferiore foglio di acciaio



Fig. 13 | Foto di cantiere dettaglio passerelle. © RAU



Fig. 14 | Foto di cantiere dettaglio shed. © RAU



Fig. 15 | Ingresso e reception. © Marcel van der Burg.jpg

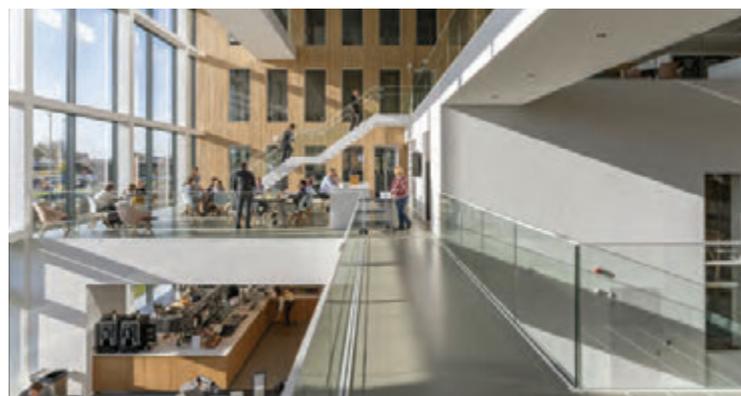


Fig. 16 | Area comune e ristorante. © Marcel van der Burg

galvanizzato, un'anima di supporto di 0,3 m definita da una soletta in miscela cementizia con aggiunta di additivo a base polimerica per una superficie omogenea con effetto lucido e, in corrispondenza delle sale riunioni, una finitura superiore in silicato di calcio.

Quattro passerelle che partono dall'atrio centrale collegano le facciate est e ovest. La passerella più grande ha una lunghezza di 18,6 m ed è dotata in mezzera da due profilati cavi in acciaio verticali ancorati alle travi del solaio di copertura (figura 9). Il piano di calpestio è in lamiera d'acciaio e con riempimento in calcestruzzo per uno spessore totale di 11 cm al fine di garantire la resistenza al fuoco REI60 (figura 34).

Le partizioni verticali interne sono di tre tipi. Tra due ambienti adibiti ad ufficio, la parete di 16 cm è costituita da un pannello isolante in lana di roccia di 10 cm, con intelaiatura di profili a U e montanti a C, e accoppiato a doppia lastra in cartongesso di 1,25 cm ciascuna (figura 35). Tra il bar/ristorante e gli uffici, gli strati che definiscono la partizione di 28 cm (figura 36) sono doppia lastra in cartongesso di 1,25 cm agli estremi, doppio pannello isolante di 5 cm ciascuno, con intelaiatura di profili a U e montanti a C, e in mezzera un'intercapedine d'aria di 13 cm per il passaggio degli impianti. Infine, la parete di 17,5 cm, posizionata tra ambienti adibiti ad uso ufficio e l'atrio interno, è invece costituita da due pannelli isolanti in lana di roccia di 5 cm, con intelaiatura di profili a U e montanti a C per ciascuno dei pannelli, irrigiditi da doppi pannelli in cartongesso di 1,25 cm e, in adiacenza all'atrio centrale, il secondo pannello isolante è interrotto dalla sottostruttura lignea del rivestimento in listelli legno di abete di

2,50 cm disposti con orizzontale (figura 37). Lo stesso rivestimento in legno è presente nella facciata esterna in corrispondenza del piano terra, interrompendo la facciata trasparente che caratterizza il resto dell'edificio.

La facciata continua con doppio vetro e telaio in alluminio (figura 38) si sviluppa lungo il primo, il secondo e il terzo piano ed è schermata da elementi metallici lineari di colore grigio chiaro, con orientamento orizzontale e lunghezza differente lungo i quattro lati dell'edificio. Tali elementi sono fissati alla struttura portante dell'edificio e alla struttura metallica della facciata sempre attraverso il montaggio a secco.

Progettare un edificio reversibile e circolare richiede un atteggiamento diverso nei confronti del progetto di architettura. Il processo di costruzione si trasforma in un processo logistico in cui diversi operatori collaborano e l'integrazione degli aspetti tecnici e con quelli gestionali diventa fondamentale per sostenere e sviluppare un progetto di architettura responsabile e consapevole. "Pensare per" si trasforma in "pensare con" e questo significa che i materiali da costruzione, i prodotti e gli elementi sono gestiti in maniera differente. La precisione durante il processo di progettazione e costruzione è essenziale per tutti i membri del team di progetto sia presso i consulenti e, in ultima analisi, gli appaltatori/impresе di costruzione. Occuparsi coscientemente di questa materia è una sfida ma è possibile, e questo progetto ne è la prova.



Fig. 17 | Atrio centrale. © Marcel van der Burg



Fig. 18 | Area ristoro. © Marcel van der Burg



Fig. 19 | Area comune. © Marcel van der Burg

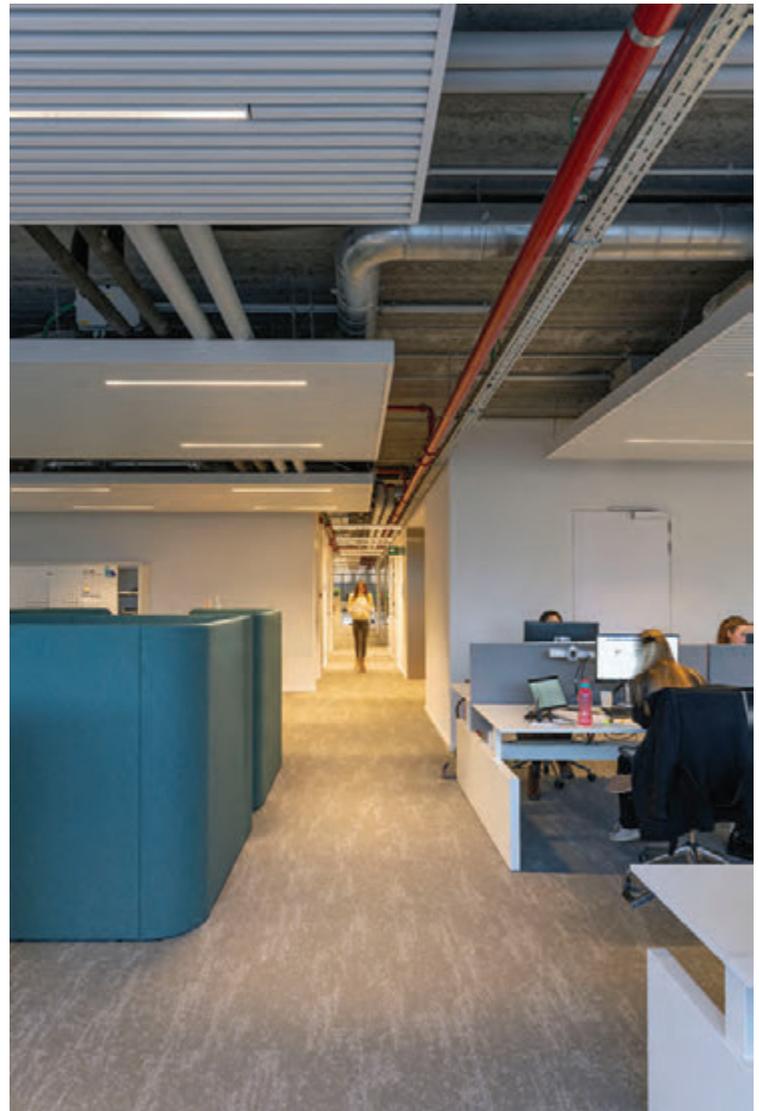


Fig. 21 | Area di lavoro in open space. © Marcel van der Burg



Fig. 20 | Area di lavoro uffici chiusi. © Marcel van der Burg



Fig. 22 | Area di lavoro. © Marcel van der Burg



Fig. 23 | Sala riunioni. © Marcel van der Burg



Fig. 25 | Fronte principale. © Marcel van der Burg



Fig. 26 | Retro e giardino. © Marcel van der Burg



Fig. 24 | Atrio centrale ed elementi di distribuzione. © Marcel van der Burg

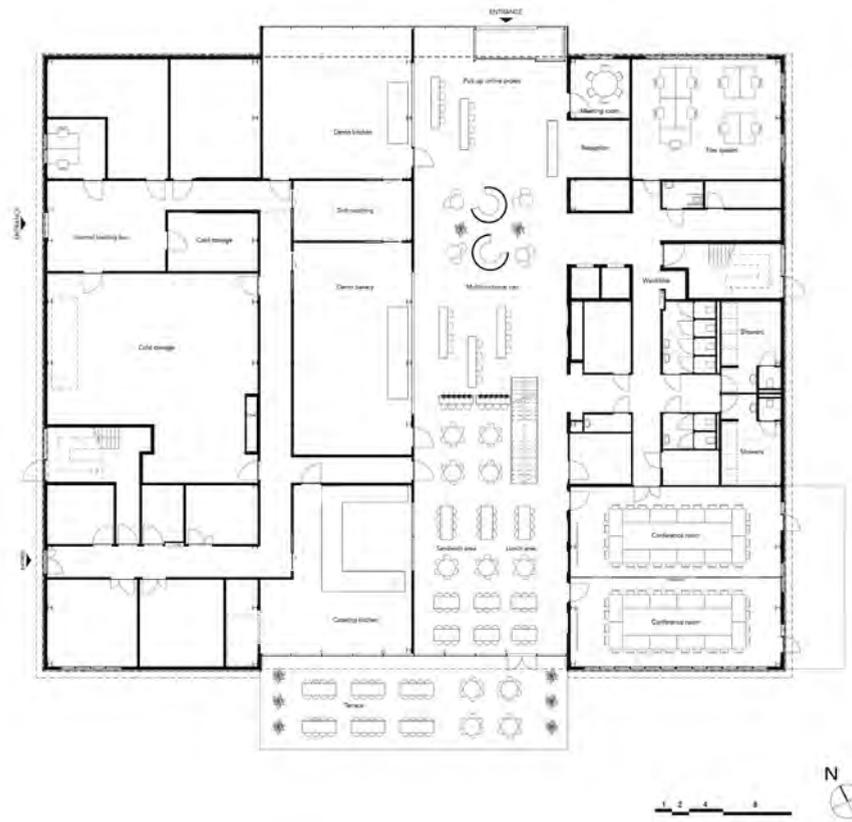


Fig. 27 | Pianta piano terra. © RAU

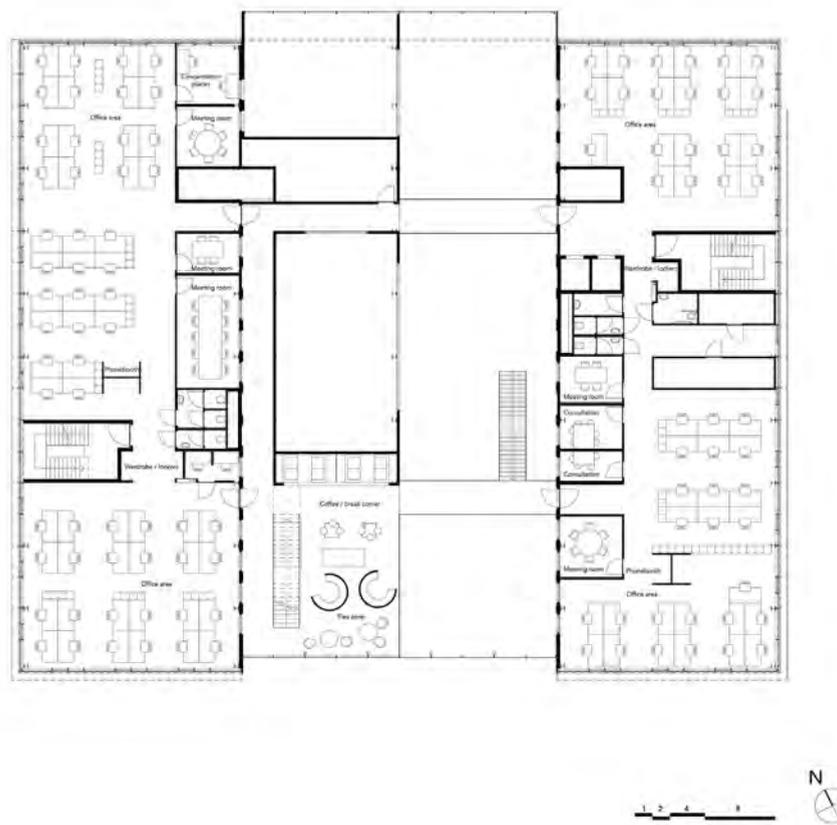


Fig. 28 | Pianta piano primo. © RAU



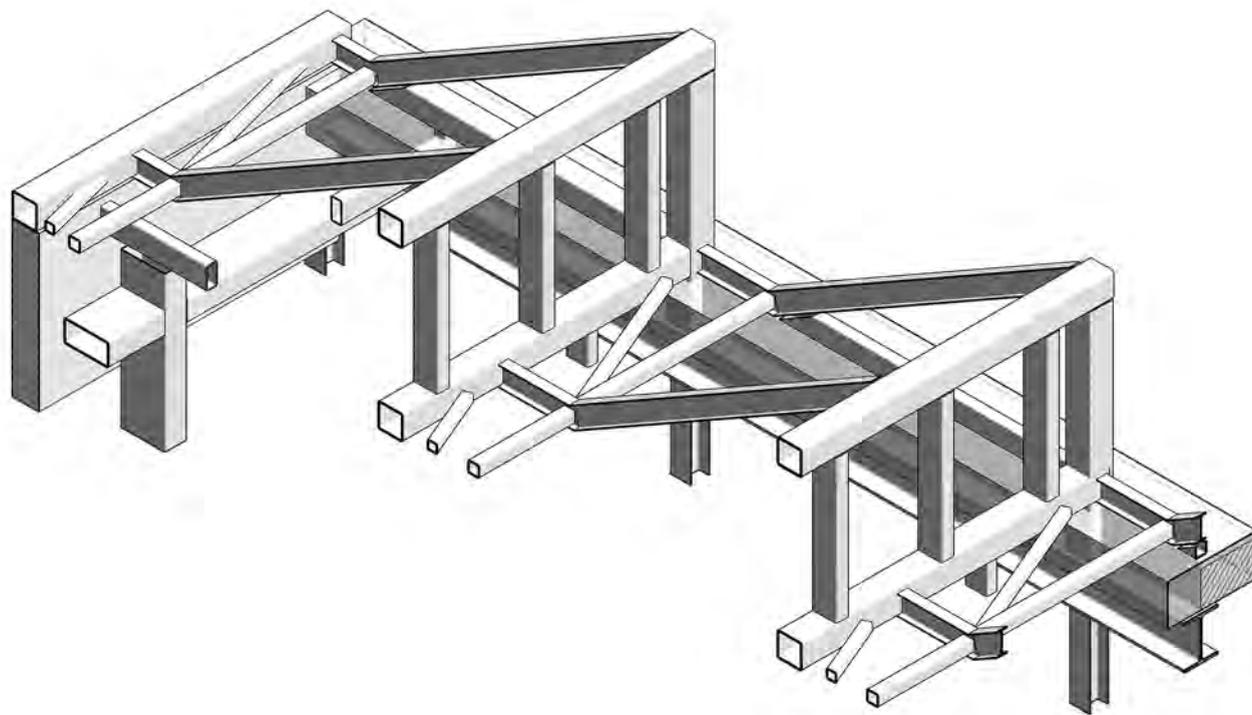
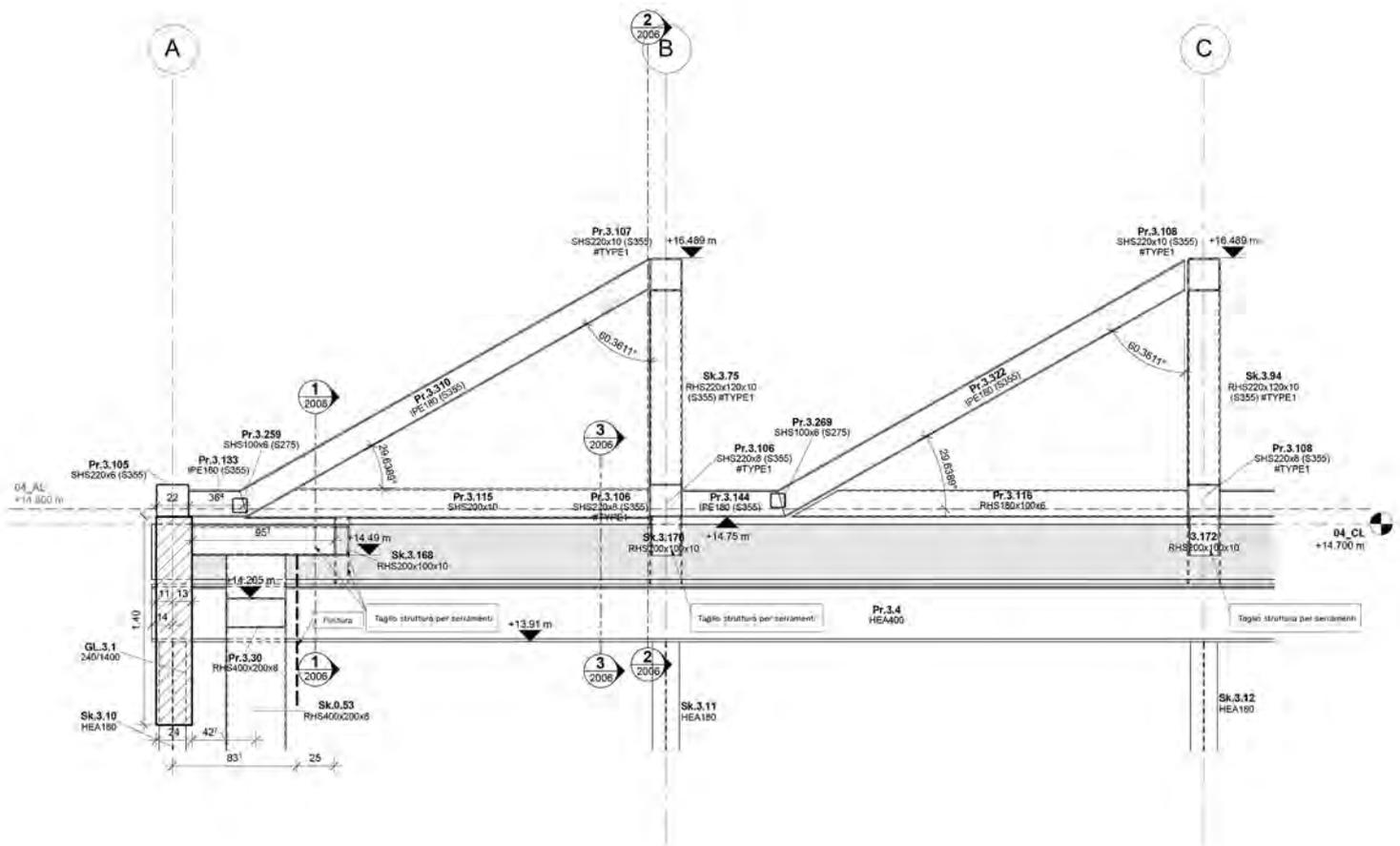


Fig. 31 | Dettaglio struttura shed. © RAU\_ELD

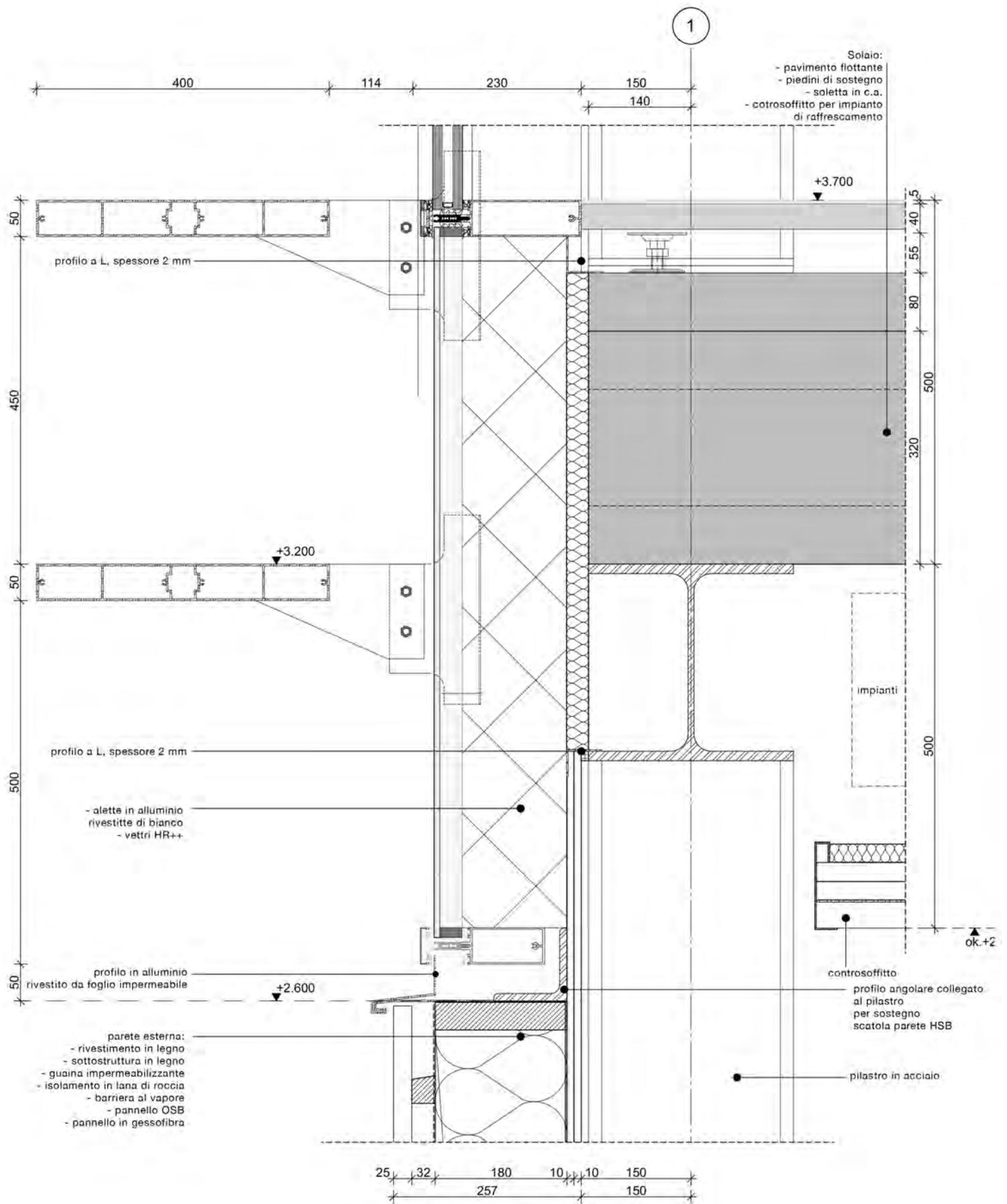


Fig. 32 | Dettaglio facciata continua\_solaio. © RAU\_ELD

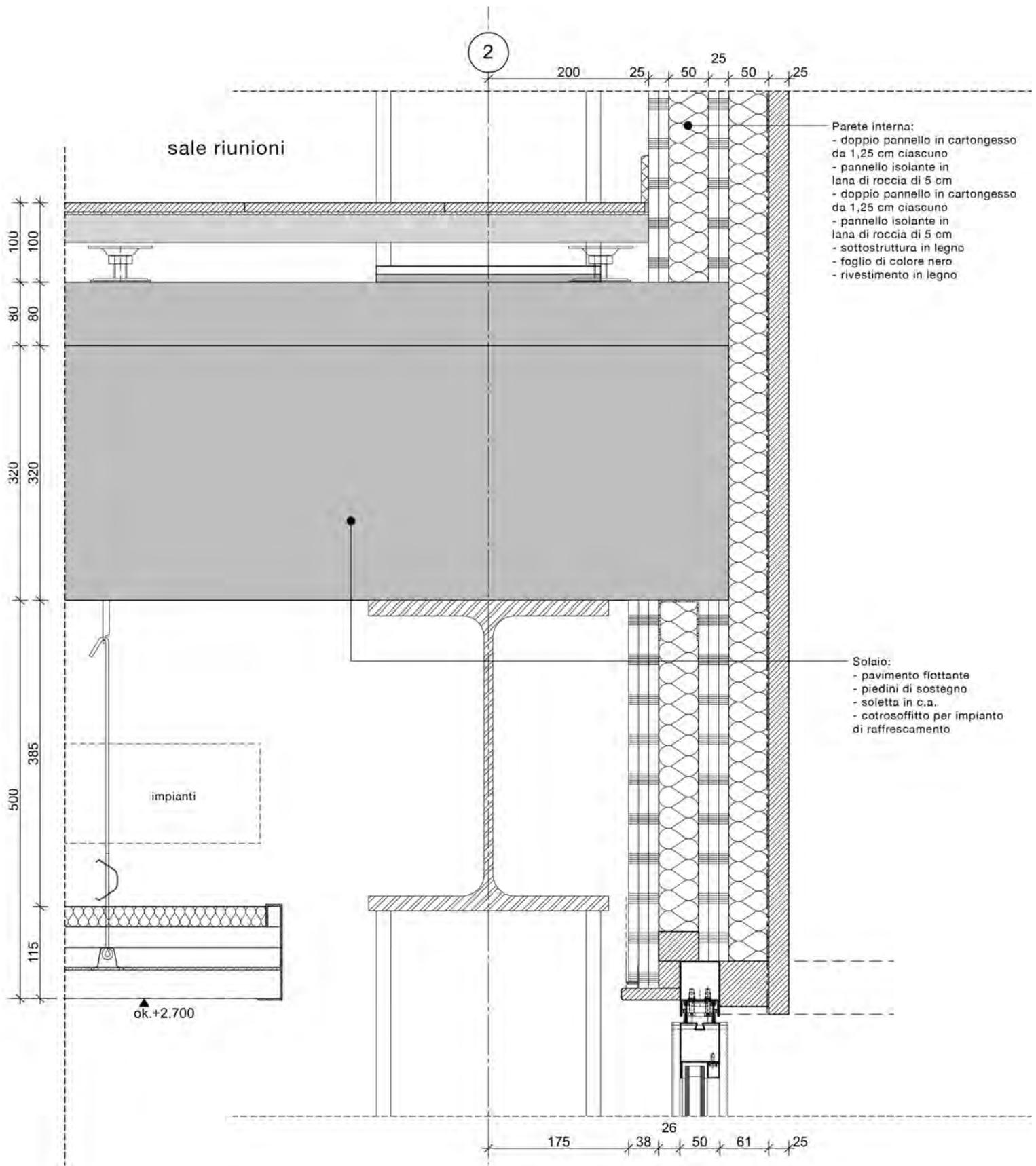


Fig. 33 | Dettaglio solaio\_partizione verticale tra area di lavoro e atrio. © RAU\_ELD

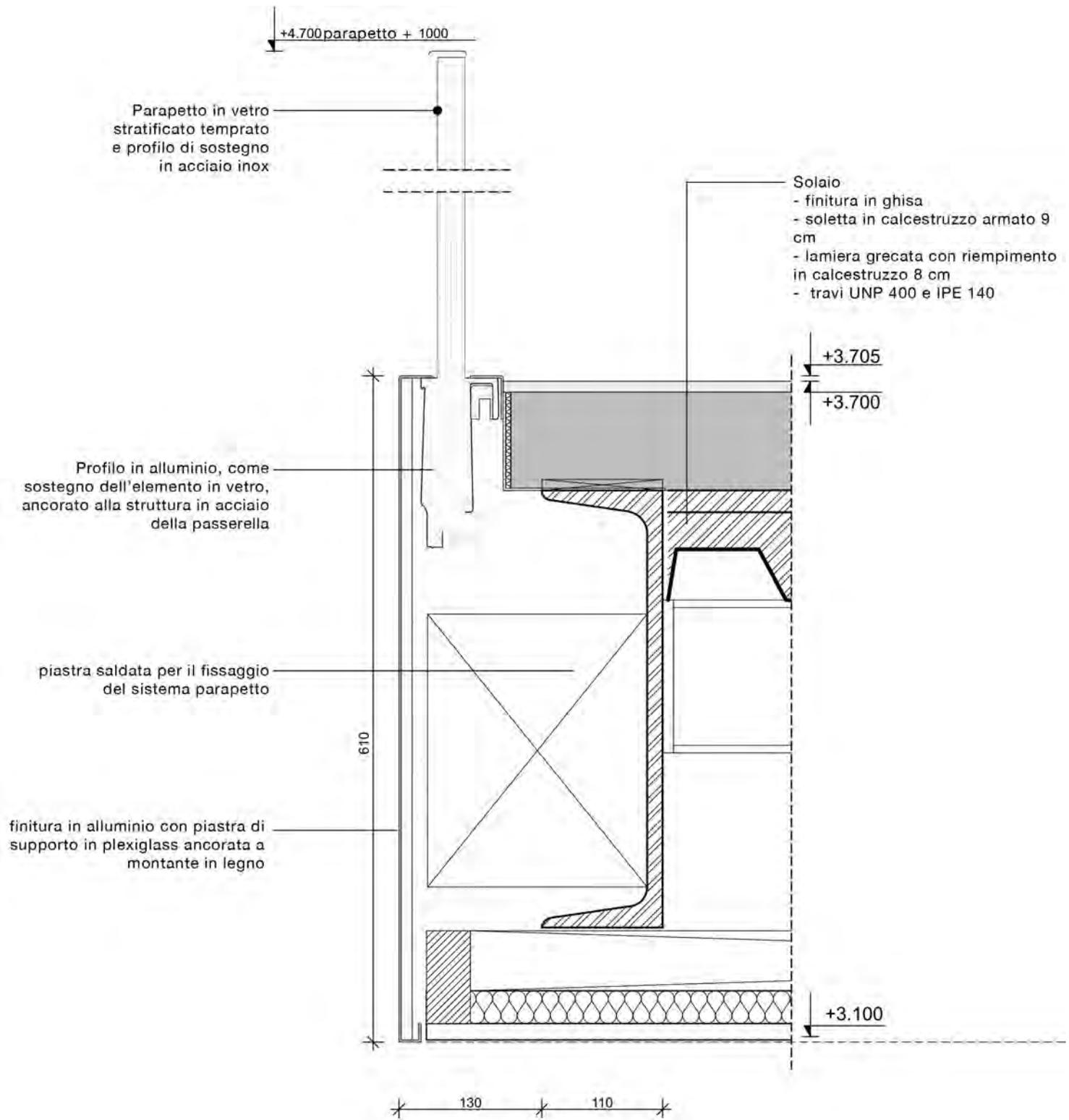


Fig. 34 | Dettaglio passerella. © RAU\_ELD

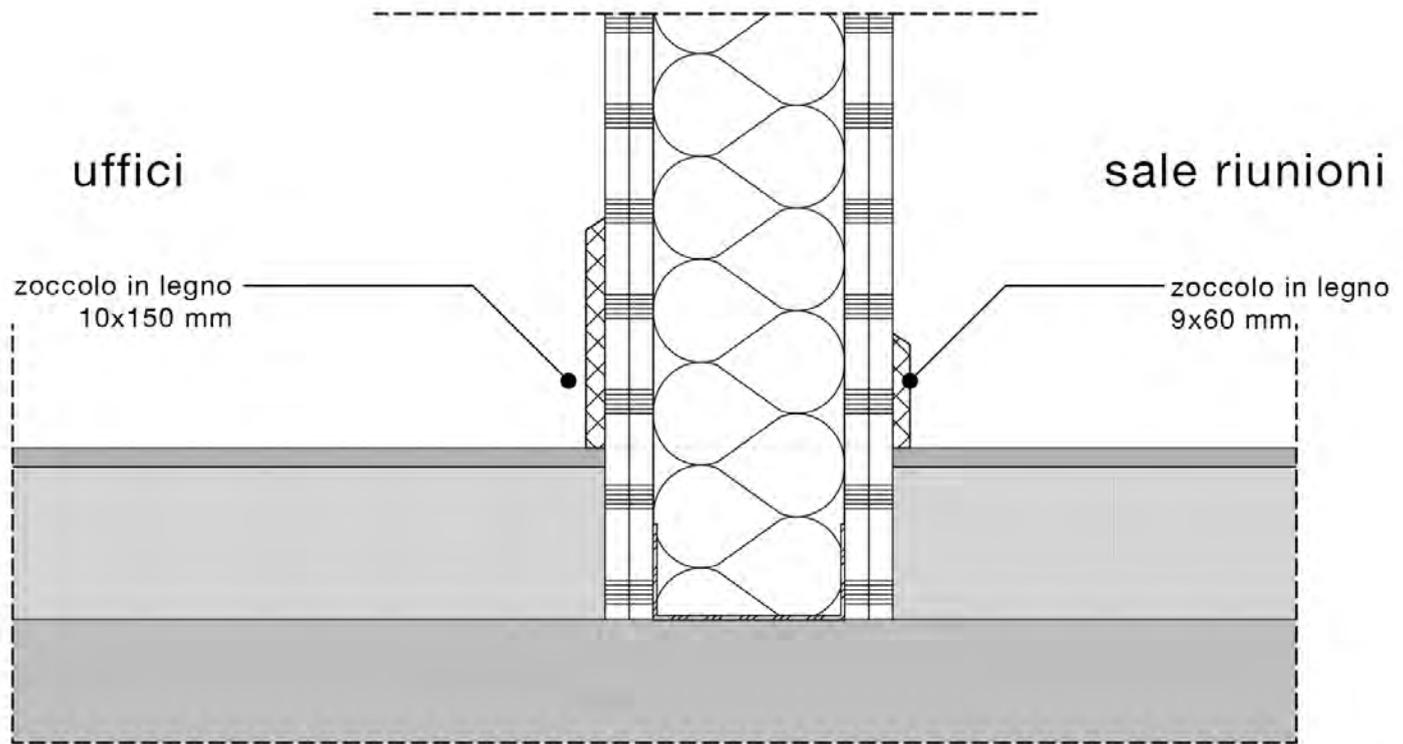


Fig. 35 | Dettaglio partizione interna. © RAU\_ELD

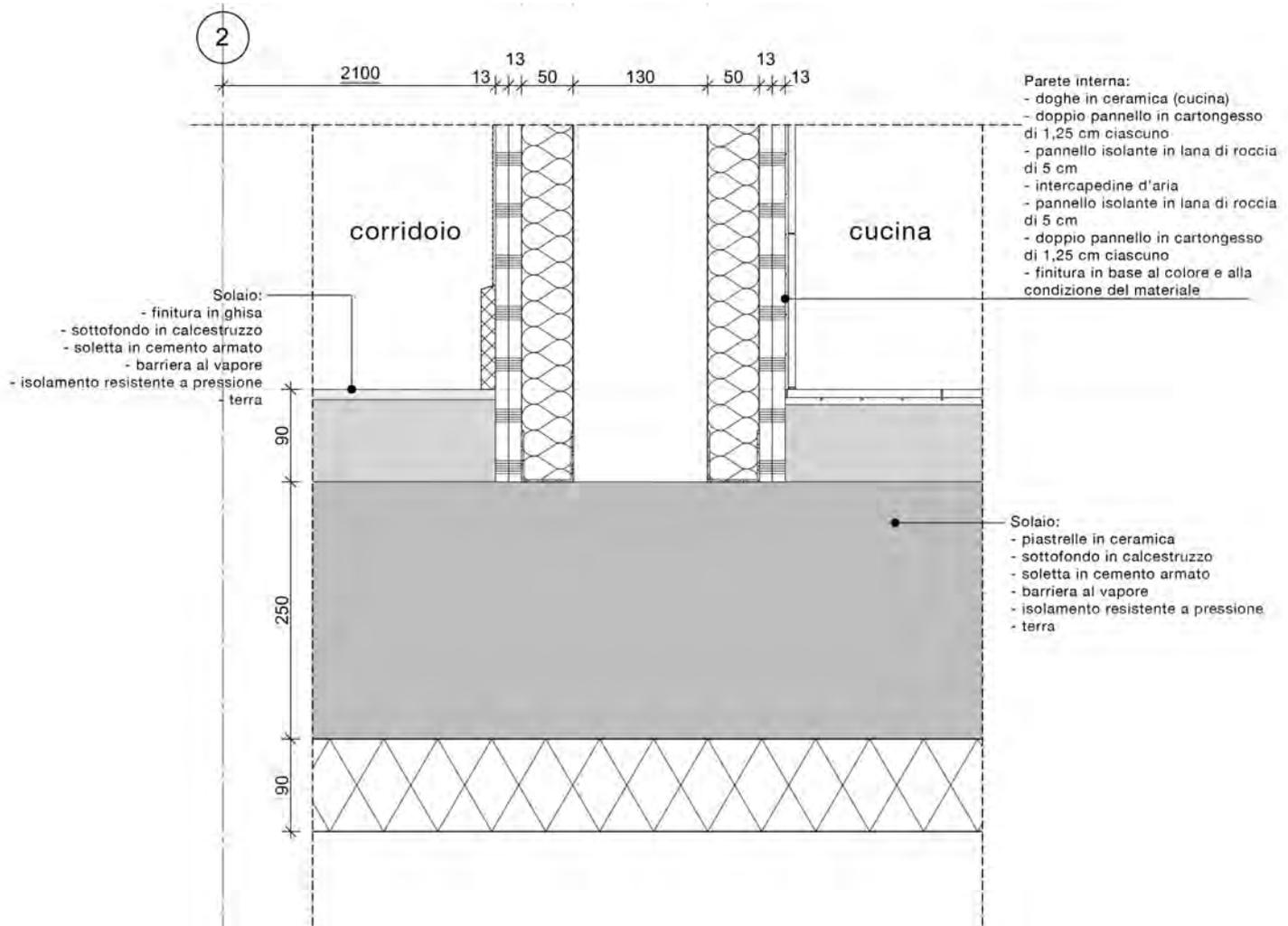


Fig. 36 | Dettaglio solaio\_partizione verticale tra area di lavoro e cucina. © RAU\_ELD

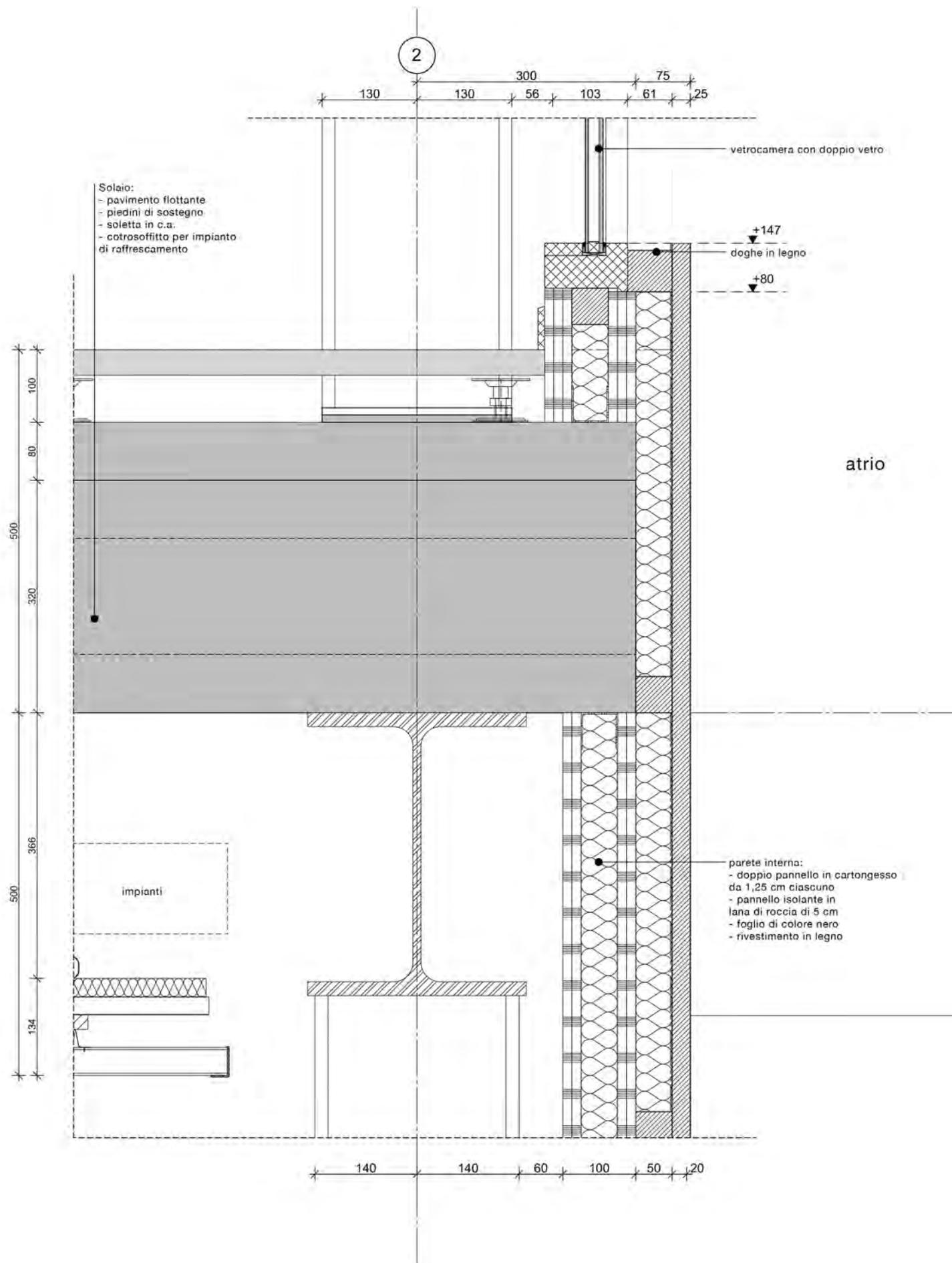


Fig. 37 | Dettaglio partizione interna con rivestimento in legno. © RAU\_ELD

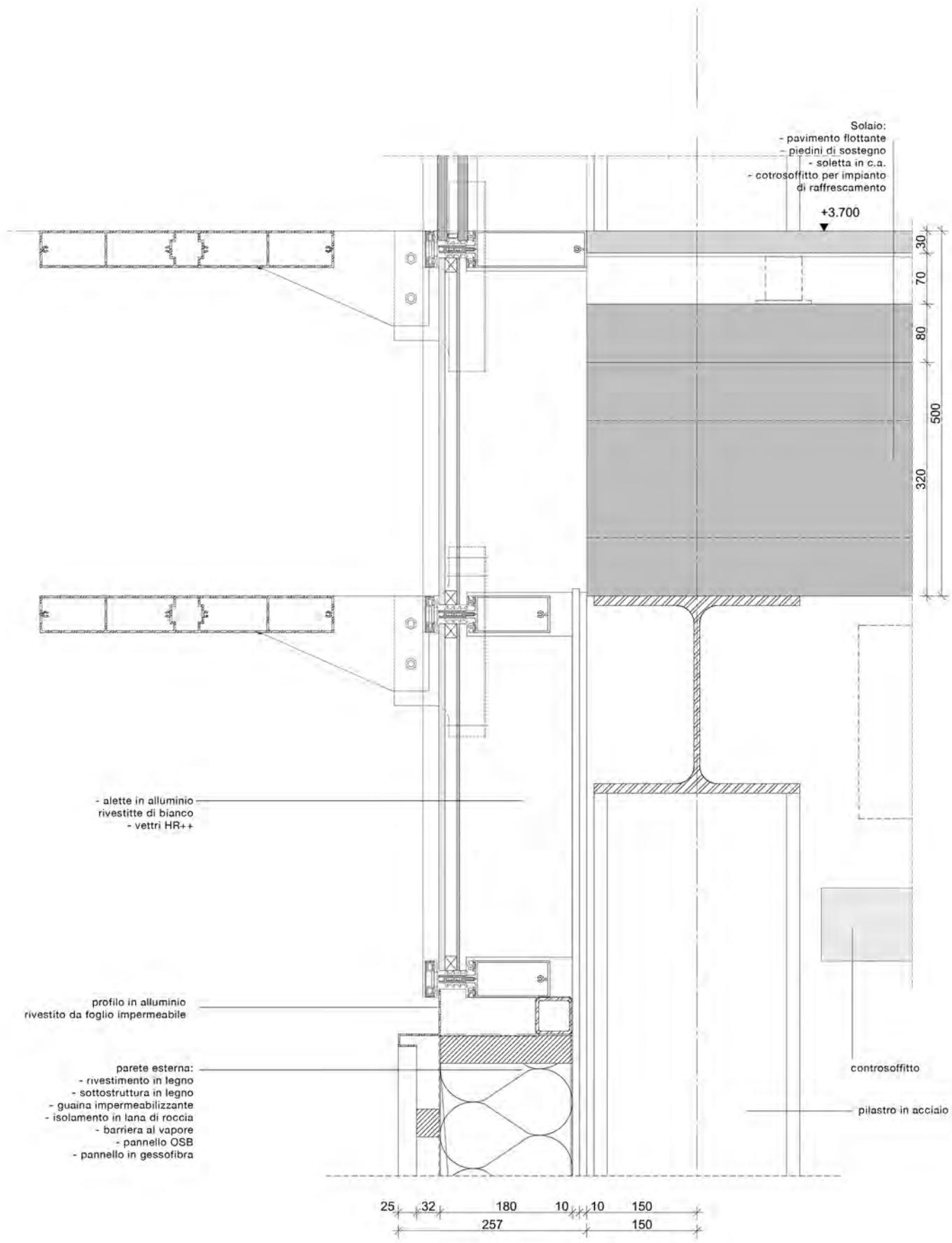


Fig. 38 | Dettaglio involucro. © RAU\_ELD

## Dati di Progetto

Luogo: Gent, Belgio  
Tipologia edificio: nuova costruzione  
Progetto: 2017 - 2018  
Costruzione: 2018 - 2019  
Superficie: 5176 m<sup>2</sup>  
Volume: 75.569 m<sup>3</sup>  
Piani: 4  
Destinazione: uffici

## Credits

Committente: Vandemoortele  
Architettura: RAU / ELD / VK Architects+Engineers  
Paesaggio: Neighbor  
Interni: Rau/Ahrend  
Acustica: Defonseca  
Ingegneria: Ingenium/ VK Architects+Engineers  
Contrattore generale: Key  
Impresa di costruzione: Van Roey/Maes  
Gestione: Bopro  
Fotografie: Marcel van der Burg

*Si ringrazia lo studio di architettura RAU Architects per la documentazione cortesemente messa a disposizione.*



## Tecla Caroli

Architetto e PhD Candidate presso il Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito del Politecnico di Milano, con una tesi dal titolo "Reverso: reversible technologies towards reusing, remanufacturing and recycling".

Assistente di Corsi di Laurea Triennale e Magistrale su temi riguardanti tecnologia dell'architettura, sostenibilità ambientale ed economia circolare. Autrice di diverse pubblicazioni su temi affini alla sua ricerca di dottorato e su progetti sviluppati durante la sua professione.



Acquista i  
Quaderni  
**CTA**



<https://www.collegiotecniciacciaio.it/costruzionimetalliche/shop/>

# LA RIQUALIFICAZIONE DEL MERCATO COPERTO DI RAVENNA

## THE REFURBISHMENT OF MERCATO COPERTO IN RAVENNA

M. Montanari\*, G. Saragoni

Progra Srl

Il progetto di riqualificazione del Mercato Coperto di Ravenna ha riconsegnato alla fruizione di cittadini e turisti un luogo simbolo della città rifunzionalizzato nel solco delle più recenti esperienze che a livello internazionale hanno coinvolto strutture di analoga rilevanza trasformandole in eccezionali poli di aggregazione urbana (figure 1-2). Trattandosi di Bene tutelato a causa della sua valenza culturale e testimoniale, la progettazione è stata, fin dall'inizio, orientata all'obiettivo di cercare di ottenere il massimo risultato riducendo al minimo gli interventi di modifica al fabbricato esistente. Ciò si è tradotto, da un punto di vista strutturale, in un ampio ricorso all'acciaio che, grazie alle sue caratteristiche intrinseche, ha permesso di rendere meno impattante, seppur efficace, l'intervento di rinforzo previsto per migliorarne la risposta sismica, nonché completamente reversibili i nuovi interventi aggiuntivi.

*The refurbishment of Mercato Coperto in Ravenna has returned a symbolic place of the city to the use of citizens and tourists, re-functionalized in the wake of the most recent international experiences that have involved similar structures, transforming them into exceptional poles of urban aggregation (figures 1-2). Since Mercato Coperto is a property protected for its historical and cultural value, the design, from the beginning, was oriented to obtain the maximum result by minimizing the modifications to the existing building. From a structural point of view a wide use of steel, thanks to its intrinsic characteristics, has made the reinforcements, designed to improve the seismic response of the building, effective but less impactful, as well as the new additional interventions completely reversible.*



Fig. 1 | L'ingresso del Mercato Coperto su Piazza A. Costa come si presenta oggi



Fig. 2 | La hall centrale del Mercato Coperto come si presenta oggi

### 1 Il Mercato Coperto di Ravenna e l'impostazione del progetto di riqualificazione

Il Mercato Coperto di Ravenna sorge nel cuore della città (figura 3) in una zona da sempre vocata alla commercializzazione dei prodotti alimentari e che da qualche anno a questa parte si è arricchita

di una variegata offerta di locali destinati alla pubblica ristorazione ed alla vendita di prodotti eno-gastronomici.

Il progetto originario, a firma dell'allora ingegnere capo del Comune di Ravenna, Ing. Eugenio Baroncelli, e del Prof. Tobia Gordini, risale al 1919 e prevedeva la demolizione di un intero quartiere

\*Corresponding author. Email: maurizio.montanari@progra.it



Fig. 3 | Immagine del Mercato Coperto di Ravenna da Google Earth



Fig. 4 | I lavori per la realizzazione del Mercato Coperto (1921)

disposto in angolo alle attuali Vie IV Novembre e Ponte Marino, nonché della pescheria, a forma semicircolare affacciata sull'attuale P.zza Andrea Costa e di proprietà di un'antichissima corporazione di pescatori "L' Ordine della Casa Matha" fondato, presumibilmente, nel IX secolo. La realizzazione, completata nel 1922, fu opera della Cooperativa Muratori progenitrice dell'attuale Cooperativa Muratori e Cementisti di Ravenna (figura 4).

Il progetto era stato concepito aggregando una serie di corpi di fabbrica minori ad un grande spazio centrale (hall) di circa 43 x 38 m. Questi corpi di fabbrica avevano il compito di raccordare la geometria regolare della hall al circostante contesto urbano. Così

sul lato Nord, un corpo di fabbrica di forma triangolare raccordava la hall con l'andamento planimetrico di Via Ponte Marino, mentre sul lato opposto, due ali rettangolari ricostruivano l'affaccio su Piazza Andrea Costa in sostituzione dell'emiciclo costituito dalla precedente pescheria. Un androne, a cinque lati in pianta, permetteva infine di raccordare il grande arco d'ingresso da Piazza Andrea Costa con la "serliana" che dava accesso alla grande hall. Dopo un importante intervento di ristrutturazione condotto a partire dal 1981 e fino al 1984 a firma degli architetti Danilo Naglia, Roberto Raffoni e Giuseppe Grossi, lo stabile da anni si presentava, seppur in uso, in stato di progressivo abbandono, ampiamente sotto utilizzato sia in termini di spazio, sia in termini di tempo e con alcuni evidenti segni di degrado. Nel 2004, al fine di ridare vita all'immobile liberandone le straordinarie potenzialità, il Comune commissionò all'Arch. Iginio Rossi uno studio che ponesse le basi per una futura gara pubblica per la riqualificazione del fabbricato. La gara di finanza di progetto per la realizzazione delle opere e per la successiva gestione dell'immobile fu indetta sul finire del 2010 e fu vinta dal raggruppamento Coop Adriatica, Consorzio Cooperative Costruzioni.

La progettazione si è mossa fin dall'inizio su due registri distinti e paralleli:

1) Da una parte l'adeguamento funzionale del contenitore alle istanze provenienti dalle più recenti tendenze internazionali che vedono luoghi simili trasformarsi in potenti aggregatori sociali che associano alla commercializzazione di prodotti eno-gastronomici, la somministrazione di bevande, la ristorazione e l'organizzazione di eventi pubblici e di spettacolo. In tal senso le maggiori sfide prestazionali che dovevano essere affrontate consistevano:

- nell'ampliamento e nell'adeguamento delle superfici disponibili al fine di ospitare i nuovi usi e le nuove attività commerciali;
- nel garantire le condizioni igieniche, climatiche ed acustiche richieste dai vigenti regolamenti per un grande contenitore pubblico;
- nel dotare il fabbricato delle più innovative soluzioni di controllo telematico;
- nel garantire la sicurezza in caso d'incendio mediante un moderno sistema di rilevazione e soluzioni innovative per permettere un deflusso ordinato del pubblico;
- nel garantire infine, la sicurezza delle nuove strutture in caso di sisma conseguendo contemporaneamente un adeguato livello di miglioramento della risposta sismica delle strutture esistenti.

2) Dall'altra un'attenta ottemperanza all'istanza conservativa su un bene di grande valenza storico-culturale per la città di Ravenna che ha avuto come obiettivo quello di garantire la salvaguardia dei caratteri originari del fabbricato a partire naturalmente dall'involucro. In tal senso le scelte progettuali, ritenendo essenziale tramandare al futuro i valori storico-artistici del fabbricato, hanno rispettato i criteri e i principi cardine della scienza del restauro: limitare l'intervento mantenendone comunque la distinguibilità, intervenire in modo da rendere sempre possibile la reversibilità, garantire la compatibilità fisico-chimica fra i materiali originali e quelli utilizzati nell'in-

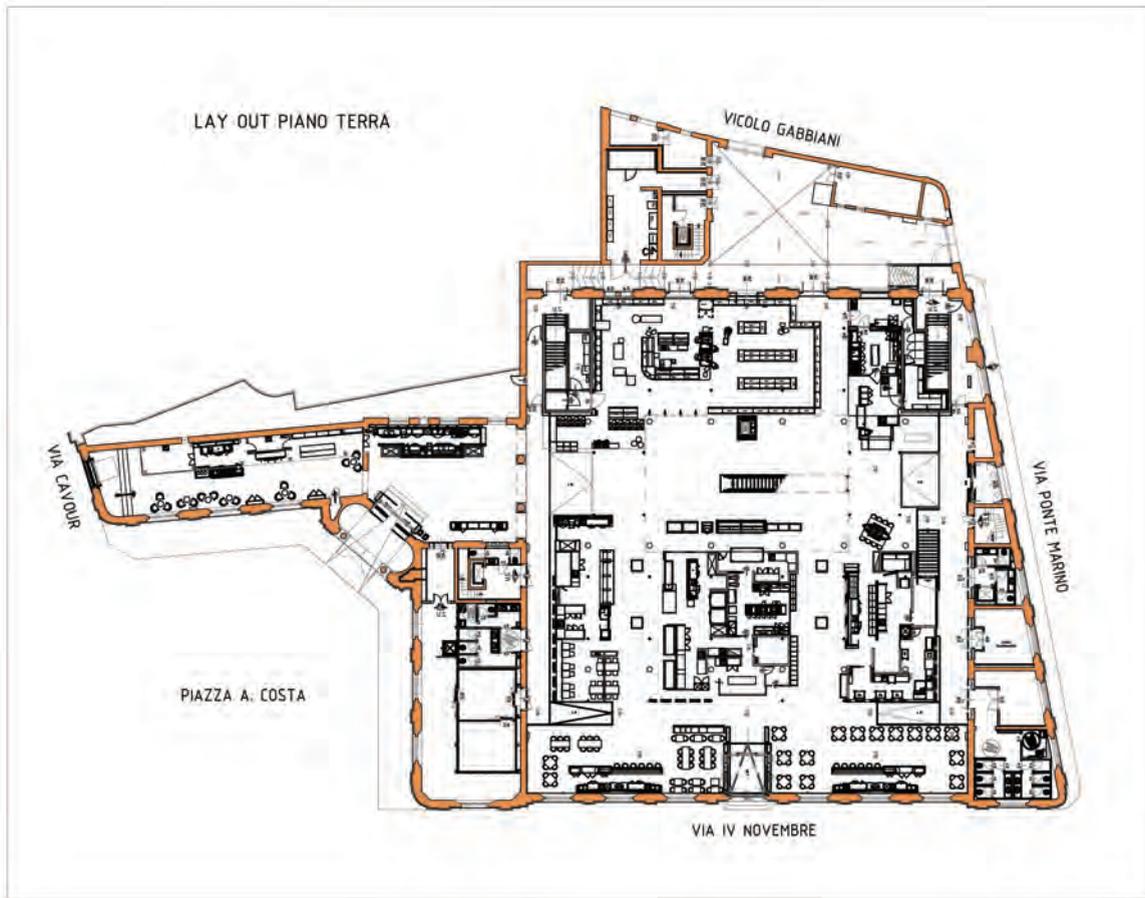


Fig. 5a | Nuovo layout commerciale- livello P.T.

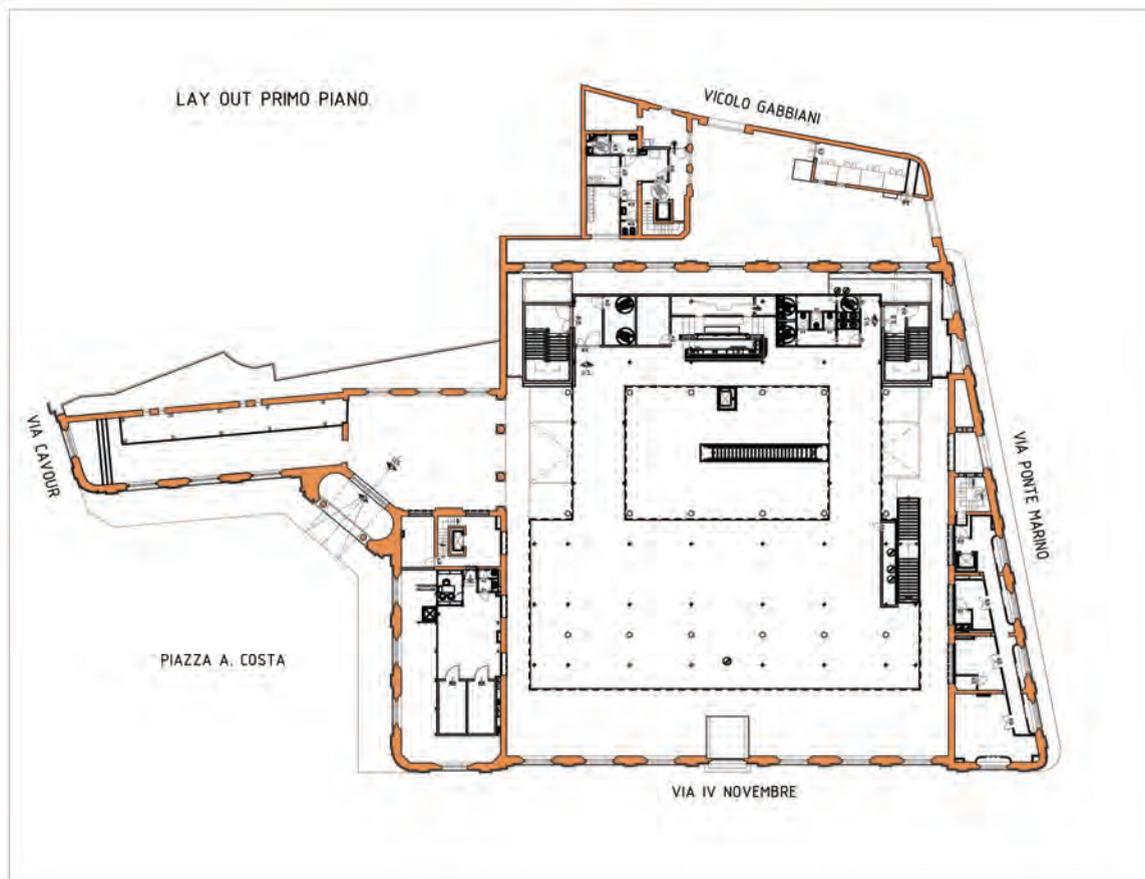


Fig. 5b | Nuovo layout commerciale- livello 1

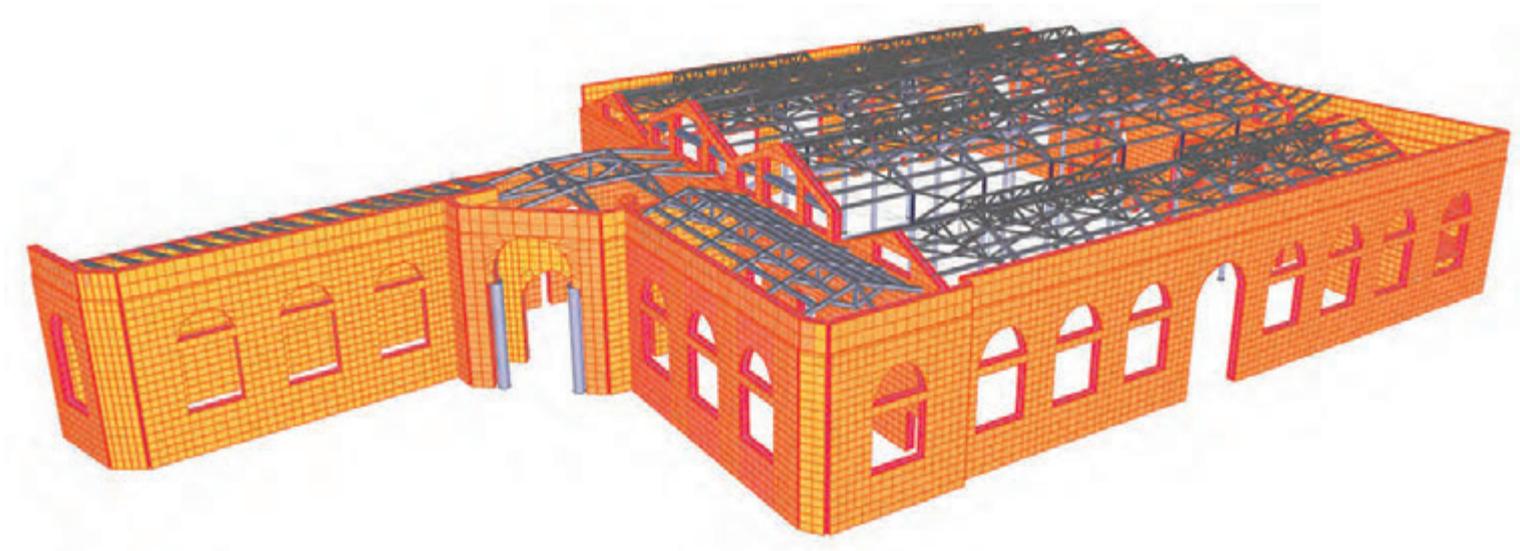


Fig. 6 | Modello agli elementi finiti implementato per le verifiche globali del fabbricato

tervento.

Il ritrovamento, durante gli scavi di fondazione di un articolato insieme di reperti archeologici risalenti al tardo Medio Evo, compreso, fra l'altro, ciò che ancora rimane dell'alveo dell'antico corso d'acqua Padenna, ha reso ancor più complesso il compito dei progettisti. E' stato infatti necessario metter mano alla completa riprogettazione non solo delle fondazioni delle nuove opere, ma anche di tutte le linee interrato dell'impiantistica idraulica, meccanica ed elettrica al fine di evitarne l'interferenza con i manufatti venuti alla luce, nonché rimetter mano al layout architettonico del P.T. La circostanza ha reso, fra l'altro, indispensabile ricorrere ad un rilievo laser scanner dei reperti su cui poter "appoggiare" la progettazione.

Da un punto di vista funzionale, il nuovo progetto ha previsto di scomporre il fabbricato in più unità edilizie alle quali affidare ruoli

diversi seppur in continua relazione reciproca. Così il corpo di fabbrica di forma triangolare adiacente a Via Ponte Marino è stato suddiviso verticalmente da due nuovi solai e destinato ad ospitare i locali tecnici per l'impiantistica elettro-meccanica, mentre la palazzina a due piani affacciata alla corte interna ed una delle due ali prospicienti Piazza Andrea Costa sono state adibite ad ospitare i magazzini ed i servizi per il personale. Il cuore del fabbricato rimaneva ovviamente la grande sala centrale vista come un percorso urbano coperto che collega Piazza Andrea Costa, Via IV Novembre e Via Ponte Marino ed attorno a cui gravitano le funzioni di vendita, ristorazione e produzione artigianale. La principale novità prevista dal nuovo progetto ha riguardato l'inserimento, proprio all'interno del volume centrale, di una nuova superficie di quasi 850 m<sup>2</sup>, completamente svincolata dall'involucro dell'edificio e dalle originarie colonne in ghisa, a cui sono state affidate funzioni diversificate come spazio eventi, bar/ristorazione, *temporary shop*, etc. (figure 5a-5b).

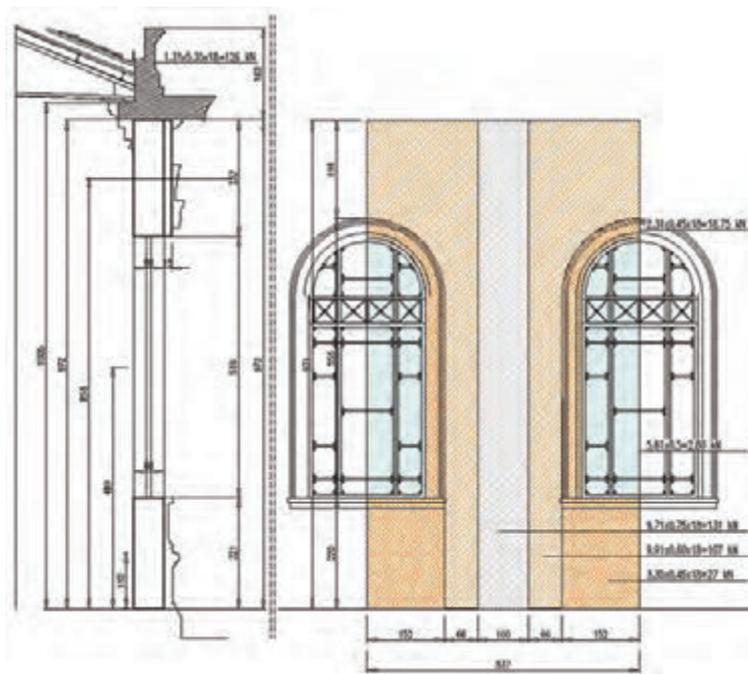


Fig. 7 | Sezione e prospetto di un maschio murario tipico dell'allineamento perimetrale

## 2 L'intervento di miglioramento sismico delle strutture esistenti.

Le strutture portanti del Mercato Coperto sono costituite da compatti maschi murari alti circa 10 m, di almeno 60 cm di spessore, interposti a grandi finestrate ad arco a tutto sesto ed eretti su fondazioni tronco-coniche sempre in muratura di quasi 2 m di profondità. Le coperture dei vari corpi di fabbrica sono generalmente in struttura lignea ad eccezione della grande hall centrale per coprire la quale furono impiegate 24 capriate in acciaio di circa 11 m di luce disposte a due quote diverse (10,15 m e 12,45 m) a formare quattro "navate" spartite da 3 file di 6 colonne di ghisa. In occasione della ristrutturazione dei primi anni '80, nel volume dei due corpi di fabbrica prospicienti Piazza Andrea Costa, furono inseriti due nuovi livelli retti da strutture a telaio metallico, autoportanti per quanto riguardava i carichi verticali e dotati di fondazioni autonome. I telai, vincolati orizzontalmente alle pareti perimetrali in muratura, venivano pertanto a costituire un efficace presidio nei confronti del rischio di ribaltamento delle pareti stesse. Per il resto non furono presi in considerazione altri interventi di

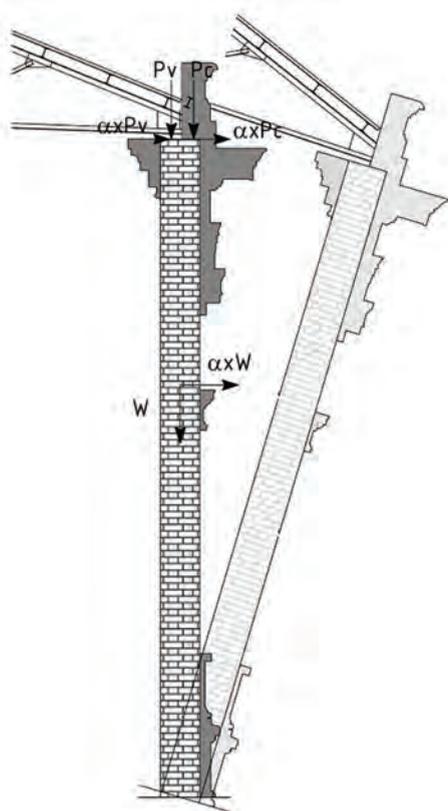


Fig. 8 | Schema di ribaltamento semplice della parete

rinforzo nei confronti dell'azione sismica alla luce del fatto che il Comune di Ravenna non era, allora, considerato "zona a rischio sismico" (lo divenne solo a seguito dell'entrata in vigore dell'OPCM 3274 del 20 marzo 2003). Era lecito pertanto aspettarsi che il fabbricato evidenziasse, da questo punto di vista, carenze più o meno gravi sia a livello globale, sia locale.

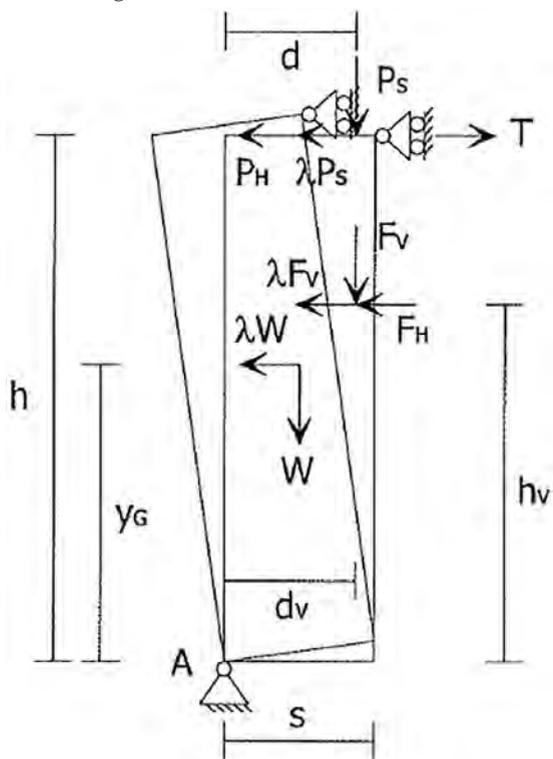


Fig. 9 | Schema di ribaltamento semplice con ritegno sommitale

Già in fase di progetto definitivo era stata condotta un'analisi di vulnerabilità sismica del fabbricato prendendo in considerazione lo spettro sismico per lo stato limite di Salvaguardia della Vita previsto dalla normativa [1] per l'area di Ravenna nel caso di classe d'uso III, verificandone il livello di sicurezza sia a livello globale (figura 6), sia nei confronti dell'insorgenza di meccanismi locali (figure 7-8).

L'analisi aveva evidenziato, come peraltro era abbastanza prevedibile, come il massimo fattore di rischio risiedesse nella stabilità fuori dal piano dei maschi murari interposti alle grandi finestrate delle pareti delimitanti la hall centrale. Ciò comportava un indice di vulnerabilità, espresso come rapporto capacità / domanda, pari a circa 0,7 (indice di adeguatezza pari al 70%). Valore per altro non particolarmente scarso e che si deve in larga parte attribuire alle buone caratteristiche meccaniche della muratura rilevate dalle indagini condotte in sito.

Come è noto nel caso di fabbricati tutelati, la Normativa sulle costruzioni [1], in osservanza del D.lgs 22 gennaio 2004 n° 42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio" [3] [4], ha previsto, proprio al fine di evitare opere di rinforzo eccessivamente invasive, che gli interventi possano limitarsi a garantire un apprezzabile miglioramento della risposta sismica del fabbricato senza, necessariamente, pervenire al suo adeguamento alle prescrizioni previste dalla Normativa stessa. Risultava pertanto necessario individuare provvedimenti che riducessero il rischio di ribaltamento dei maschi murari fuori dal proprio piano. In tal senso, fin dall'inizio, il ricorso alla struttura metallica è apparso come scelta obbligata sia perché si trattava di materiale che era già ampiamente impiegato nella struttura originaria (le capriate di copertura e le colonne della hall principale) e, pertanto, risultava pienamente compatibile con l'esistente, sia per l'eccezionale versatilità d'impiego e per l'opportunità di poter sempre ricorrere, in futuro, ad interventi di reversibilità. Si è pensato quindi di realizzare, in sommità delle pareti in muratura lungo tutto il perimetro della hall centrale, una cerchiatura costituita da due piatti metallici (uno interno ed uno esterno alla muratura) collegati reciprocamente da barre passanti solidarizzate con malta cementizia espansiva, ovvero, laddove il collegamento non si presentava possibile, ancorati al paramento murario tramite tasselli chimici.

Analogo intervento è stato riproposto anche per l'ala Ovest su Piazza Andrea Costa poiché il progetto prevedeva la demolizione dei due orizzontamenti e del relativo telaio metallico introdotti con la ristrutturazione degli anni '80. Al fine di realizzare un vincolo elastico alla sommità dei maschi murari e ricondurre la configurazione del maschio stesso allo schema raffigurato in figura 9, sono stati inseriti due sistemi di controventamento in corrispondenza degli intradossi dei due ordini di capriate (figure 10-11) collegati, a loro volta, da crociere verticali disposte lungo i salti di quota. I diagonali del sistema di controventamento sono stati previsti in tiranti Detan Ø 30 in acciaio S460, mentre i puntoni ed i correnti erano di volta in volta costituiti dalle briglie inferiori delle capriate, dalle travi in doppio UPN 260 che correvano lungo i salti di quota, ovvero da nuove travi in acciaio che era previsto di inserire (figure 12-15). L'intervento, oltre a garantire un vincolo elastico sommitale alle murature perimetrali, aveva lo scopo di incrementare la rigidità del piano di copertura in modo da riportare le sol-

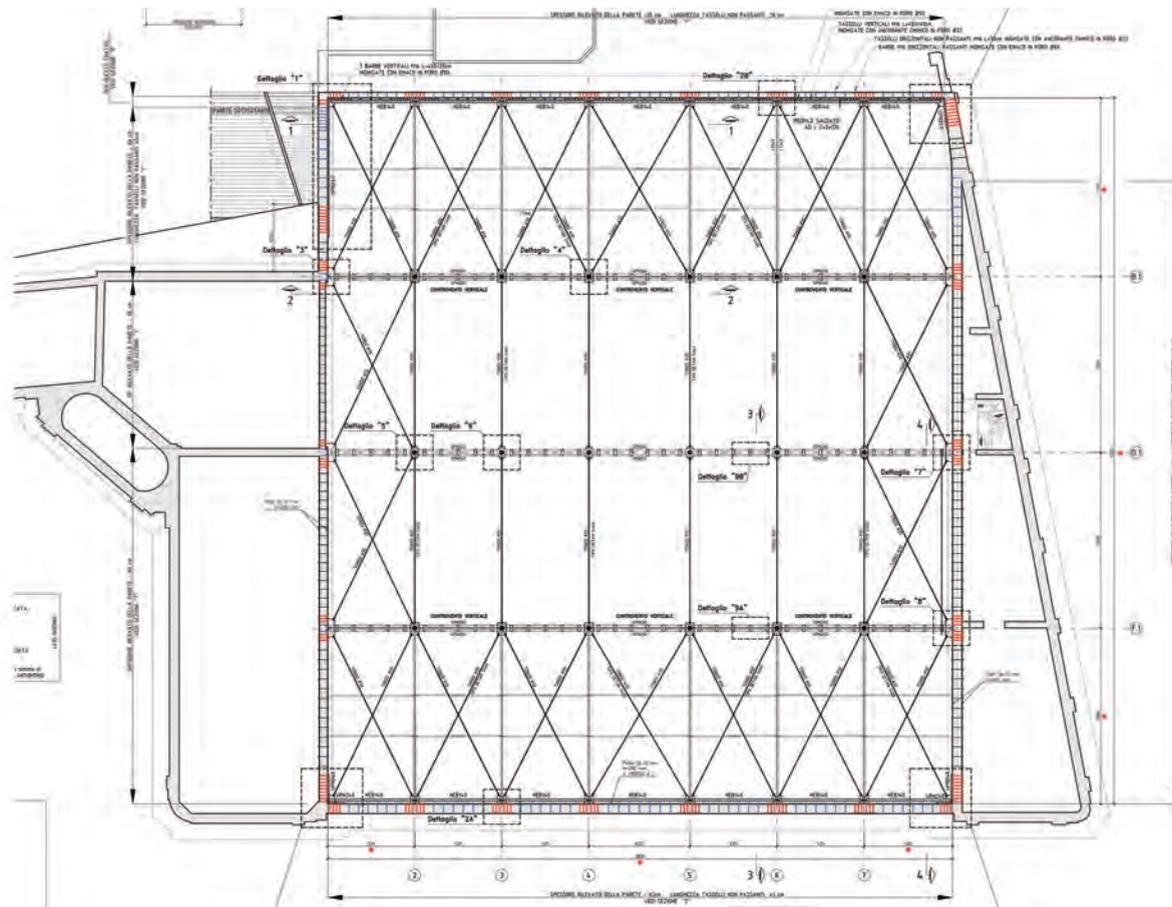


Fig. 10 | Stato di progetto – pianta copertura a quota +10.15 m

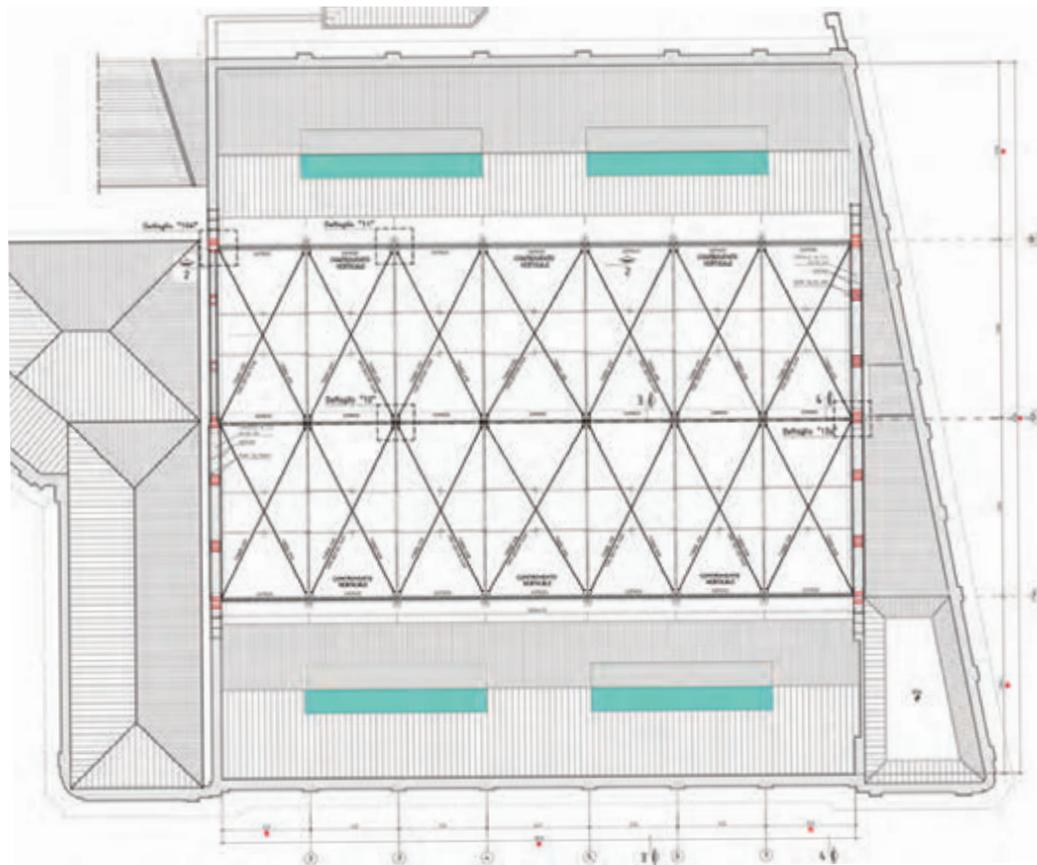


Fig. 11 | Stato di progetto – pianta copertura a quota +12.45 m



Fig. 12 | Immagine del dettaglio di attacco del controvento di piano al nodo di appoggio della capriata centrale

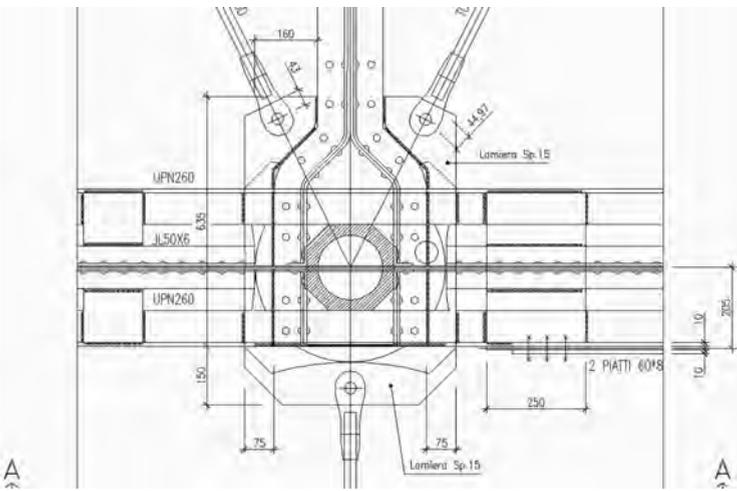


Fig. 13 | Pianta dettaglio di attacco del controvento di piano al nodo di appoggio della capriata centrale



Fig. 14 | Immagine del nodo di ancoraggio del controvento di piano ai paramenti murari

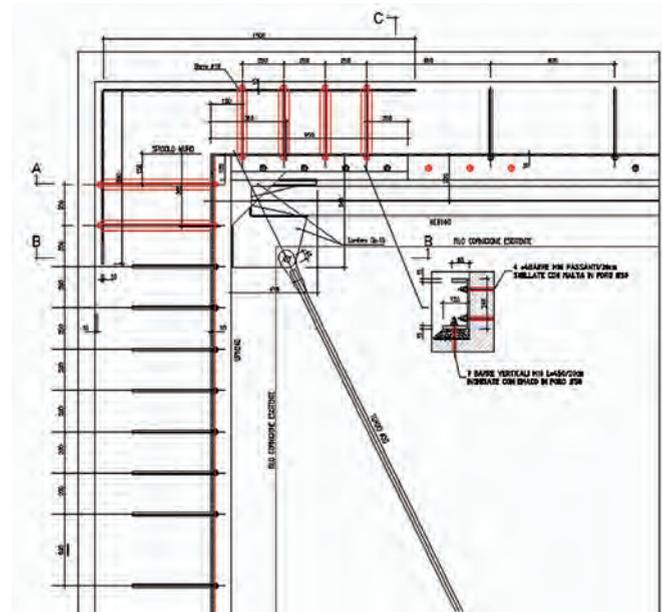


Fig. 15 | Pianta nodo di ancoraggio del controvento di piano ai paramenti murari

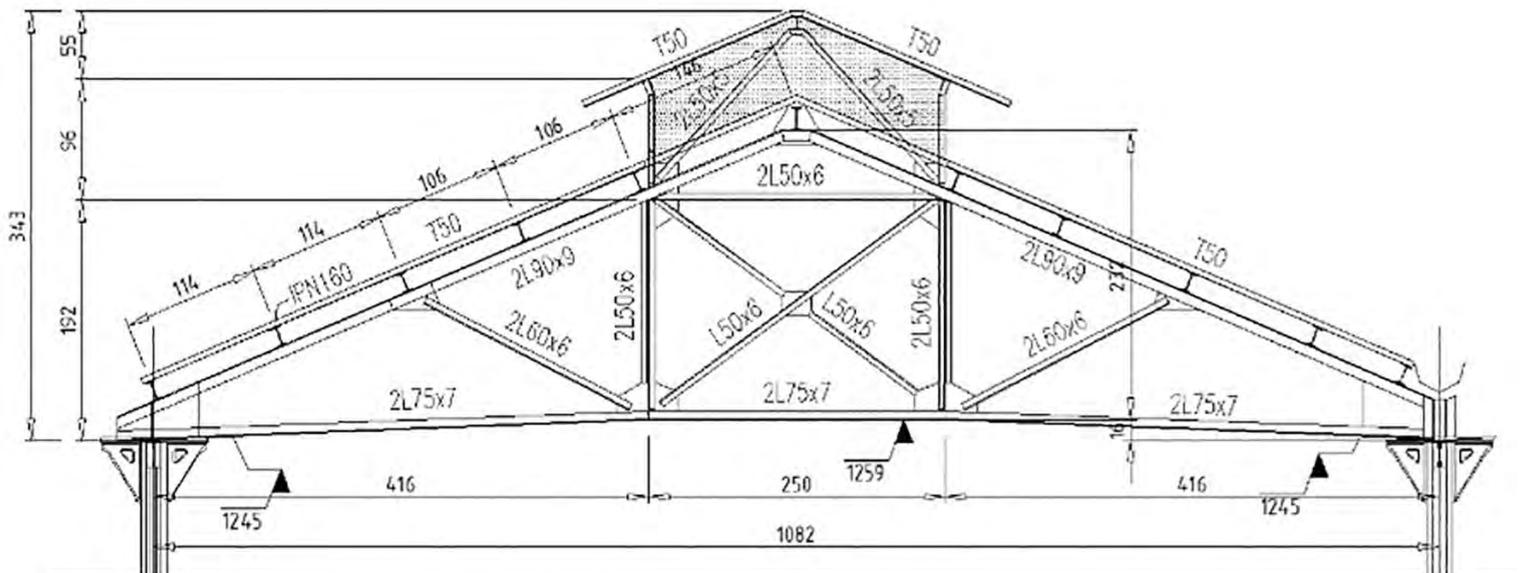


Fig. 16 | Prospetto della capriata nella configurazione dello stato di fatto

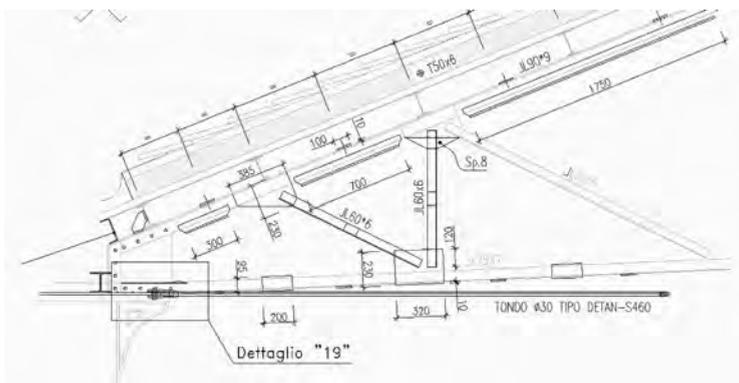


Fig. 17 | Immagine della capriata rinforzata

lecitazioni sismiche, indotte dalla massa della medesima, sugli allineamenti murari paralleli alla direzione del sisma cercando quindi di minimizzare le sollecitazioni ortogonali ai paramenti stessi.

I risultati degli schemi di calcolo, riformulati tenendo conto della nuova configurazione di progetto, hanno evidenziato il raggiungimento, relativamente ai meccanismi di ribaltamento locale, di rapporti capacità / domanda sempre maggiori ad 1 in tutti i casi esaminati.

L'analisi di vulnerabilità aveva inoltre evidenziato alcune carenze locali delle capriate esistenti nei confronti dei carichi verticali dovuti al peso proprio della copertura ed alla neve. Aspetti questi, che non furono evidenziati in occasione della ristrutturazione degli anni '80 perché causati essenzialmente dall'incremento del carico permanente portato dovuto al materiale posato in copertura al fine di garantirne il miglioramento del coefficiente di trasmissione termica e, soprattutto, dal carico variabile della neve previsto dall'attuale Normativa (nonché dalle varie configurazioni di accumulo), sensibilmente più alto di quanto richiesto a suo tempo. In particolare le verifiche condotte hanno evidenziato una criticità localizzata in corrispondenza del corrente superiore, nella zona adiacente l'appoggio della capriata, a causa della compresenza di sforzo normale di compressione unitamente alla flessione provocata dall'arcareccio posato in falso. L'intervento di rinforzo è stato studiato con lo scopo di eliminare la flessione del corrente superiore mediante l'introduzione di un nuovo puntone e di un nuovo diagonale. Oltre a ciò è stato necessario incrementare la resistenza a compressione dell'asta mediante il rinforzo della sezione con un profilo saldato (figure 16-18).

### 3 Gli interventi di consolidamento su alcune colonne di ghisa.

Fin dalle prime fasi di progetto era nota la presenza di una colonna della hall centrale rinforzata, nel suo tratto inferiore, da una serie di cerchiature metalliche giustapposte l'una sull'altra. Lo smontaggio delle cerchiature, in fase di esecuzione dei lavori, ha evidenziato effettivamente la presenza, nella colonna in oggetto, di una lunga lesione verticale. (figura 19). Le indagini visive e strumentali che è stato possibile eseguire sempre durante l'esecuzione dei lavori, hanno permesso inoltre di evidenziare l'esistenza di ulteriori difetti presenti in altre colonne, per lo più, fortunatamente, di limitata estensione.

A tale quadro faceva eccezione una colonna ove il rilievo ad ultra-



Fig. 18 | Particolare rinforzo capriata

suoni ha evidenziato una vistosa variabilità dello spessore lungo la circonferenza della colonna stessa per un'estensione, in altezza, di almeno 3 m (figura 20). Lo spessore che nei disegni di progetto era indicato in 30 mm è stato infatti rilevato variare con continuità lungo la circonferenza della colonna da un minimo di 10 mm ad un massimo di 40-50 mm in corrispondenza della direttrice opposta (fenomeno che con ogni probabilità era da addebitarsi ad un inconveniente insorto durante la colata della ghisa fusa



Fig. 19 | Immagine della colonna di ghisa n°3 lesionata

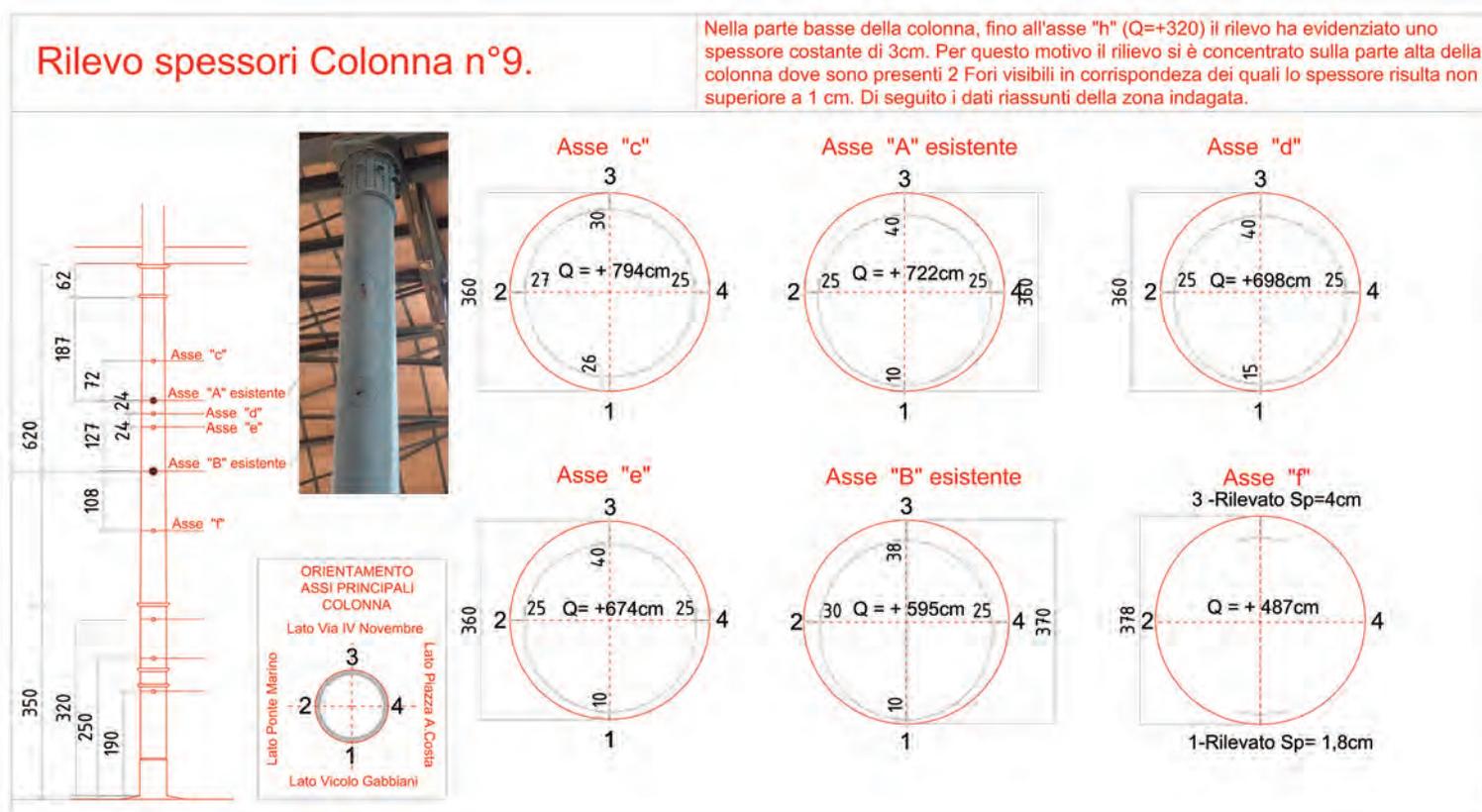


Fig. 20 | Rilievo spessimetrico della colonna di ghisa n° 9 con anomalia dello spessore



Fig. 21 | Immagine della colonna n° 3 dopo l'intervento Metalock

nello stampo a ciò predisposto). Tale configurazione geometrica, pur mantenendo pressoché costante l'area della sezione trasversale della colonna, causava, per il tratto di colonna interessato, a seguito del disassamento della posizione del baricentro della sezione trasversale, una riduzione del momento/raggio d'inerzia e del modulo di resistenza minimo nei confronti della flessione agente nel piano verticale che unisce le direttrici con i valori minimo e massimo dello spessore.

Da ciò conseguiva una apprezzabile riduzione del coefficiente di sicurezza della colonna soggetta a carichi verticali più o meno eccentrici addebitabile a più concause (aumento della snellezza della colonna, insorgenza di un momento flettente secondario causato dal disassamento del baricentro, incremento della tensione flessionale stessa a seguito della riduzione del modulo di resistenza). La possibilità di una simile anomalia era già stata presa in considerazione dai progettisti strutturali nell'intervento del 1983, Prof. Roberto Alessi ed Ing. Antonio Raffagli, i quali, al fine di ridurre prudenzialmente la luce libera d'inflessione delle colonne, avevano realizzato una struttura che le collegava tutte a metà altezza, costituita da travi Vierendeel e tiranti in tondino. Struttura che l'attuale progetto aveva previsto di asportare poiché interferente con il nuovo impalcato.

Nel caso della prima colonna si è riusciti ad intervenire ricucendo i due lembi della lesione con delle "chiavette" in una speciale lega d'acciaio ad alto contenuto di Nichel con una tecnologia brevettata dalla Metalock International Association Ltd (figura 21).

Nel secondo caso si è pensato di intervenire rinforzando il tratto della colonna di ghisa che presentava le descritte anomalie geo-

metriche, accoppiando ad essa un tubo d'acciaio realizzato assemblando, esternamente alla colonna di ghisa stessa, due semi cilindri tramite una doppia bullonatura. Il compito di trasferire le azioni interne dalla colonna di ghisa al tubo d'acciaio è stato affidato ad una clampa ad attrito pretensionata su un anello di grout di alte caratteristiche meccaniche ed a ritiro compensato, gettato nell'interstizio lasciato fra clampa e colonna di ghisa (figure 22-23).

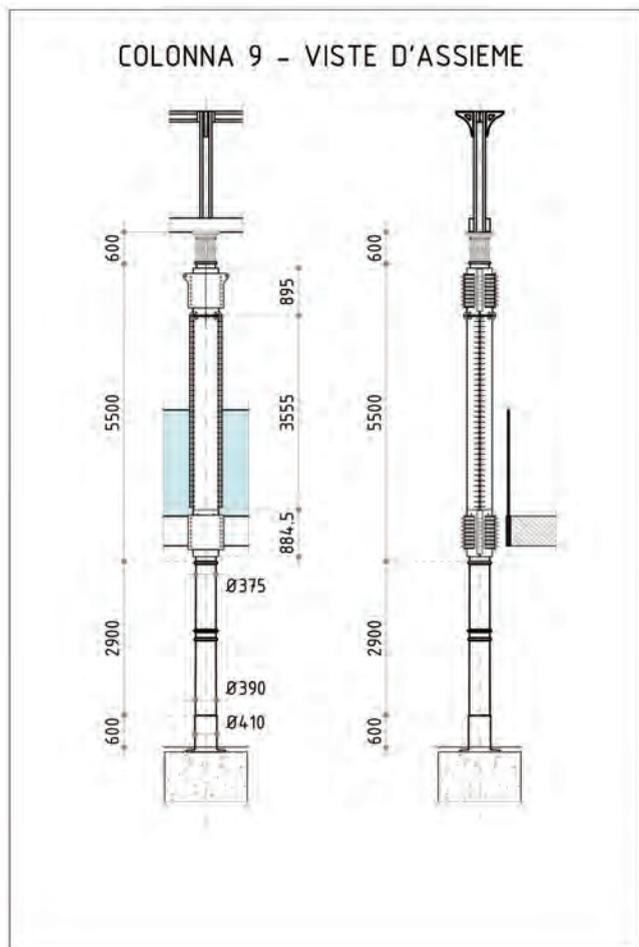


Fig. 22 | Intervento sulla colonna di ghisa n° 9 - assieme

Un' analoga clampa, posizionata all'estremità inferiore del tubo in acciaio aveva, infine, il compito di ritrasmettere le azioni interne alla sottostante porzione della colonna di ghisa che non presentava anomalie e, da quest'ultima, in fondazione.

L'intervento, di uso abbastanza frequente in campo offshore [5], fa sì che più del 65% del carico variabile della neve venga trasferito al tubo metallico esterno riducendo così le azioni che, diversamente, avrebbero sollecitato esclusivamente la colonna di ghisa. La pretensione dei tiranti è stata comunque dimensionata in modo che, nella malaugurata ipotesi di un collasso localizzato della colonna, il tubo esterno in acciaio possa, in condizioni limite, assorbire l'intero carico assiale. Nel seguito si riporta una visualizzazione della schematizzazione FEM impiegata per verificare la clampa (figura 24) ed un'immagine dell'intervento finito (figura 25).

#### 4 Il nuovo impalcato

L'intervento di nuova realizzazione più rilevante è costituito dall'impalcato di circa 850 m<sup>2</sup> eretto all'interno della hall centrale. Il soppalco posto a quota + 4,86 m e destinato ad ospitare, fra l'altro, le attività culturali e di intrattenimento (figura 26), risulta completamente indipendente dalle strutture portanti del fabbricato esistente (maschi murari perimetrali e colonne di ghisa) e consta di due piastre rispettivamente di circa 200 m<sup>2</sup> e 500 m<sup>2</sup> unite tramite due passerelle di 4,65 m di larghezza e 11,85 m di lunghezza (figura 27). In tal modo viene a configurarsi un'asola centrale a tutta altezza che crea una specie di piazza interna ed attraverso la quale l'originaria struttura di copertura risulta chiaramente percepibile anche da piano terra.

L'orizzontamento del soppalco, realizzato con una soletta in calcestruzzo collaborante alla sottostante lamiera grecata, viene supportato da una doppia orditura ortogonale di travi metalliche secondarie e principali, di cui queste ultime realizzate con due profili distanziati di 1 m in modo da dar spazio per il passaggio delle colonne di ghisa. I 43 pilastri, in profilo tubolare, disposti in corrispondenza dell'interasse della coppia di travi principali (figura 28), vengono così a trovarsi in allineamento alle originarie colonne di ghisa mantenendone la scanditura. Un paramento in vetro, alto 2 m, corre in aggetto, lungo l'intero perimetro dell'impalcato e ga-

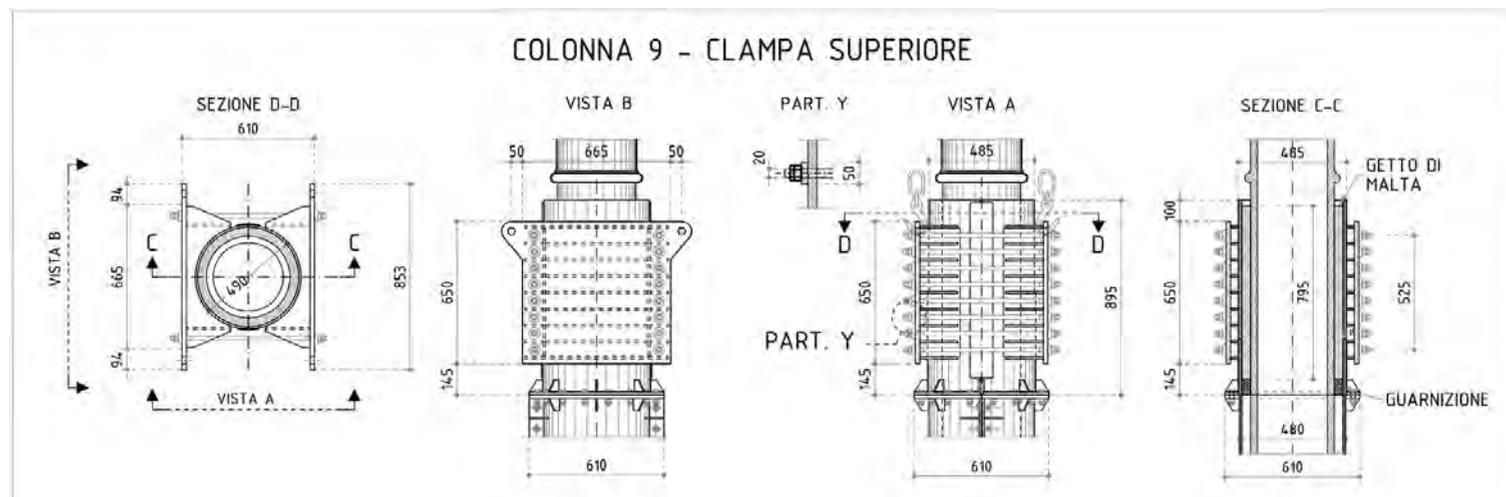


Fig. 23 | Intervento sulla colonna di ghisa n° 9 - particolari clampa

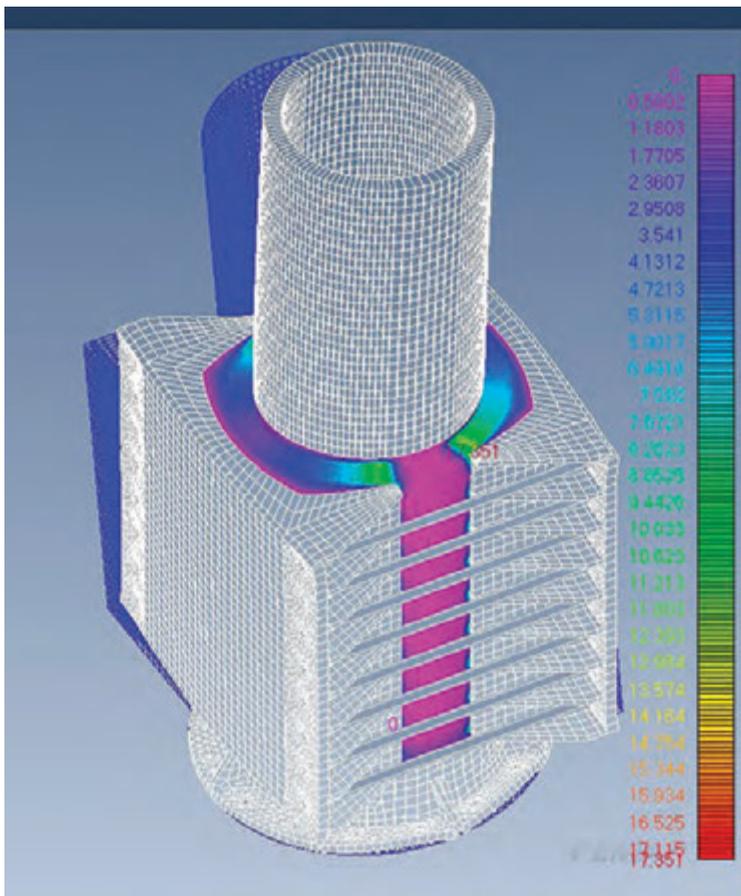


Fig. 24 | Vista 3D del modello FEM della clampa superiore (deformata e pressioni di contatto [N/mm<sup>2</sup>])

rantisce, assieme agli evacuatori posti sul coperto, che le emissioni di fumo scaturite da un eventuale incendio sviluppatosi a piano terra, non invadano l'area del soppalco dando così tempo al pubblico di raggiungere in sicurezza l'esterno del fabbricato. L'intera struttura metallica è stata infine protetta dal fuoco con un ciclo di verniciatura intumescente al fine di garantirne la resistenza per almeno 90 min.

Lo schema strutturale adottato per il calcolo sismico è stato quello di piastra rigida supportata da ritti pendolari e stabilizzata lateralmente da controventi dissipativi concentrici a diagonale tesa attiva (figura 29) in acciaio S235. L'adozione di una struttura dissipativa ha il vantaggio di limitare il numero e/o le dimensioni dei controventi verticali, garantendo quindi una maggiore fruibilità degli spazi commerciali e minori sollecitazioni in fondazione. Il posizionamento poi, dei controventi stessi lungo il perimetro delle 2 piastre (figura 30) e la calibratura delle sezioni dei profili impiegati, ha permesso di mantenere il centro delle rigidezze molto prossimo al centro di massa riducendo quindi fortemente il contributo dei modi di vibrazione torsionali alla risposta dinamica della struttura (figure 31a, b e c) riconducendola praticamente a quella di un oscillatore a due gradi di libertà.

Per motivi legati ad un migliore sfruttamento commerciale dell'area sottostante l'impalcato, è stato necessario sostituire un controvento a croce di Sant'Andrea agente in direzione X, con una coppia di controventi più deformabili a  $\lambda$  rovesciata. Ciò ha fatto sì che

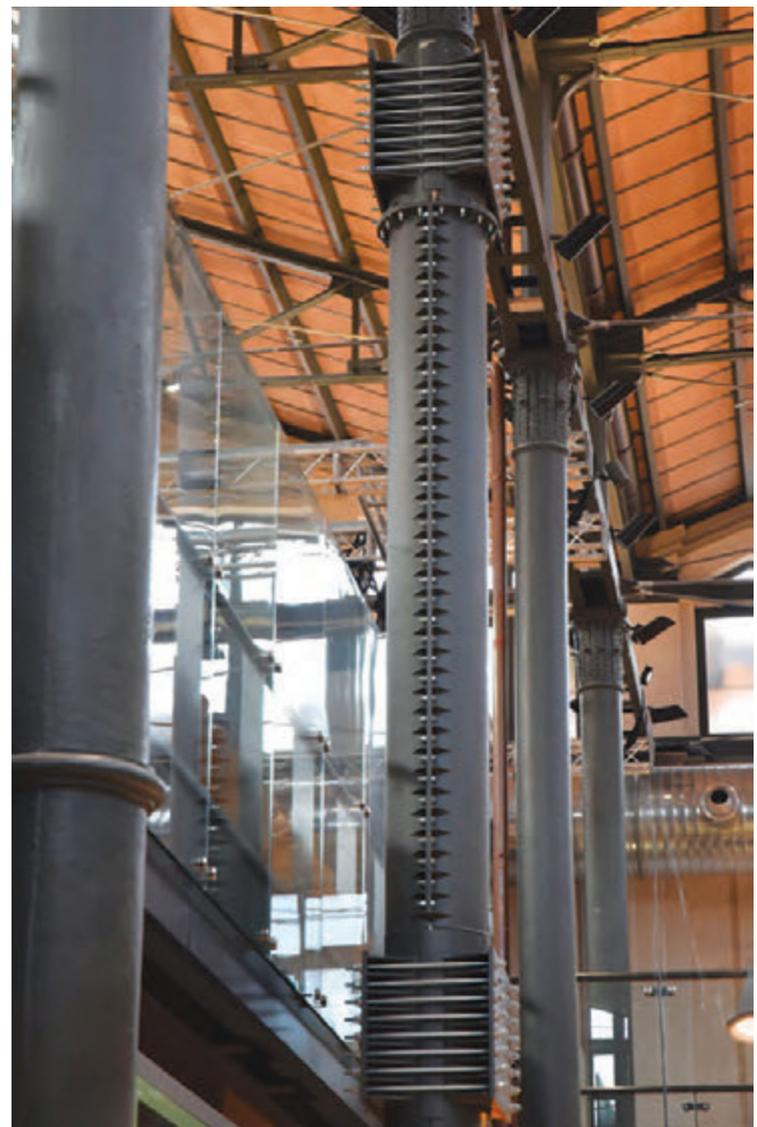


Fig. 25 | Immagine dell'intervento sulla colonna n° 9 finito

le rigidezze nelle due direzioni ortogonali X e Z risultassero abbastanza diverse e che in direzione X, anche impiegando per le aste dei diagonali acciaio S235, non sia stato possibile attingere alla massima duttilità prevista dal DM 2008, in caso di progettazione in bassa duttilità ( $q=4$ ), poiché la condizione dimensionante risultava essere il rispetto dei limiti deformativi in condizioni sismiche SLD ( $\delta/H \leq 0,01$ ). Ciò risultava conseguibile differenziando i fattori di struttura nelle due direzioni ed adottando, per la direzione X, un valore del fattore di struttura  $q$  pari a 3.

Come precedentemente anticipato la scelta di prescrivere acciaio S235 per i diagonali dei controventi dissipativi, al posto del più comune S275, discendeva essenzialmente dal fatto che le sezioni, relativamente maggiori, dei diagonali stessi permettevano di limitare il *drift* dell'impalcato in condizioni sismiche SLD. Tale scelta però, ha comportato inconvenienti in fase di realizzazione a causa della difficoltà di approvvigionamento di profili in S235 lamentata dall'impresa. È stato infatti proposto l'impiego di acciai, nominalmente dichiarati S235 (nei termini di quanto prescritto da [6]), ma che, in effetti, davano l'impressione di essere acciai S275, declassati in S235 non tanto a causa di una tensione di snervamento

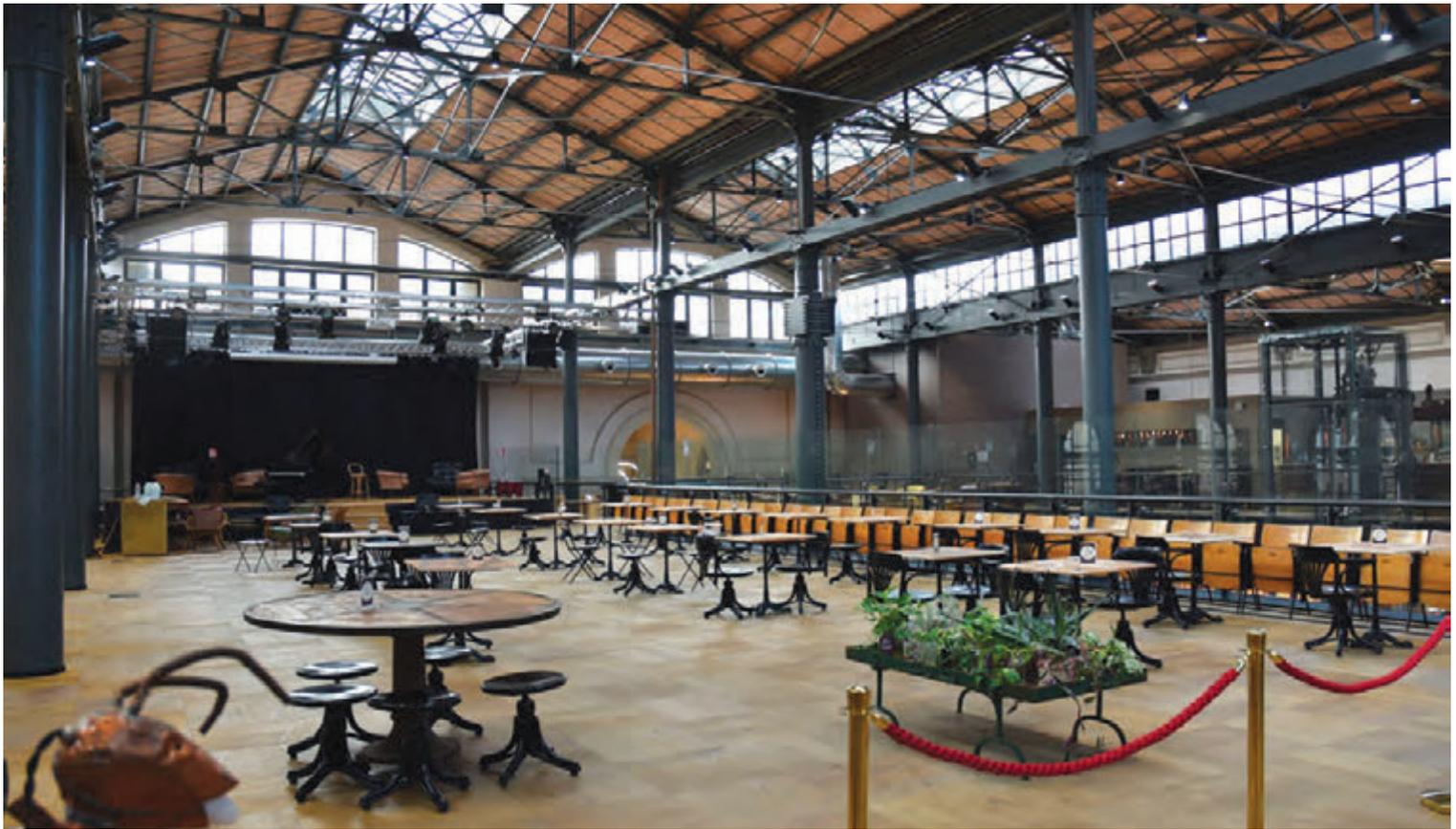


Fig. 26 | Immagine del sopralco come si presenta a lavori terminati

inferiore a quella minima richiesta (275 MPa), quanto piuttosto a causa di una tensione di rottura inferiore al valore minimo richiesto (430 MPa). Nel caso peggiore, dal certificato d'origine, si desumevano i valori di  $ReH = 337$  MPa e di  $Rm = 387$  MPa, (le prove,

condotte su tre provini, condussero a valori di  $f_y$  pari mediamente a 300 MPa e a valori di  $f_t$  pari mediamente a 418 MPa). Tutto ciò risultava in contrasto con quanto riportato dal DM 14-01-2008 [1], in vigore all'epoca del progetto, laddove prescrive che l'acciaio impiegato in zone dissipative rispetti la disequaglianza:  $f_{y_{max}} \leq 1,2 f_{y_k} = 1,2 \times 235 = 282$  MPa. Ciò al fine di garantire che i collegamenti, progettati adottando il fattore di sovrarresistenza  $Y_{Rd}$ , pari ad 1,2 (nel caso di acciaio S235), rimanessero in campo elastico anche in caso di sisma SLV. Fortunatamente, nel caso dei controventi dissipativi del nuovo impalcato del Mercato Coperto, in fase di progettazione si era adottato prudenzialmente un fattore di sovrarresistenza sempre superiore a 1,25, maggiore quindi a quello minimo indicato dalla Normativa. Tale circostanza ha permesso, con il supporto anche di una verifica FEM dei collegamenti stessi (figura 32), di accettare buona parte della fornitura, limitandosi a richiedere la sostituzione di quattro diagonali in doppio angolare 50x6 con altrettanti provenienti da una diversa fornitura che evidenziava valori della tensione di snervamento un po' più contenuti ( $ReH=300$  MPa da certificato d'origine e  $f_y$  pari mediamente a 274 MPa da prova).

Riteniamo che questi aspetti vadano tenuti in debita considerazione in fase di progettazione al fine di evitare l'insorgenza di problematiche durante la realizzazione dei lavori che possono essere difficili da risolvere e che, in ogni caso, causano ritardi significativi dei tempi. A parte l'effettiva reperibilità sul mercato di prodotti in acciaio a basso limite di snervamento, la circostanza che la EN 10025-2 [6], in accordo alla quale viene prodotto la gran parte dell'acciaio per impiego strutturale, prescrive, per i vari tipi d'ac-

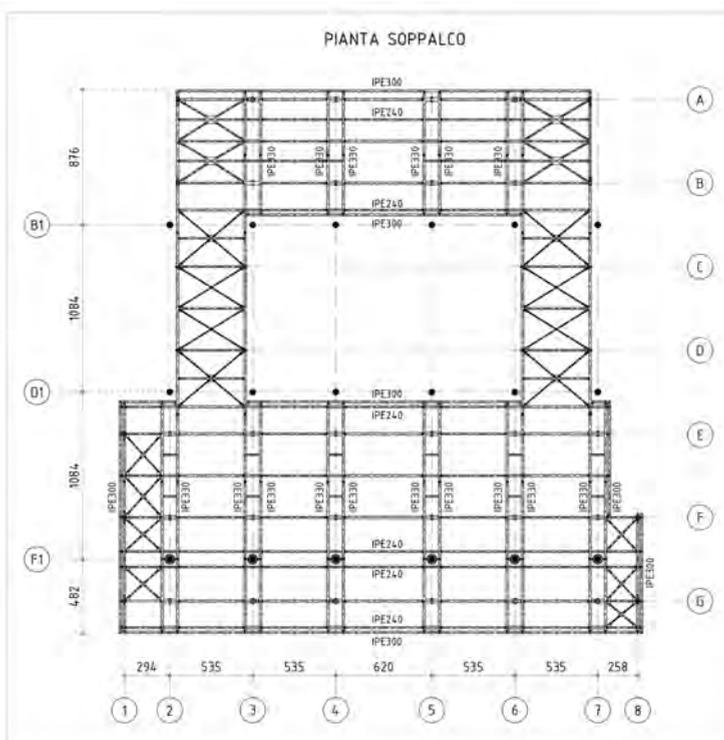


Fig. 27 | Planimetria della struttura del nuovo impalcato

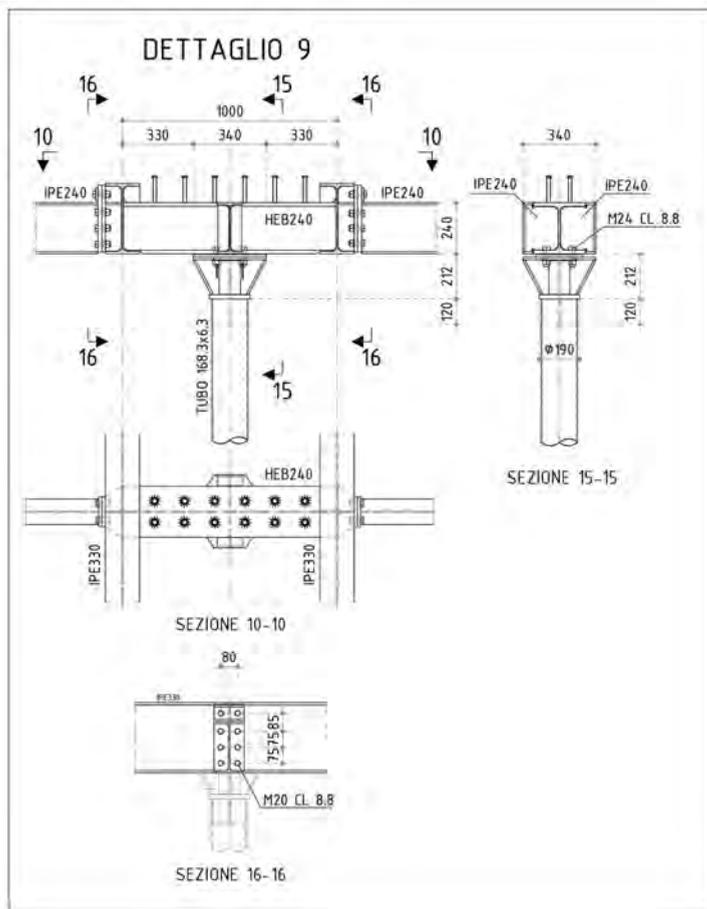


Fig. 28 | Dettaglio “capitello” pilastri

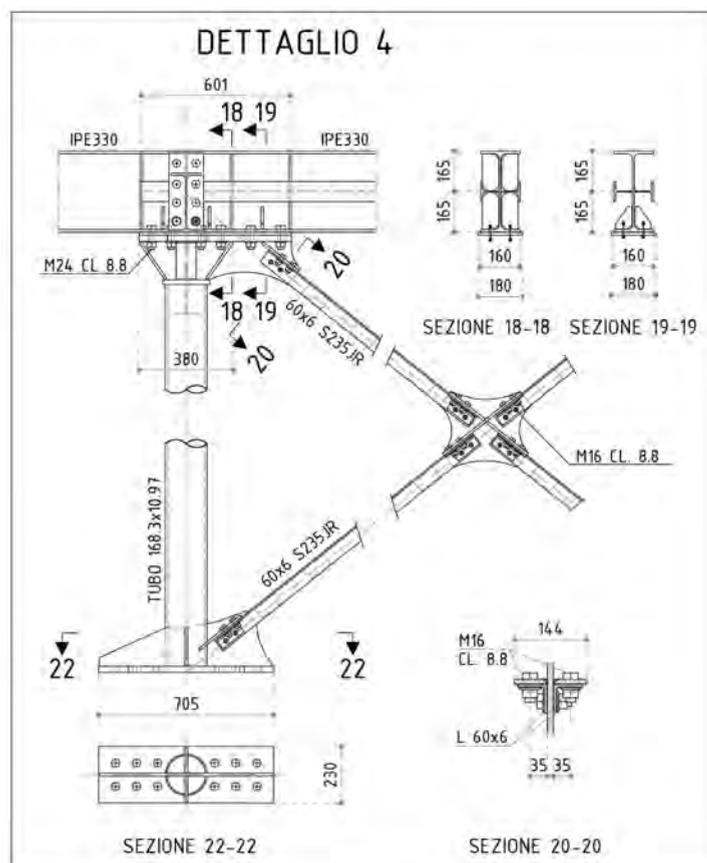


Fig. 29 | Assieme e dettagli dei controventi verticali

acciaio, che la tensione di snervamento dichiarata (ReH) debba solo essere superiore ad un valore minimo e non anche inferiore ad un valore massimo, espone facilmente al rischio che l'acciaio disponibile sul mercato possa manifestare valori decisamente più elevati di quelli “caratteristici” assunti nel calcolo per quel tipo d'acciaio. A ragione, pertanto, il successivo DM 17-01-2018 [2], ha prescritto fattori di sovrarresistenza minimi più elevati ( $Y_{OV} = 1,25$  non solo nel caso del S235, ma anche per gli acciai S275 e S355) modificando conseguentemente la disequaglianza, precedentemente vista, in:  $f_{y,med}$  (grandezza di cui, per altro, non è ben chiaro il significato)  $\leq 1,25 f_{y,K} = 1,25 \times 235 = 294$  MPa.

Sulla scorta infine, della non trascurabile disuniformità dei valori della tensione di snervamento dell'acciaio dei diagonali messi in opera (i valori di ReH riportati sui certificati d'origine risultavano pari rispettivamente a 275, 282, 300 e 337 MPa), si è poi ritenuto opportuno saggiare anche il comportamento non lineare della struttura, effettuando un'analisi di spinta in ciascuna delle due direzioni ortogonali (X e Z). L'obiettivo era di verificare le effettive prestazioni della struttura in termini di duttilità e, in particolare, se, in corrispondenza del punto di prestazione, la deformazione plastica nei diagonali dissipativi coinvolgesse o meno il ramo incrudente del diagramma  $\sigma$ - $\epsilon$  comportando, così, un ulteriore incremento dello sforzo nei collegamenti. Per far ciò si è ricorso ad una schematizzazione matematica semplificata [7] della curva  $\sigma$ - $\epsilon$  dell'acciaio che adotta una forma parabolica per il ramo incrudente e ipotizza un rapporto  $\epsilon_{sh}/\epsilon_y$  (fra deformazione all'inizio dell'incrudimento e deformazione in corrispondenza della tensione di snervamento-limite di proporzionalità) che diminuisce all'aumentare della tensione di snervamento stessa (con valori del rapporto molto simili, al variare della qualità dell'acciaio, a quelli indicati anche in [8]). Le analisi di spinta in entrambe le direzioni hanno dato risultati soddisfacenti poiché nel caso di tutti i diagonali la deformazione in corrispondenza del punto di prestazione (vedi diagramma riportato in figura 33 nel caso della direzione X) risultava inferiore ad  $\epsilon_{sh}$  non comportando così ulteriori incrementi delle azioni sui collegamenti e risultando comunque inferiore a  $7\epsilon_y$  come richiesto da [9]. Il fattore di struttura risultante dalle analisi è stato pari a circa 2,5 in direzione X e a circa 2,8 in direzione Z inferiori, naturalmente, a quelli assunti in sede di progetto (rispettivamente pari a 3 e a 4).

## 5 Conclusioni

L'articolo ha sinteticamente passato in rassegna alcuni degli aspetti strutturali che un progetto complesso come la riqualificazione del Mercato Coperto di Ravenna ha comportato. Intervento su un fabbricato tutelato che ha dovuto dare risposte, il più adeguate possibili, ad una infinità di esigenze diverse e, spesso, contrastanti. L'efficacia dell'impiego dell'acciaio nel campo del miglioramento sismico di edifici esistenti, non è certo una novità, soprattutto nel caso di fabbricati appartenenti al nostro patrimonio culturale laddove la caratteristica della reversibilità dell'intervento ricopre un'importanza particolare.

Tutto ciò, ci sembra, venga ampiamente confermato dai risultati ottenuti anche nel caso in esame.

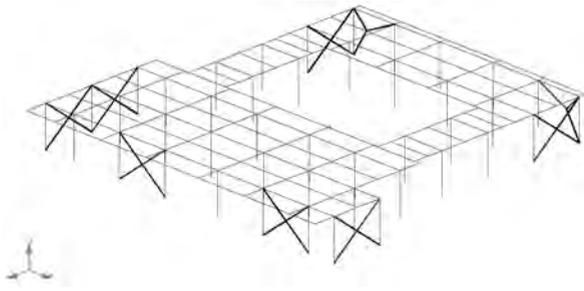


Fig. 30 | Schema statico dell'impalcato

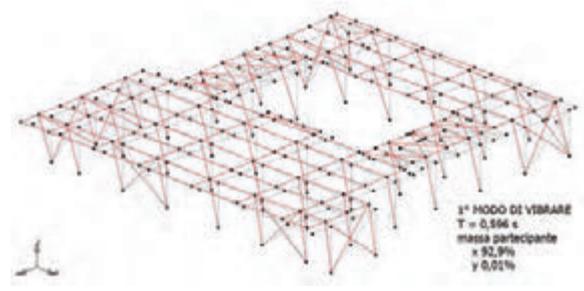


Fig. 31a | Rappresentazione del primo modo di vibrare

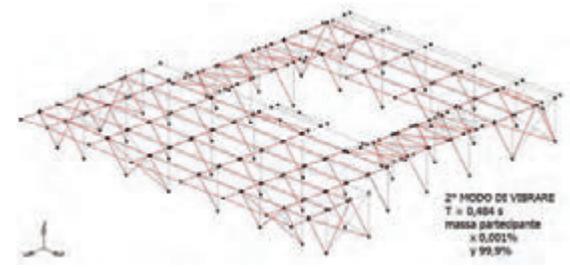


Fig. 31b | Rappresentazione del secondo modo di vibrare

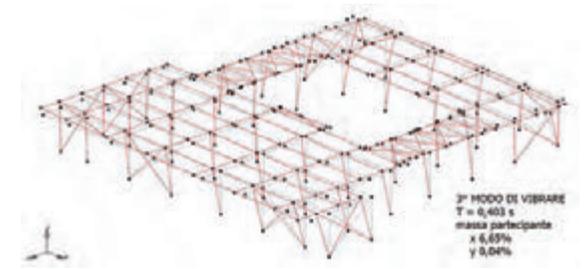


Fig. 31c | Rappresentazione del terzo modo di vibrare

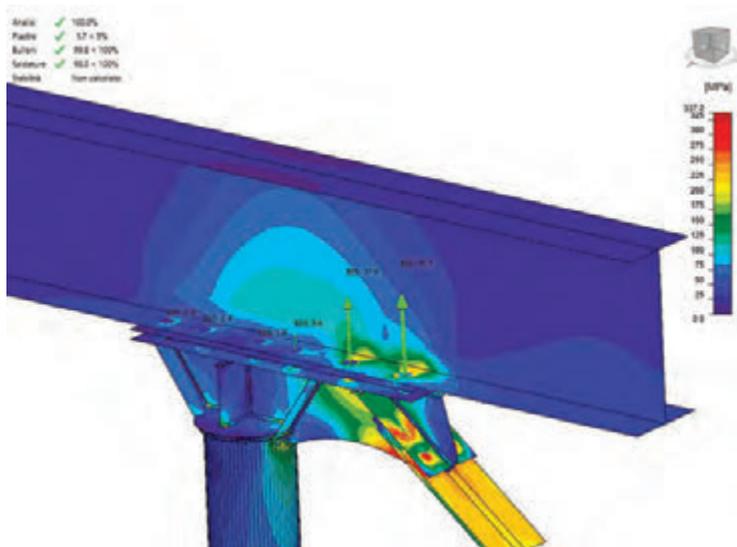


Fig. 32 | Analisi FEM del nodo superiore del diagonale in doppio angolare 60x6

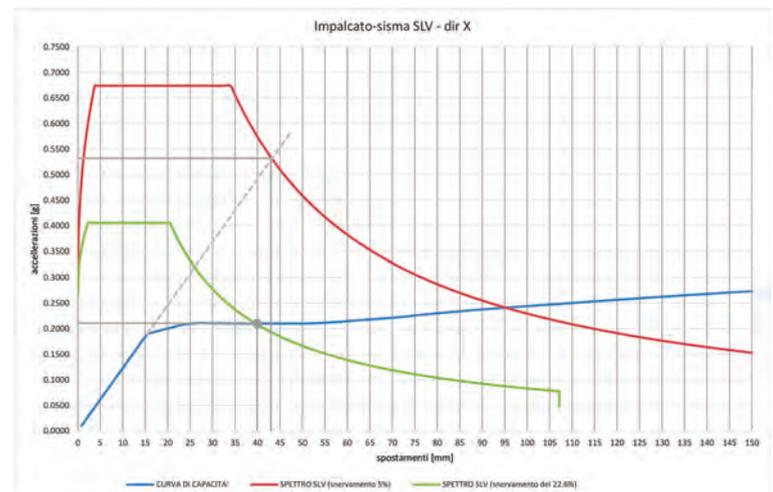


Fig. 33 | Analisi di spinta in direzione X: determinazione del punto di prestazione sul piano ADRS

## CREDITS

Committente: COOP ALLEANZA 3.0 Srl

Proprietà: Comune di Ravenna

Imprese realizzatrici: Cooperativa Muratori e Cementisti Srl di Ravenna; EDILTECNICA Srl

Progetto architettonico: Arch. Paolo Lucchetta (Retail Design Srl), Ing. Maurizio Montanari (Progra srl)

Direzione lavori e alta sorveglianza sulle opere di restauro: Arch. Tiziana Maffei

Progetto strutturale: Ing. Maurizio Montanari, Ing. Giovanni Saragoni, Ing. Stefano Foschini, Ing. Adolfo Scagnolari (Progra srl)

Progetto antincendio: Prof. Leonardo Corbo, Ing. Roberto D'Agostino

Progetto impianti meccanici: P.I. Fabrizio Marchetti

Progetto impianti elettrici e di rilevazione incendi: P.I. Andrea Mangherini (Progra srl)

Consulenza sulle strutture in vetro: Ing. Raffaele Roscioli (Vetroprogetti)

Rilievo laser scanner: Ing. Giulia Manzelli (Progra srl)

## Riferimenti

- [ 1] DM 14 Gennaio 2008: “Norme tecniche per le costruzioni”
- [ 2] DM 17 Gennaio 2018: “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”
- [ 3] D. lgs. 22 Gennaio 2004 n° 42 “Codice dei beni culturali e del paesaggio”
- [ 4] Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 26-2-2011: “Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alla Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 14 Gennaio 2008”
- [ 5] ISO 19902 : “Petroleum and natural gas industries – Fixed steel offshore structures”
- [ 6] EN 10025-2: “Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali-Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura di acciai non legati per impieghi strutturali”
- [ 7] M.J.N. Priestley, F. Seible, G.M. Calvi: “Seismic Design and Retrofit of Bridges”, John Wiley & Sons, 1996
- [ 8] C.H. Massonnet, M. Save: “Calcolo plastico a rottura delle costruzioni”, Ed. Clup, 1980
- [ 9] EN 1998-3: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Valutazione e adeguamento degli edifici”: Appendice B



**Ing. Maurizio Montanari**  
Contitolare dal 1989 della Progra srl di Ravenna, ha maturato esperienze di progettazione di strutture in acciaio e calcestruzzo in campo civile, industriale ed offshore.



**Ing. Giovanni Saragoni**  
Giovanni Saragoni- Ingegnere Civile collabora da dieci anni con Progra in qualità di progettista e direttore dei lavori di strutture in acciaio, cemento armato e muratura nel campo dell'edilizia residenziale e industriale.

**PREMIO LUIGI ZORDAN** VII  
ingegneria e architettura: progetto e costruzione  
edizione

**Riconoscimenti**  
stage in studi internazionali di architettura e società di ingegneria,  
premi in denaro

**Destinatari**  
progettisti e neo-laureati in ingegneria civile ed edile,  
ingegneria edile-architettura e architettura

**Date importanti**  
3 maggio 2021-bando  
1 settembre 2021-preiscrizioni  
12 settembre 2021-invio elaborati  
marzo 2022-premiazione

**Bando**  
[https://univaq.it/news\\_home.php?id=15425](https://univaq.it/news_home.php?id=15425)

[premio.luigizordan@strutture.univaq.it](mailto:premio.luigizordan@strutture.univaq.it)

Promotori:   Partner permanenti:  oice  Media partner:  

# STRUTTURE IN ACCIAIO PER UFFICI IN ROMAGNA

## STEEL STRUCTURES FOR OFFICES IN ROMAGNA

Marco Peroni\*

*Marco Peroni Ingegneria, Via S. Antonino 1, 48018 Faenza (RA), Italy*

In questo articolo è descritto il progetto strutturale dell'ampliamento degli uffici della fabbrica alimentare ORVA a Bagnacavallo (RA)

*This article describes the structural project for the expansion of the offices of ORVA food factory in Bagnacavallo (RA)*



\*Corresponding author. E-mail address: peroni@marcoperoni.it [

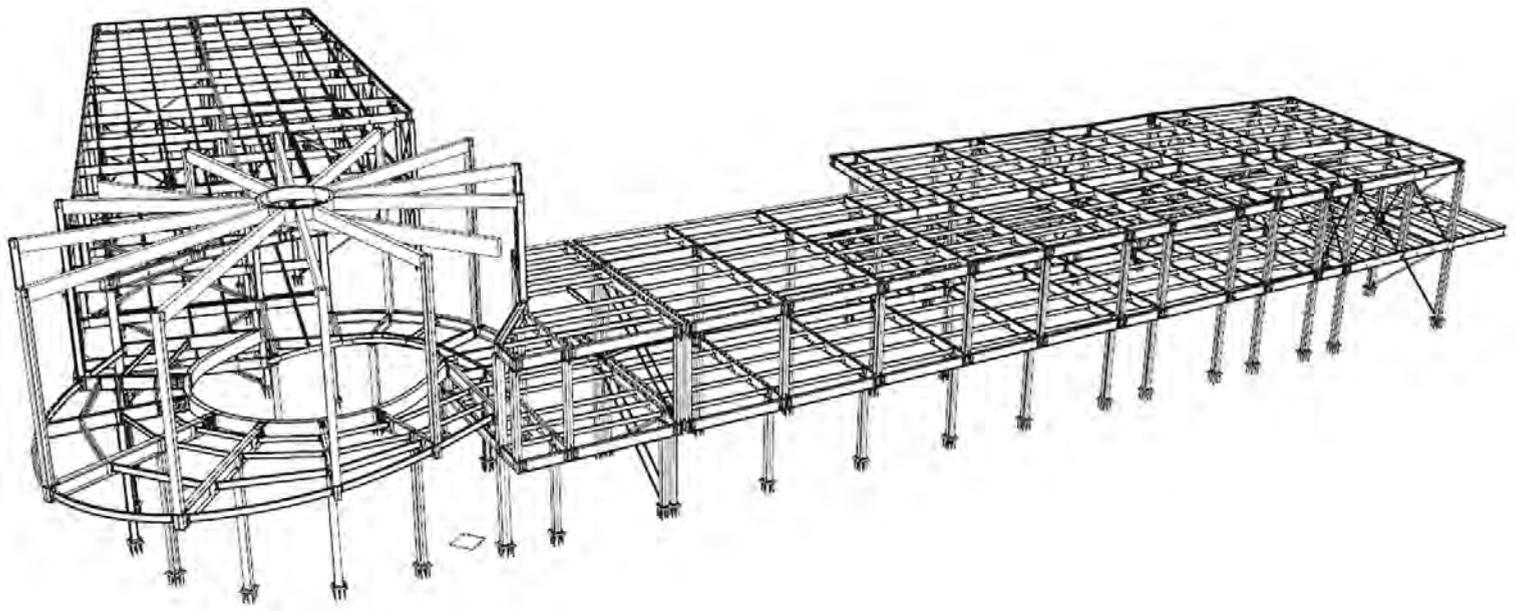


Fig. 1 | Planimetria generale dell'impianto



Fig. 2 | Vista generale tre blocchi



Fig. 3 | Rendering dell'opera

La necessità di ampliare lo stabilimento produttivo di una fabbrica alimentare di Bagnacavallo ha reso necessaria la rivisitazione anche degli uffici e dei laboratori che sono stati pensati in un angolo del nuovo capannone produttivo, in un punto strategico direttamente di fronte al nuovo ingresso pedonale e carrabile. Il nuovo ampliamento è quindi il biglietto da visita del nuovo insediamento che anche già dai primi passi, una volta entrati, deve fare emergere il carattere di questa forte realtà romagnola.

Il nuovo gruppo uffici della cui progettazione strutturale (unita ad una importante consulenza architettonica in fase di scelte preliminari e rendering) si è occupato il nostro ufficio, si compone quindi di un corpo di ingresso ad ellisse in posizione centrale rispetto alle due ali destinate agli uffici e ai laboratori (figure 1-2).

Il corpo centrale ellittico (la hall di ingresso agli uffici - fabbricato 3 in planimetria, vedi figura 2) si sviluppa con un doppio volume su due piani con copertura a raggera in legno lamellare e la parte del primo piano a sbalzo rispetto a quella inferiore in modo da coprire la zona di ingresso.

La conformazione planimetrica di questo fabbricato è inscritta in un'ellisse con raggio maggiore pari a 20 m e raggio minore pari a 15 m circa. L'alzato presenta invece cinque differenti quote di impalcato: +0,05 (piano terra), +3,82 (primo solaio), +4,86 (primo solaio rialzato), +7,27 (copertura bassa porzioni laterali) e +11,50 (copertura alta volume centrale) (figura 3).

Si tratta quindi una costruzione mista in acciaio e legno in cui la parte in legno sorregge attraverso due grandi pilastri laterali una trave in lamellare principale sulla quale sono innestate le travi della copertura che a loro volta scaricano su pilastri in acciaio di bordo. Il primo piano è realizzato in profili di grosso spessore HEB500 sostenuti "a bilancino" a sbalzo sia all'interno che all'esterno da una serie di pilastri HEA240 arretrati rispetto al filo esterno del primo piano che sbalza quasi 5 m all'esterno. Il ribaltamento di questi elementi viene impedito da una trave curva interna di sezione 200x500x30 mm scatolare chiusa (soggetta a torsione) che

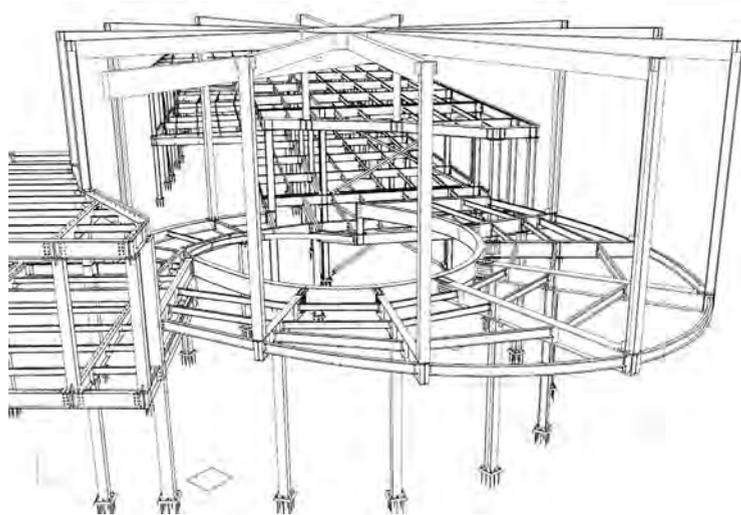


Fig. 4 | Vista generale della struttura della hall

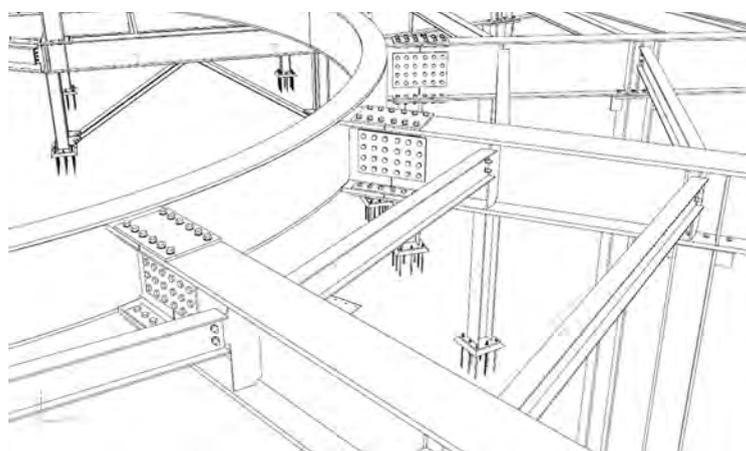


Fig. 5 | Nodo travi radiali anello interno hall



Fig. 6 | Vista struttura hall

delimita il doppio volume al primo piano che scarica le azioni ai lati della struttura (figure 4-6).

Dal bordo dello sbalzo sul fronte si alza poi la struttura del primo piano che sostiene la copertura in legno composta da elementi in lamellare 20x44 disposti a raggiera che si appoggiano sui pilastri

esterni e sul cerchiate in acciaio interno che viene attraversato dalla grande trave sagomata in lamellare che appoggia sui doppi pilastri laterali sempre in legno ciascuno di sezione 20x60 cm (figura 7).



Fig. 7 | Copertura in legno della hall

Tutta la struttura di questo atrio è stata lasciata a vista chiudendo l'involucro mediante una facciata vetrata strutturale che, al momento in cui scriviamo (maggio 2021), deve ancora essere completata.

Per quello che riguarda le ali laterali degli uffici (fabbricati 1 e 2) queste sono composte da pilastri HEA240 che sostengono una serie di travi IPE 400 che vanno a sbalzo di 110 cm a sostenere il primo piano. L'orditura secondaria in IPE180 sostiene una lamiera Hi-Bond 7/10 h=55 mm con relativa soletta in c.c.a collaborante di 6 cm di spessore. Sul bordo dello sbalzo del primo piano abbiamo una grande trave corrente in IPE400 che sostiene la parete di tamponamento in blocchi di laterizio che chiude l'involucro. Le controventature sono realizzate a croci di Sant'Andrea con angolari L80x80x8 (figure 8-9).

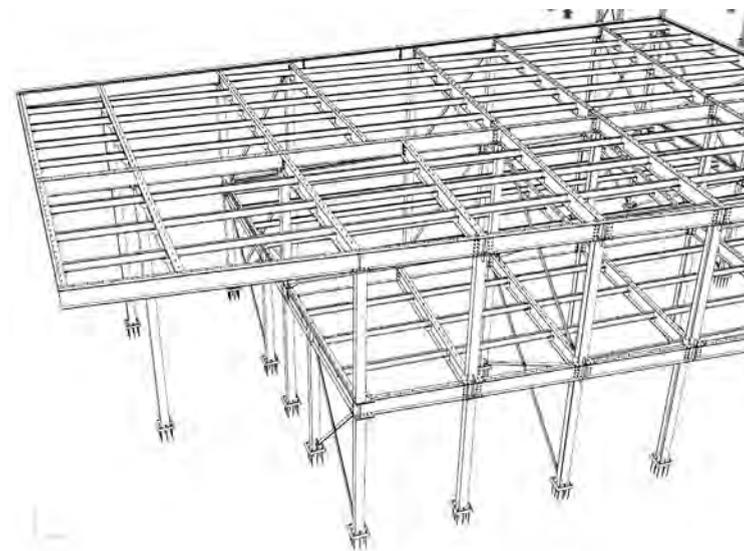


Fig. 8 | Tettoia Fabbricato 1

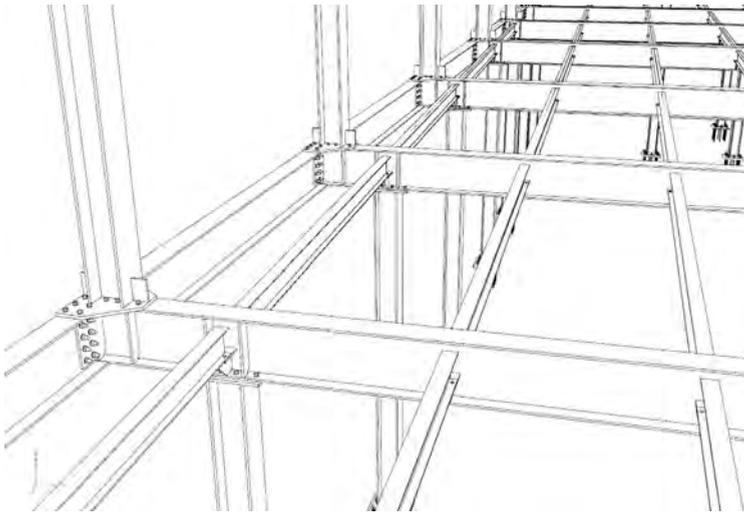


Fig. 9 | Particolare nodi Fabbricato 1

Questi due telai, simili ma non identici per forma e geometria e specchiati rispetto alla diagonale del capannone prefabbricato dell'opificio, sono inscrivibili in un rettangolo delle dimensioni di 30 x 16 m circa nel primo caso (Fabbricato 1) e 40 x 16 m circa nel secondo caso (Fabbricato 2).

Le due ali sono staccate dal corpo centrale mediante giunti sismici e sono realizzati completamente in struttura metallica con impalcati di piano e copertura in lamiera e getto collaborante di cemen-

to. Si è scelto di eseguire lo stacco del giunto leggermente distante dalla parte centrale dell'ellisse per non interferire con la struttura curva già di per sé stessa piuttosto complessa.

Purtroppo il tamponamento di questi due corpi di fabbrica non è stato fatto con struttura a secco ma in blocchi di laterizio alleggerito tradizionale poggiati sulle travi di bordo del primo piano tra l'altro leggermente a sbalzo rispetto al filo esterno dell'edificio. Questa del tamponamento "umido" è purtroppo una pratica ancora in uso in Romagna anche per le strutture metalliche frutto di una tradizione ormai centenaria di uso del laterizio che ancora condiziona il metodo costruttivo.

Per quello che riguarda le fondazioni si è adottata per tutti e tre i corpi di fabbrica una platea nervata dello spessore costante di 40 cm.

Per quanto riguarda il dimensionamento strutturale, sono state condotte delle tradizionali verifiche statiche e dinamiche lineari. Per quanto la struttura possa sembrare complessa nei suoi sbalzi e nella sua conformazione in pianta non sono stati rilevati problemi di effetti di secondo ordine o di imperfezioni che possono essere in questo caso trascurate nelle elaborazioni numeriche.

Anche le deformazioni rilevate dal calcolo, nonostante i forti sbalzi, sono contenute in 1,7 cm – combinazione rara - in corrispondenza dell'atrio di ingresso.

---

## CREDITS

Committente:	Or.v.a Srl – Bagnacavallo (RA)
Progetto architettonico:	Ing. Domenico Gattelli – Russi (RA)
Consulenza al progetto architettonico:	Geom. Daniele Contadini
Progetto e ddl strutture:	Ing. Marco Peroni – Marco Peroni Ingegneria – Faenza (RA)
Consulente:	Ing. Nicolò Minguzzi
Ditta esecutrice delle opere in acciaio:	Naldi Carpenterie Srl – Predappio (FC)

---



### Marco Peroni

Ingegnere civile con studio professionale in Faenza (Ravenna). Lo studio si occupa di nuove costruzioni e ristrutturazioni sia in campo civile che industriale e anche di una importante attività di ricerca che spazia dai ponti alle strutture spaziali.

# La Gare Rabat Ville Marocco

Rinnovamento ed ampliamento della stazione centrale della capitale del Marocco

## The Gare Rabat Ville Morocco

Renovation and expansion of the central station of the capital of Morocco

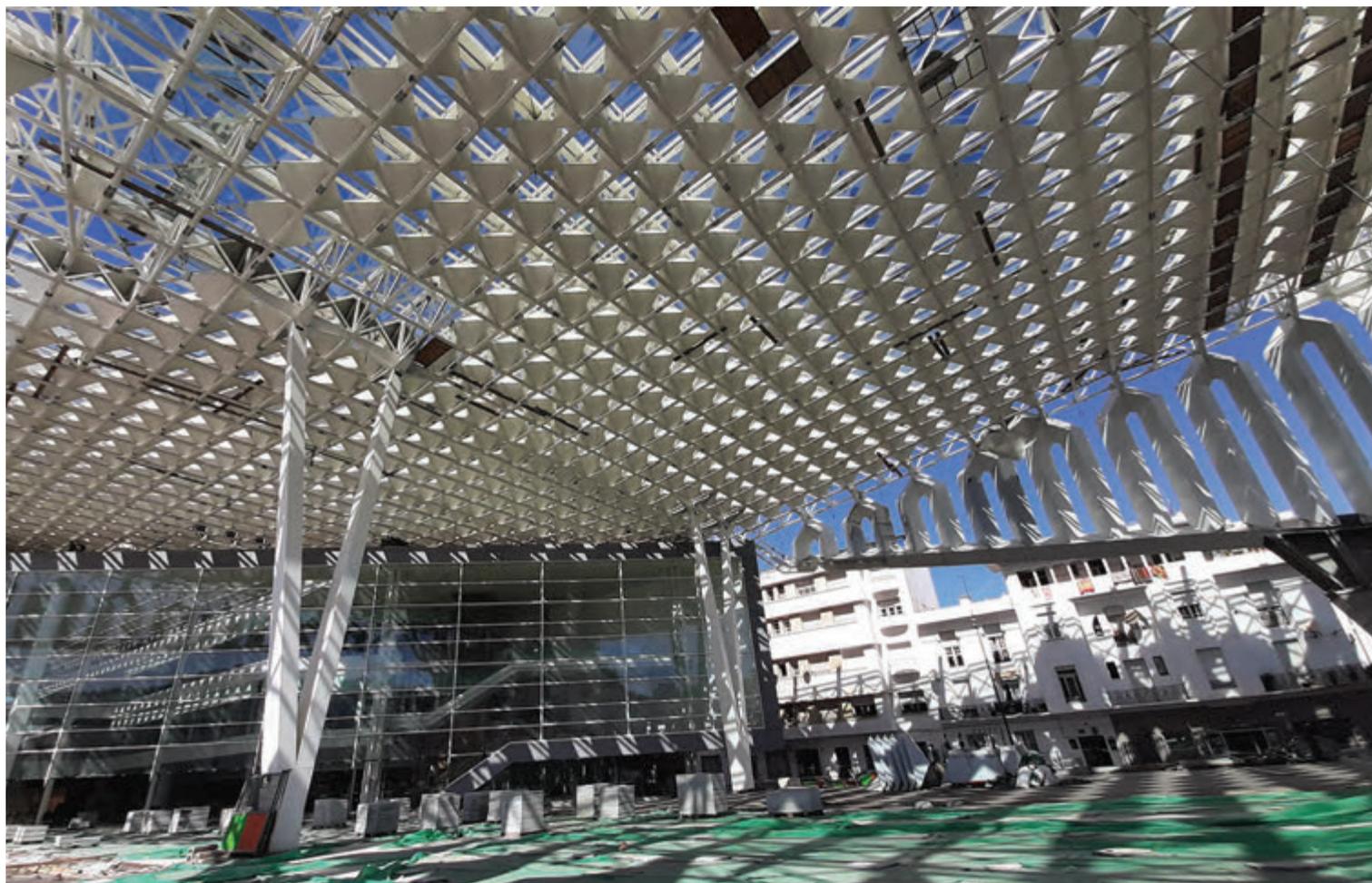
Ing. Gianluca Vallerini\*  
Incide Engineering

Il presente articolo illustra l'ampliamento e l'ammodernamento della stazione ferroviaria di Rabat Ville, nella città di Rabat, Marocco.

*This article illustrates the expansion and modernization of the railway station of Rabat Ville, in the city of Rabat, Morocco.*

La Stazione Ferroviaria di Rabat Ville, nella città di Rabat capitale del Marocco, è stata oggetto di un importante progetto di rinnovamento, nell'ambito del programma nazionale della realizzazione della linea ad alta velocità Tangeri

– Marrakesh. La stazione esistente si trova nel vero cuore della capitale a ridosso delle mura storiche della città, ove la linea ferroviaria corre ribassata rispetto al piano stradale (figure 1-2).



\*Corresponding author. Email: [gl.vallerini@incide.it](mailto:gl.vallerini@incide.it)



Fig. 1 | La vecchia stazione



Fig. 2 | La linea ferroviaria interrata e le antiche mura

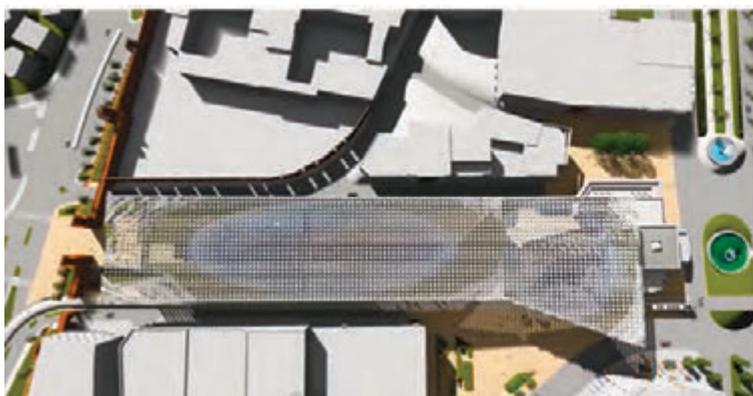


Fig. 3 | Rendering progettuale (A.Mountassir)

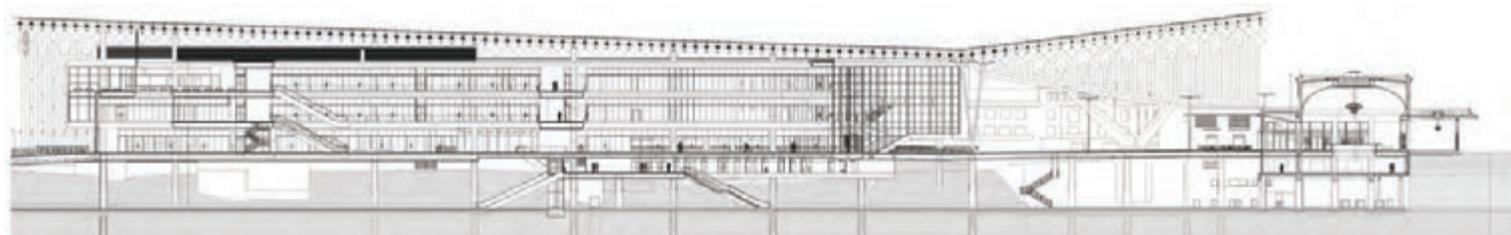


Fig. 4 - Sezione Longitudinale

Il progetto prevede la realizzazione di un edificio di lunghezza 200 m, che sovrasta la linea ferroviaria, colmando il vuoto ipogeo esistente, al fine di creare un nuovo percorso pedonale che attraversa la città dalle mura storiche all'arteria principale. L'edificio di due piani fuori terra, è sovrastato da una copertura metallica spaziale tridimensionale che ne fornisce un'ombreggiatura e crea due nuove piazze coperte, a lato est ed ovest, della stazione (figure 3-4). Le funzioni principali dell'edificio prevedono la biglietteria ed i servizi di stazione al piano terra, dal quale si accede ai binari al piano interrato, e due livelli fuori terra ad uso uffici e commerciale.

### Descrizione della struttura

La struttura è composta da 4 gruppi principali quali l'Edificio della nuova Stazione, l'Ombriera la grande copertura che sovrasta l'edificio e costituisce l'elemento architettonico/strutturale del progetto, la Facciata dell'Ombriera, che include le colonne principali portanti e le colonne sospese di facciata. L'Edificio della Stazione è sostenuto da un sistema di fondazioni isolate su plinti, mentre la Facciata dell'Ombriera è sostenuta, nei 4 punti di appoggio principale, da setti/diaframmi in calcestruzzo di altezza 15 metri. Tutti questi elementi sono fra di loro strutturalmente interdipendenti per schemi statici, di seguito descritti (figura 5).

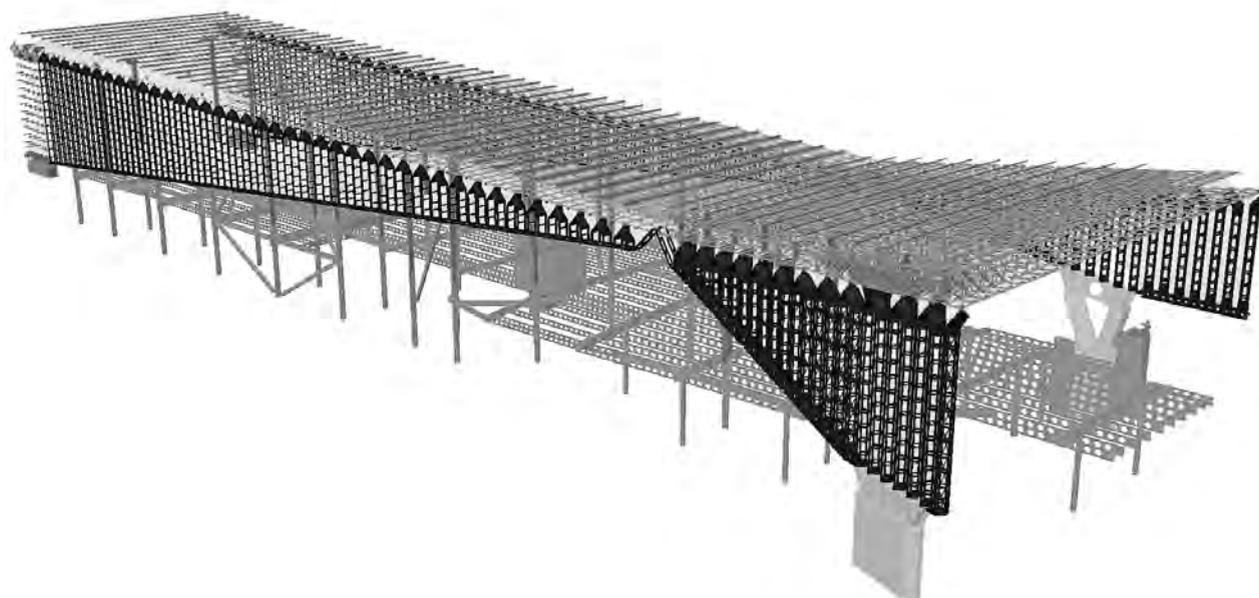


Fig. 5 | Il modello Tekla delle strutture



Fig. 6 | La struttura fuori terra dell'Edificio Stazione

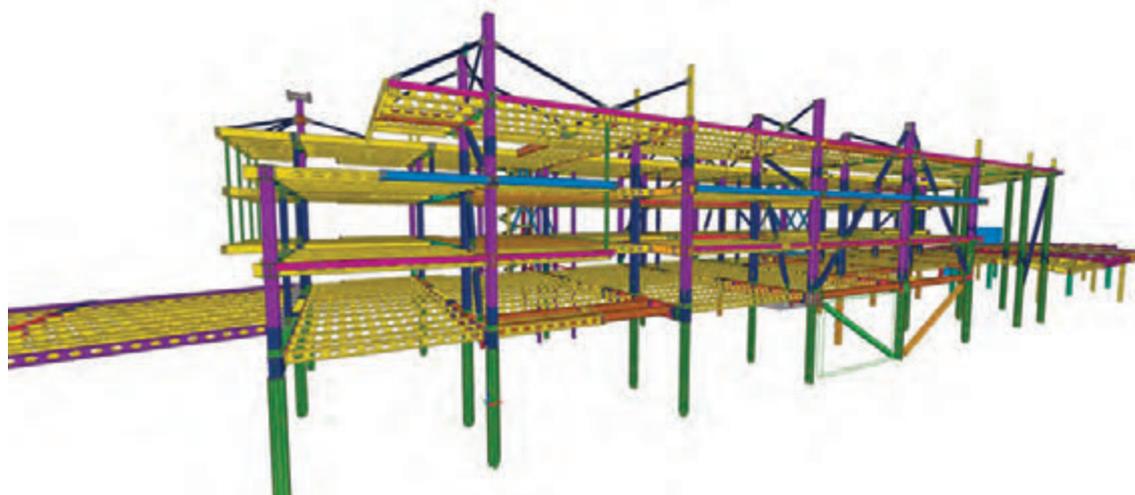


Fig. 7 | Il modello Tekla dell'Edificio Stazione

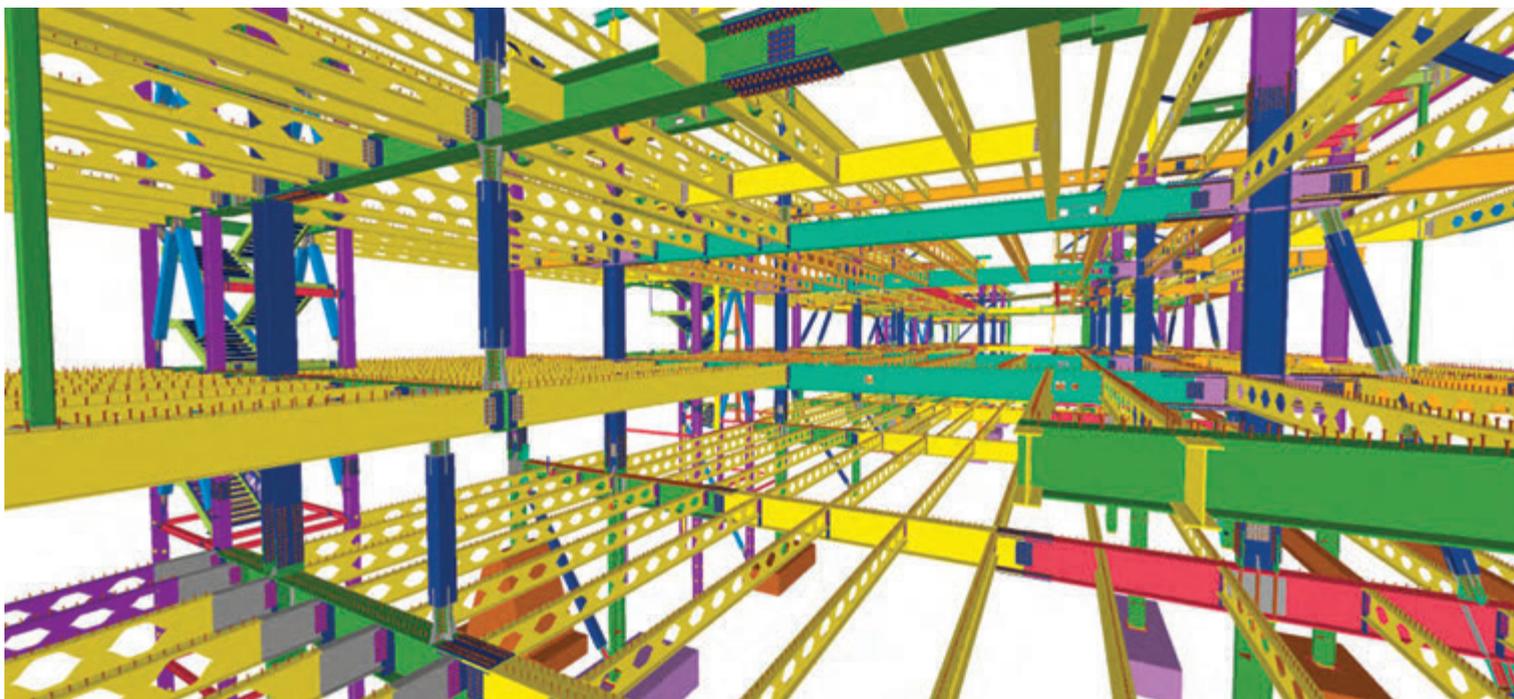


Fig. 8 | Dettaglio del modello Tekla

## Gli elementi costruttivi principali L'edificio stazione

L'edificio della nuova stazione, di tre livelli (due fuori terra) è stato concepito come una struttura in acciaio, con colonne a sezione composta di profili ad H saldati a croce, al fine di fornire l'adeguata resistenza strutturale, e impalcati con travi principali con sezione ad I saldata, di altezza 700 mm, a supporto di travi secondarie di luce 16/18 m, del tipo alleggerito Angelina (figure 6-7).

Il comportamento strutturale è realizzato tramite piani rigidi, composti da solaio in lamiera grecata e getto in calcestruzzo, collaborante con le travi in acciaio piolate, con comportamento a telaio e controventi diagonali (ove possibili in compatibilità con il progetto architettonico) nella direzione trasversale e con crociere di controvento nella direzione longitudinale.

La struttura presenta delle parti a sbalzo, a formare la galleria centrale dell'edificio, che sono sostenute da tiranti in acciaio, che riportano i carichi alle colonne principali a livello della copertura (figure 7-8).

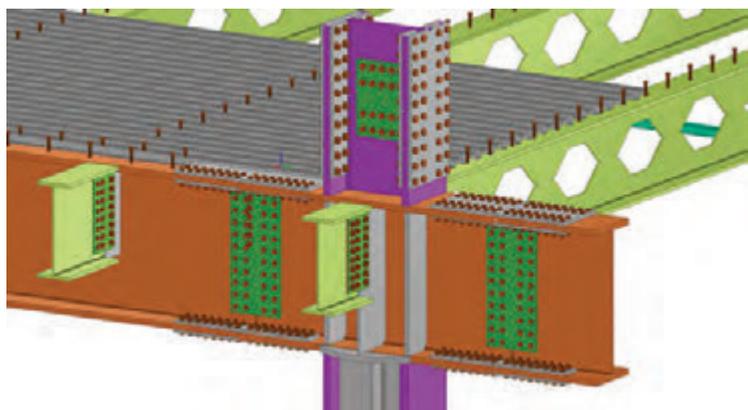


Fig. 9 | Particolare costruttivo della connessione trave-colonna

La struttura consiste in colonne saldate a croce, che si interrompono a livello dei piani per realizzare un sistema di facile montaggio. L'acciaio utilizzato è di classe S355, con giunzioni bullonate di tipo a taglio o ad alta resistenza, a seconda del tipo di comportamento strutturale (figure 9-10).

La struttura è stata totalmente sviluppata mediante software Tekla Structures, sia per la fase di ingegnerizzazione delle soluzioni esecutive, sia per la realizzazione di un modello LOD400, che è stato poi trasferito al produttore delle strutture che ne ha sviluppato i disegni di prefabbricazione e montaggio.

## Gli elementi costruttivi principali La copertura Ombriere

L'edificio è caratterizzato da elementi costruttivi che riprendono l'architettura locale per trasferirla nella modernità. In particolare la struttura Ombriere, che sovrasta il nuovo edificio Stazione e si sovrappone alla stazione esistente, ne rappresenta l'elemento principale sia nelle forme architettoniche che nelle caratteristiche strutturali.

La copertura è sostenuta dall'Edificio Stazione, per la parte che lo sovrasta, mentre nelle zone aggettanti, una serie di colonne tridimensionali, ne costituiscono il sostegno su 4 fondazioni principali (figura 11).

La struttura è composta da una maglia tridimensionale quadrata di dimensioni 2x2 m, composta da profili tubolari quadri di sezione 120x120 mm ruotati di 45 gradi, all'interno della quale sono contenuti degli elementi ottagonali, in pannelli d'alluminio a nido d'ape, che forniscono gli effetti di ombreggiamento alla sottostante stazione (figure 12-14).

La struttura è stata progettata in moduli preassemblati di dimensioni variabili tra 29x14 m e 8x14 m, trasportati e montati in cantiere in modo facile e per ridurre il numero di connessioni bullonate, che in una struttura tridimensionale di questo tipo avrebbero



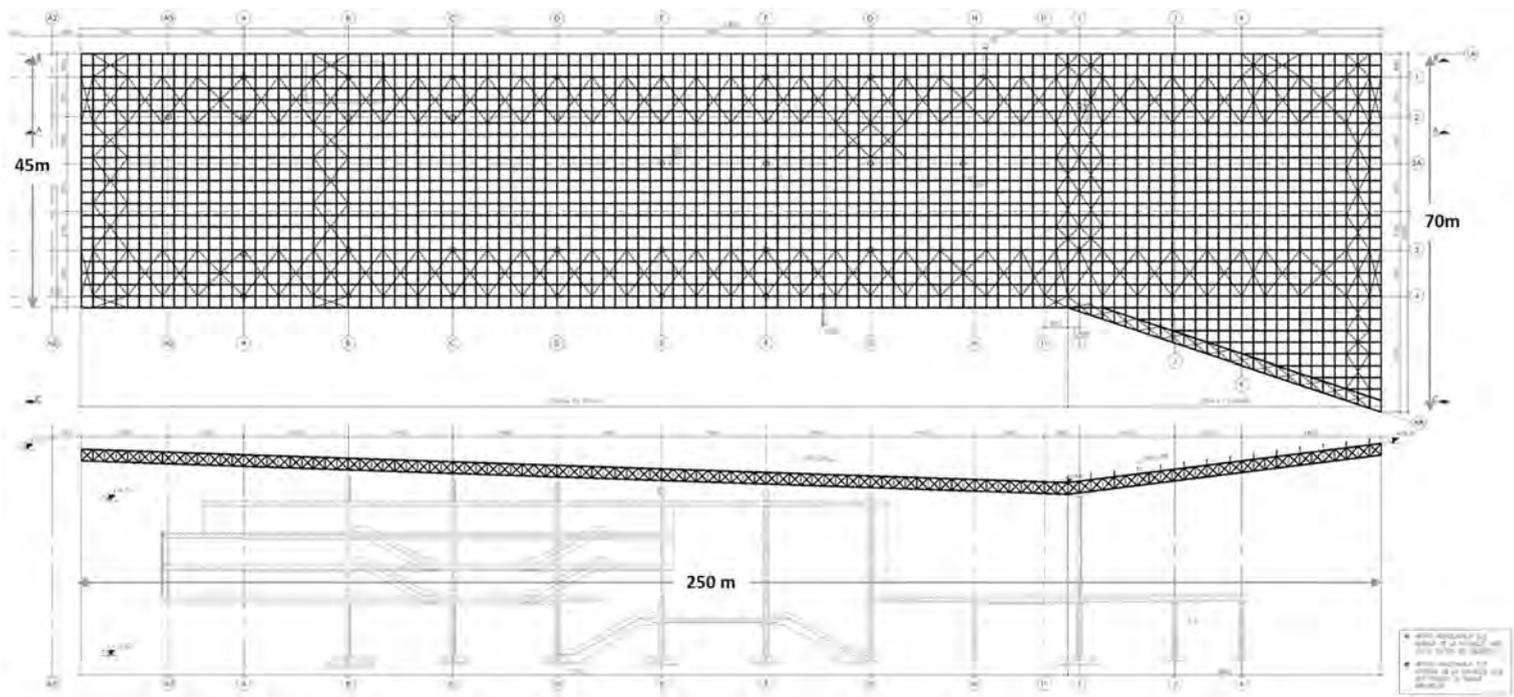


Fig. 12 | Pianta Copertura Ombriere



*Profilo in acciaio di supporto della vetrata / gronda*

*Vetrata di copertura*

*Struttura tridimensionale in profili quadrati ruotati di 45°*

*Profilo in alluminio quadro di chiusura della vetrata*

*Elemento tetraedrico in alluminio*

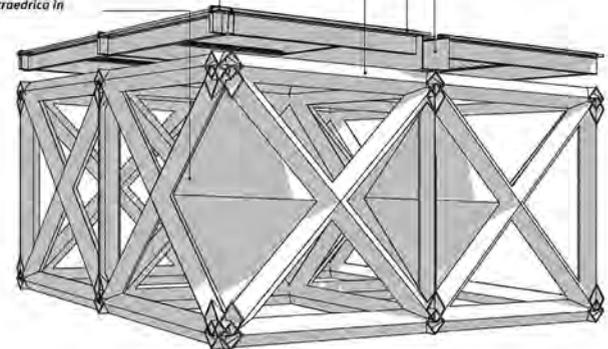


Fig. 13 | Dettaglio Ombriere

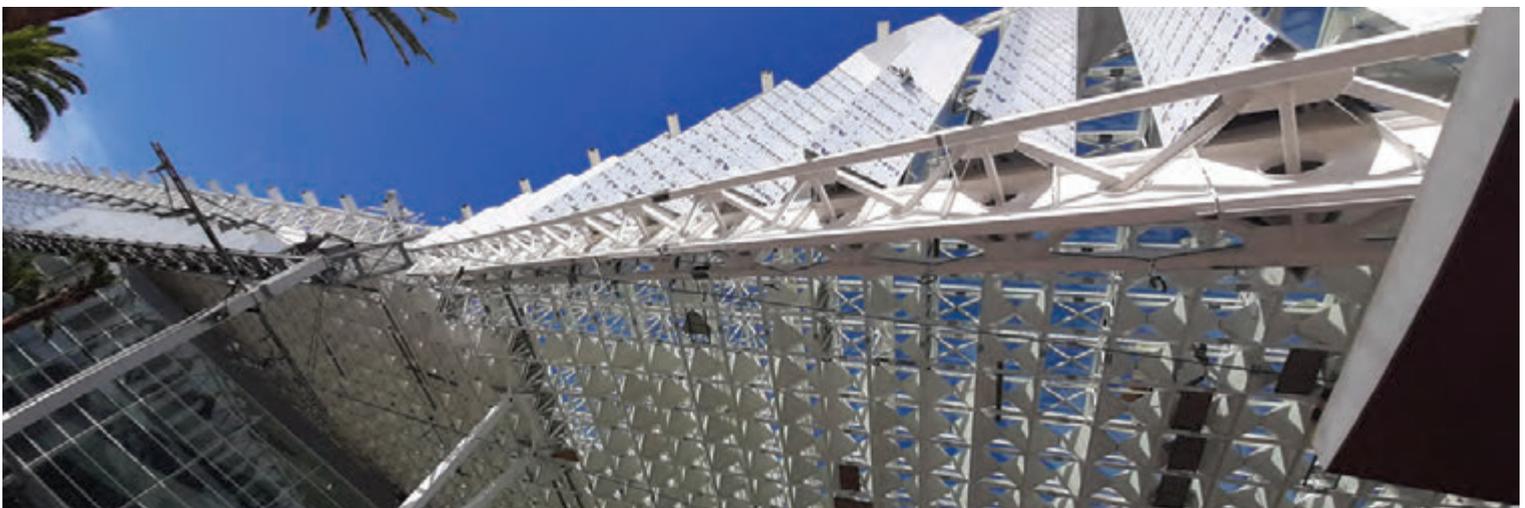


Fig. 14 | Ombriere Piazza Est

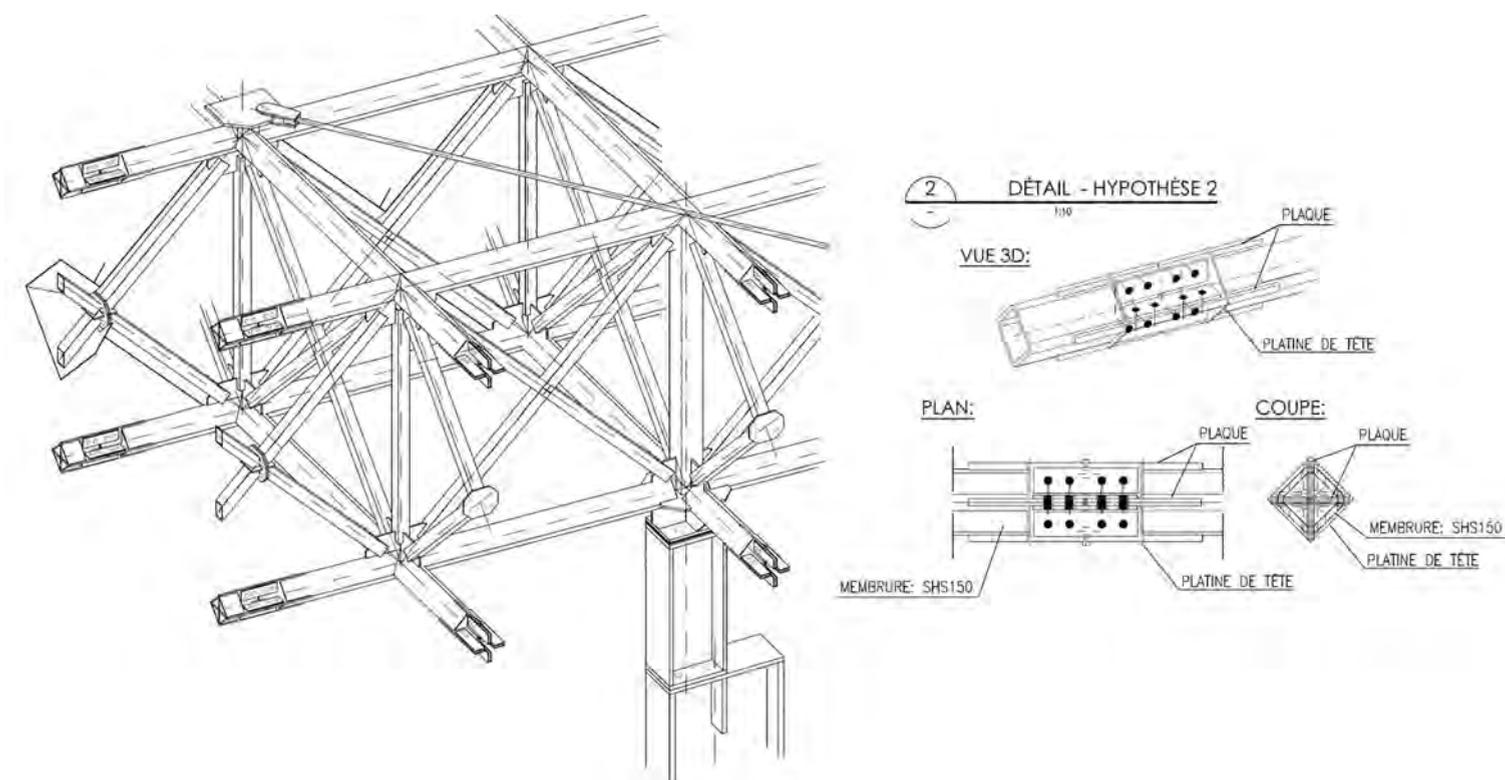


Fig. 15 | Dettagli costruttivi Ombriere

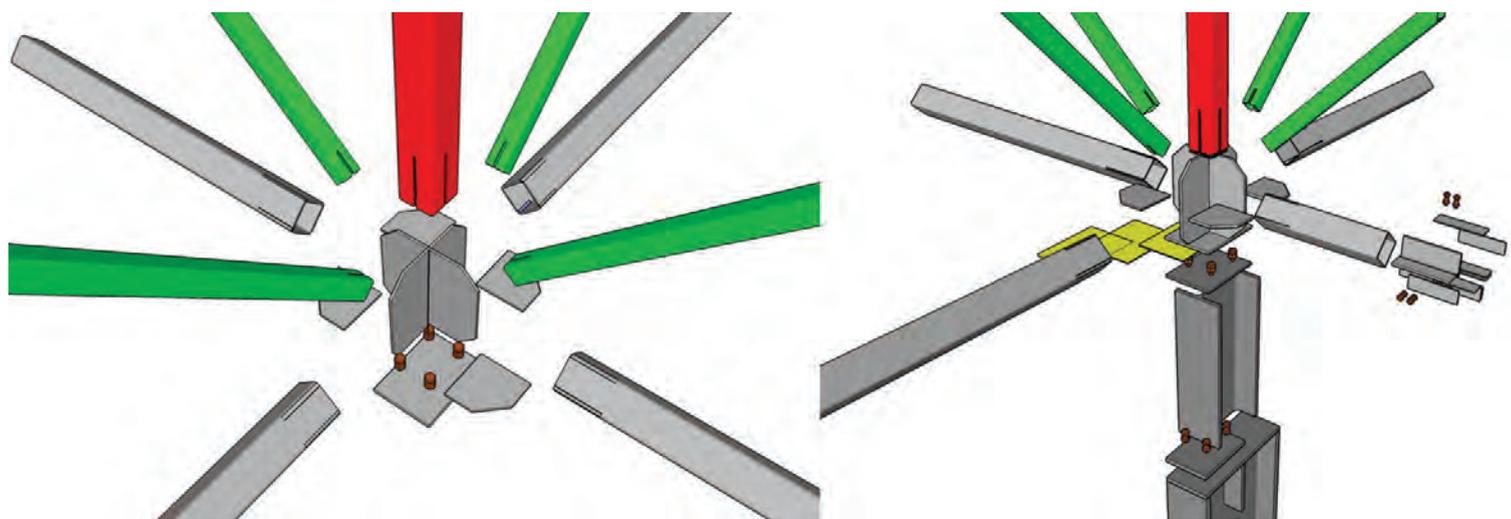


Fig. 16 | Dettaglio giunzioni Ombriere

reso la realizzazione maggiormente complessa (figura 15). Le giunzioni di accoppiamento della maglia strutturale tipica sono pensate totalmente saldate con piatti uniti saldati al vertice dei tubi quadri ruotati di 45 gradi, che accoppiano i profili diagonali mediante intaglio sulla parete laterale. In corrispondenza delle colonne di appoggio della struttura Ombriere all'Edificio stazione, le giunzioni prevedono un accoppiamento bullonato con piastra e fori asolati, per permettere le dilatazioni previste progettualmente (figura 16).

### Gli elementi costruttivi principali La facciata Ombriere

La facciata, parte integrante della struttura del sistema Ombriere

che avvolge l'edificio sottostante, riprende elementi architettonici caratterizzanti la vecchia Stazione, e li ripropone in chiave moderna con una struttura in acciaio che viene sospesa dalla copertura e, allo stesso tempo, ne rappresenta l'elemento portante, con elementi verticali di forma romboidale di dimensione 2x14 m, a scandire un percorso di luci ed ombre di lunghezza 200 m (figura 17).

Sono state concepite due tipologie di colonne di facciata definite "Poteaux Poteurs", quelle con struttura tridimensionale per il sostegno strutturale delle zone a sbalzo, senza la presenza dell'edificio Stazione, e le "Poteaux Suspendues", di fatto sospese dalla copertura e con la sola funzione architettonica. Al fine di realizzare le forme architettoniche finali, tali strutture sono state rivestite con pannelli in alluminio a nido d'ape, permettendo una facile



Fig. 17 | Facciata Ombriere in fase di costruzione

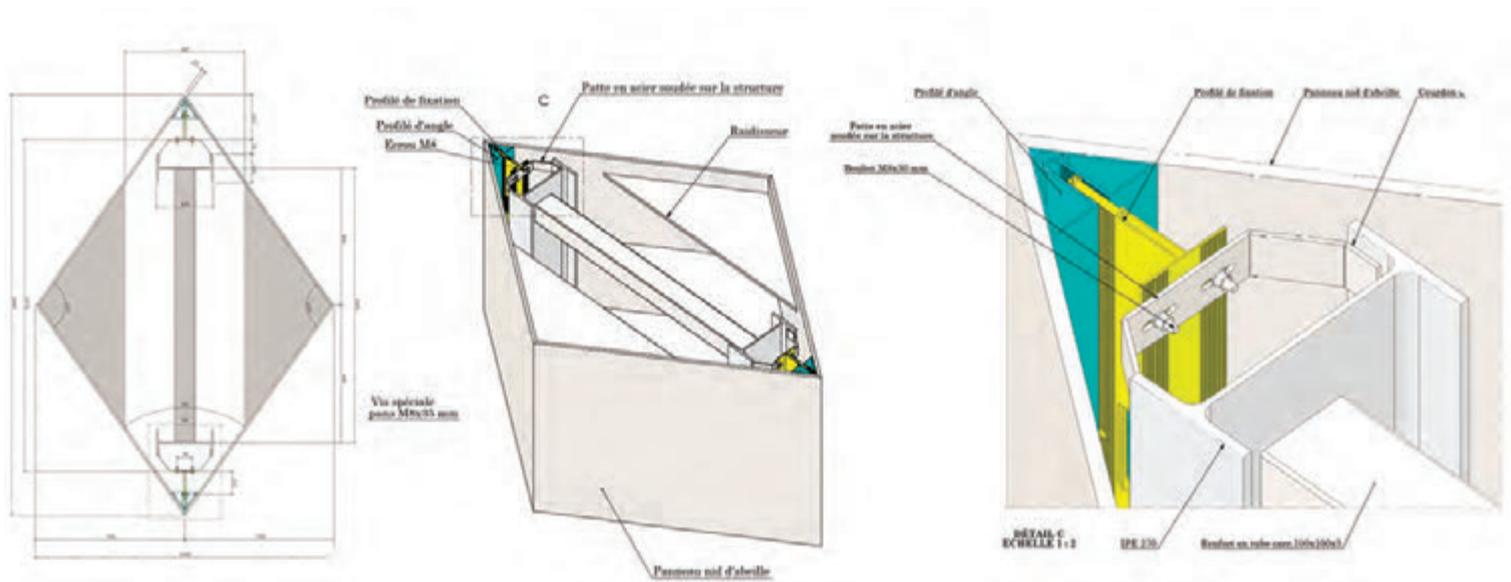


Fig. 18 | Dettaglio rivestimento facciata

realizzazione, una maggiore leggerezza del sistema ed un facile montaggio in cantiere (figure 18-19).

### Le Poteaux Porteurs

Le colonne portanti l'Ombriere sono state realizzate con una struttura tralicciata tridimensionale con profili tubolari quadri da 150 mm collegati da profili angolari, al fine di creare una struttura che

fosse in grado di sostenere i carichi verticali e fornire la rigidità necessaria al comportamento a portale, fondamentale per contrastare le forze orizzontali del vento e sisma.

Le colonne poggiano attraverso un elemento in acciaio a trave di altezza 2 m sui basamenti in calcestruzzo, anch'essi di forma architettonica prevalente.

Le colonne tralicciate poggiano su un trave saldata, di altezza 3,5

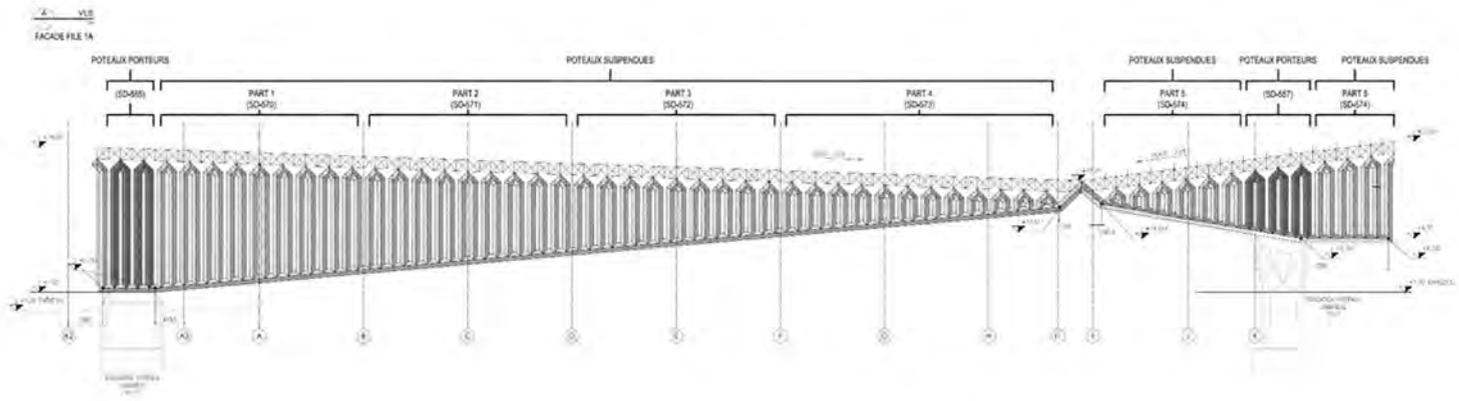


Fig. 19 | Prospetto Facciata Ombriere



Fig. 20 | Fondazione Principali Facciata

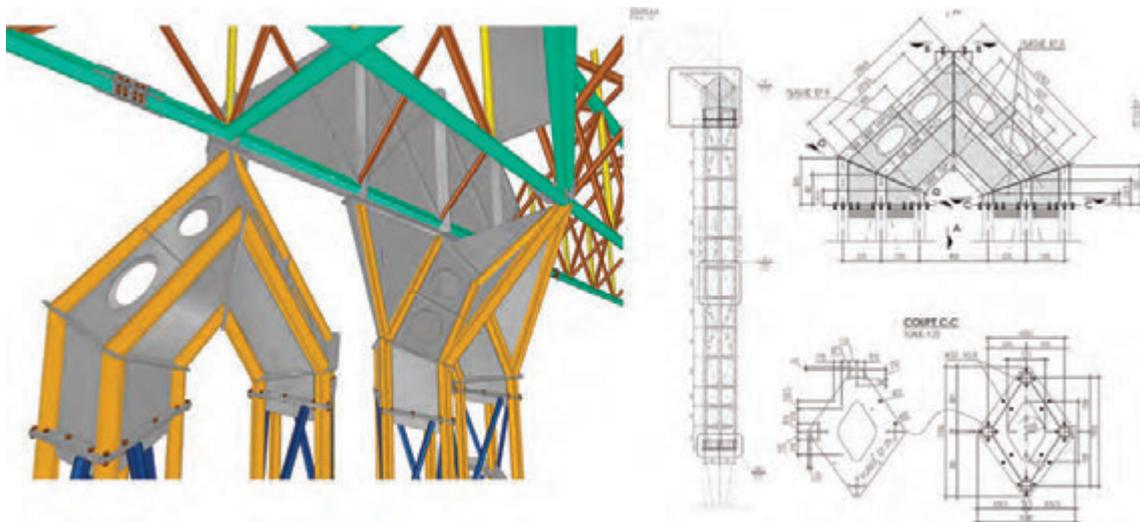


Fig. 21 | Dettaglio superiore Poteaux Porteurs

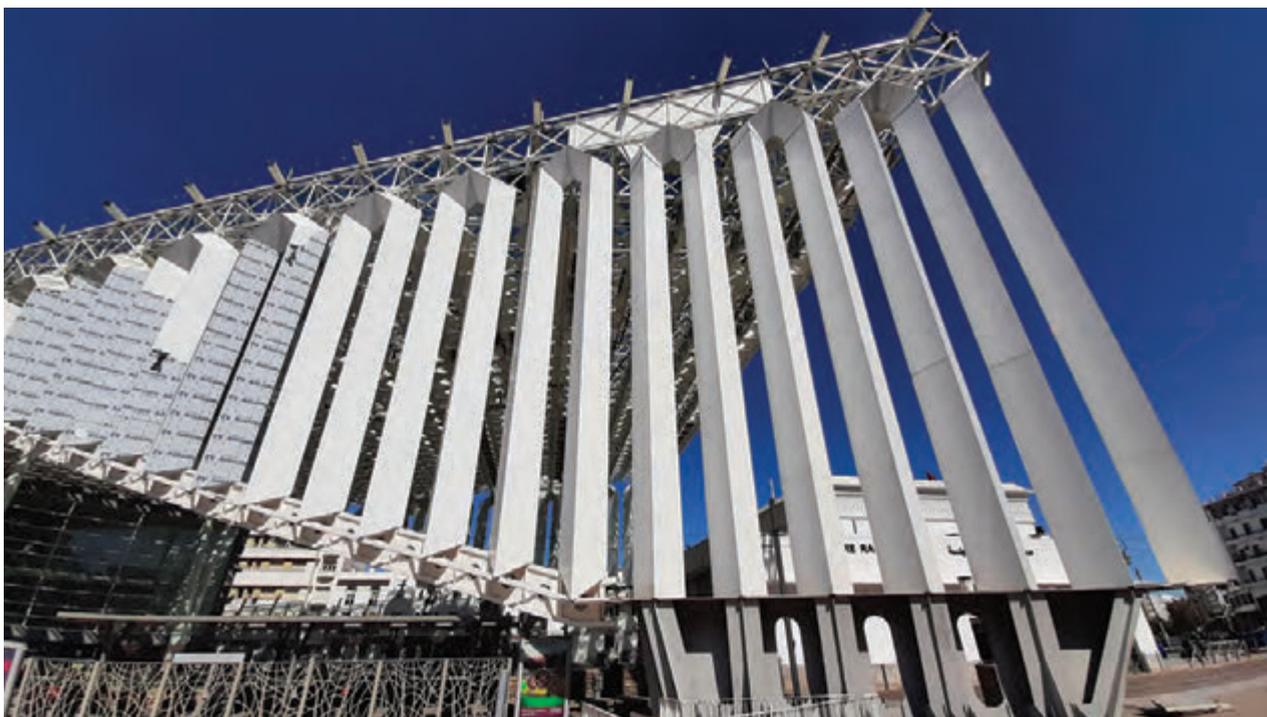


Fig. 22 | Vista Poteaux Porteurs in fase di installazione

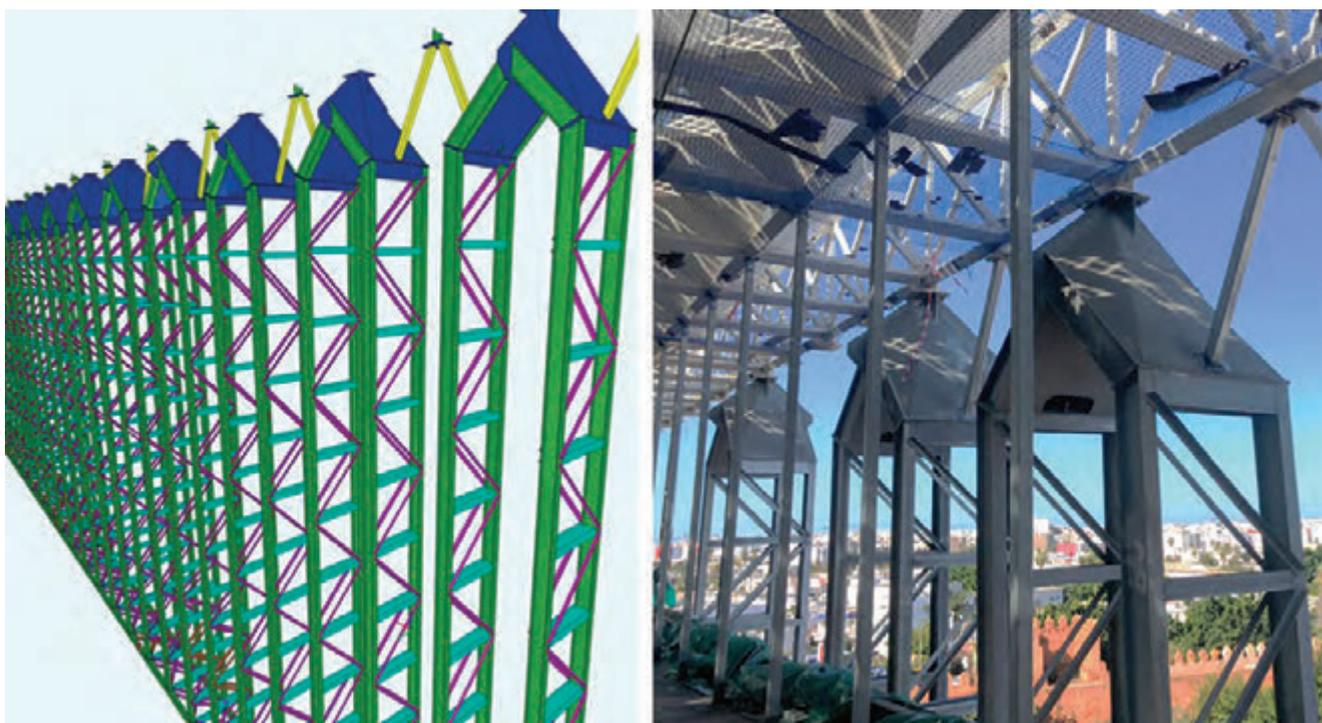


Fig. 23 | Poteaux Suspendus

m che trasferisce i carichi della copertura alle colonne a V che sono a loro volta sostenute dai massicci di fondazione. La parte superiore di questi elementi è accoppiata alla copertura mediante strutture composte da piatti saldati, al fine di ottenere l'adeguata rigidità per realizzare l'incastro con la struttura tridimensionale di copertura (figure 20-22).

### Le Poteaux Suspendus

Le Poteaux Suspendus hanno una funzione prettamente architettonica e rivestono l'intera facciata dell'edificio; sono appese alla copertura Ombriere e vincolate in alcuni punti alla struttura dell'edificio Stazione, per le azioni orizzontali. Sono inoltre composte da un traliccio piano di travi IPE270 alle quali è applicato il rivestimento in alluminio per ricostruire la forma architettonica a losanga (figure 23-24).

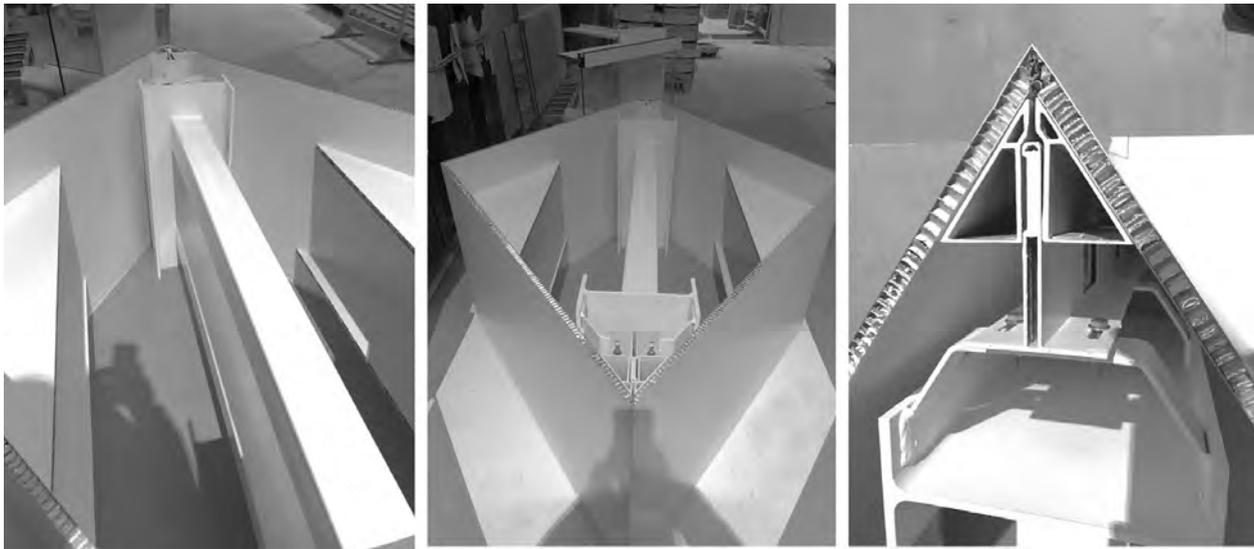


Fig. 24 | Campione rivestimento Poteaux suspendus

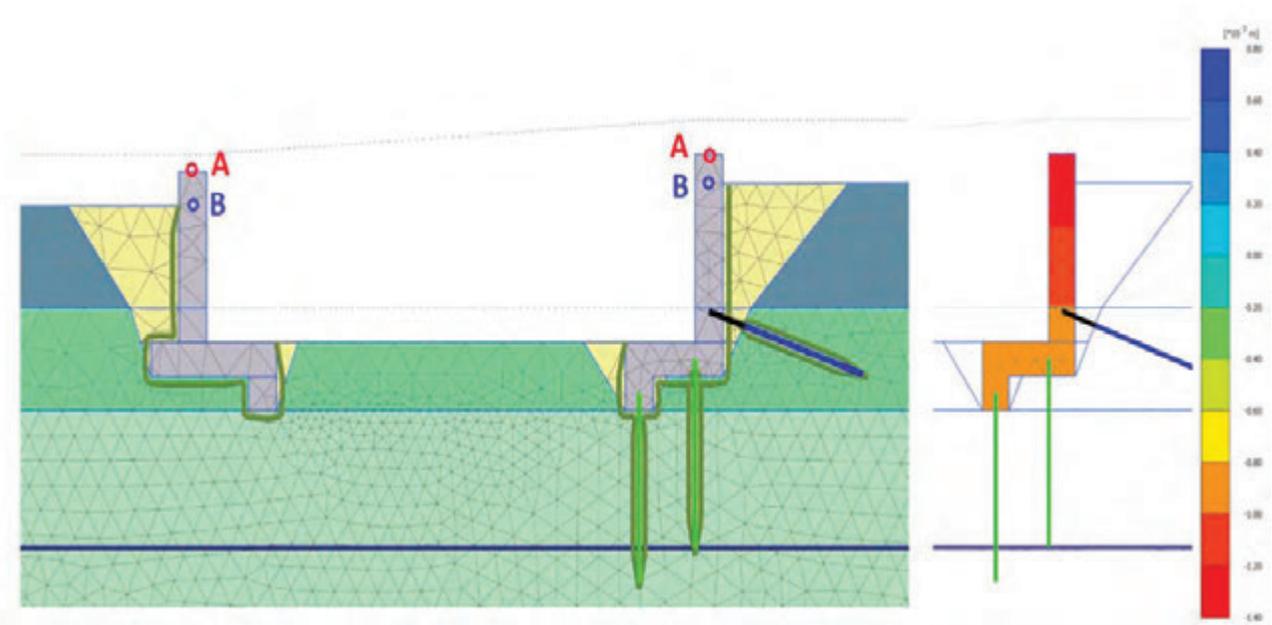


Fig. 25 | Analisi Geotecnica interazione terreno struttura

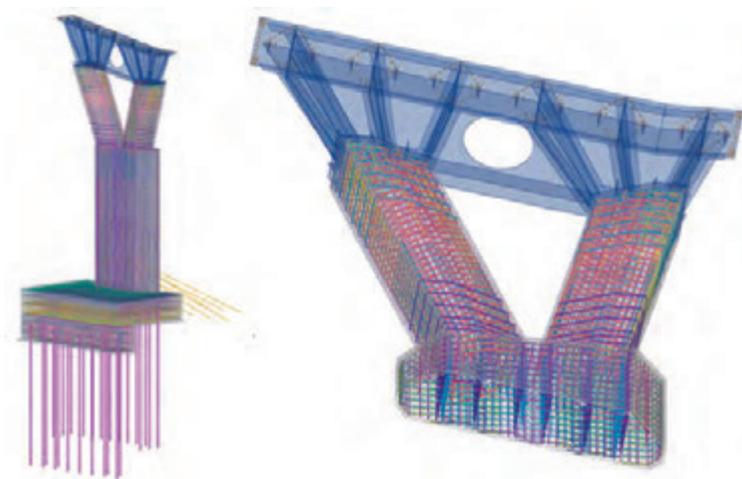


Fig. 26 | Modello Tekla Structure Fondazione P03

## Gli elementi costruttivi principali

### Le fondazioni della Copertura Ombriere

La struttura Ombriere è sostenuta dalle colonne dell'Edificio Stazione e da quattro massicci di fondazione che, dal piano stradale, riportano le sollecitazioni al piano di fondazione a livello dei binari. Le stesse sono pertanto soggette a spinte orizzontali importanti e l'analisi dell'interazione tra la struttura ed il terreno è stata determinante per la valutazione del corretto comportamento strutturale. Si è pertanto sviluppato un modello di calcolo per la simulazione del comportamento geotecnico, nonché dello stato tensionale e deformativo, che ha portato alla scelta di realizzare un sistema di pali e tiranti a sostegno dei plinti principali (figura 25).

In particolare la fondazione denominata P03 è stata concepita per supportare un elemento architettonico/strutturale con sagoma a V e sezione ottagonale. Per la relativa progettazione è stato sviluppa-



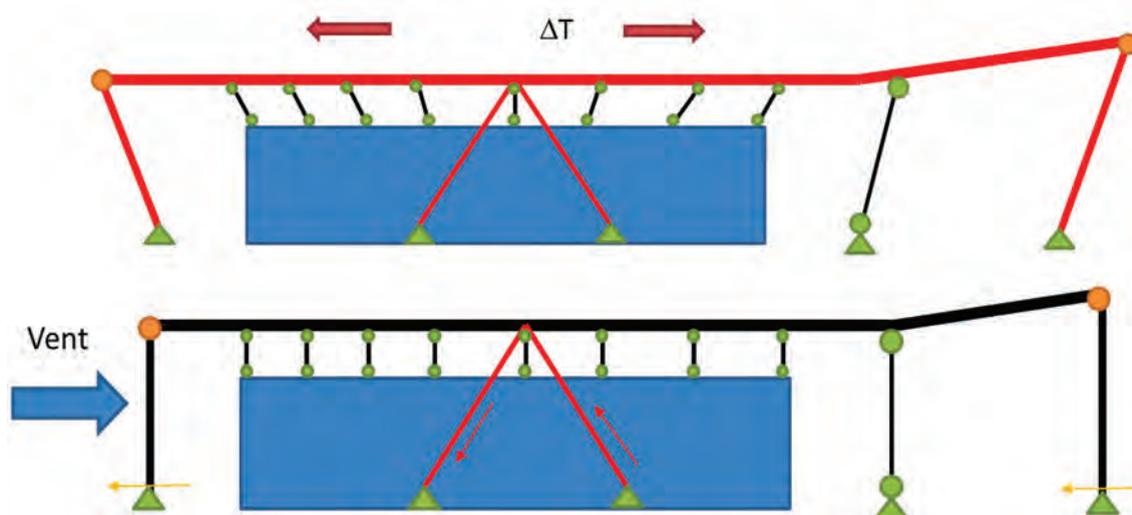


Fig. 30 | Schema Statico generale

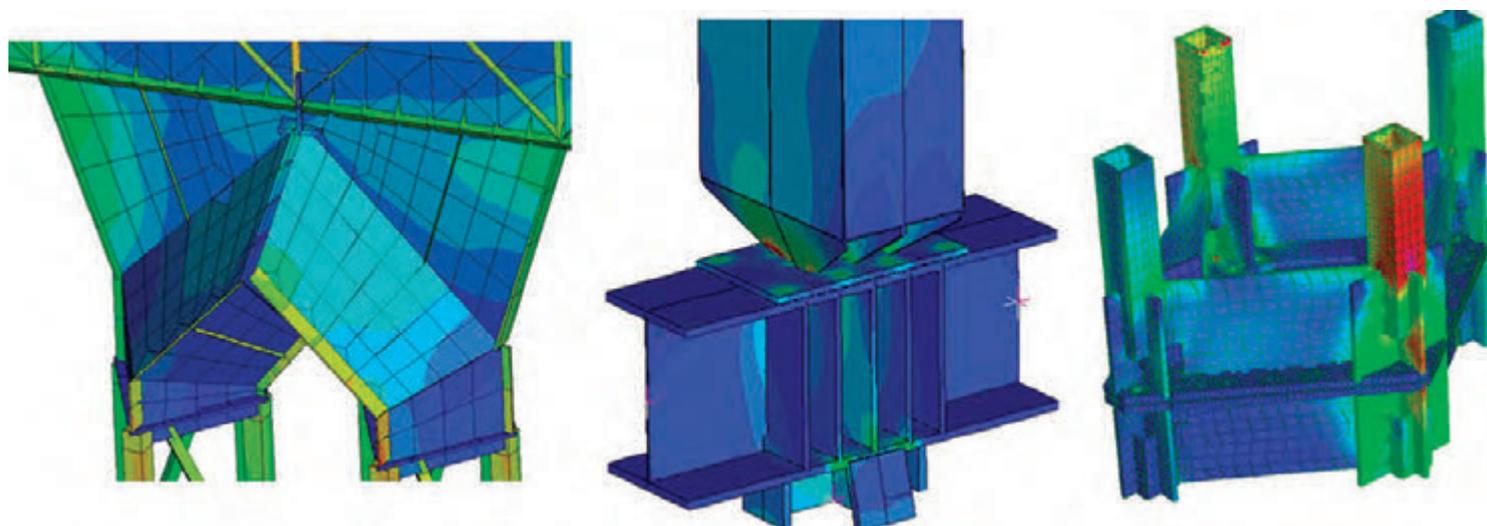


Fig. 31 | Modelli FEM Nodi

Particolarmente sfidante è stata la realizzazione del modello della copertura Ombriero, per la sua complessità di comportamento e per la dimensione del modello. Esso contiene oltre 40'000 elementi beam, 20'000 nodi, 8'000 elementi plate e 1'000 rigid link, per un totale di 70'000 elementi. Al fine di gestire tutte le particolarità sono stati creati modelli e sub-models successivamente utilizzati per le analisi di dettagli delle connessioni (figure 27-31).

Sono state eseguite analisi statiche e dinamiche per la determinazione delle frequenze proprie della struttura e la valutazione degli effetti di benessere degli utenti finali. In particolare le stesse analisi sono state svolte per i solai con travi di ampia luce, valutando gli effetti del secondo ordine per i grandi spostamenti.

Significativa la scelta dello schema statico di interconnessione tra l'edificio Stazione e la copertura Ombriero, che ha permesso un'oculata gestione degli spostamenti dovuti alle importanti variazioni termiche di una struttura di 250 m, evitando la creazione di coazioni non desiderate alla sottostante struttura.

La complessità di alcune connessioni nodali ha richiesto lo sviluppo di modelli di calcolo FEM a plate, al fine di verificare il corretto comportamento tensionale ed ottimizzare le scelte costruttive.

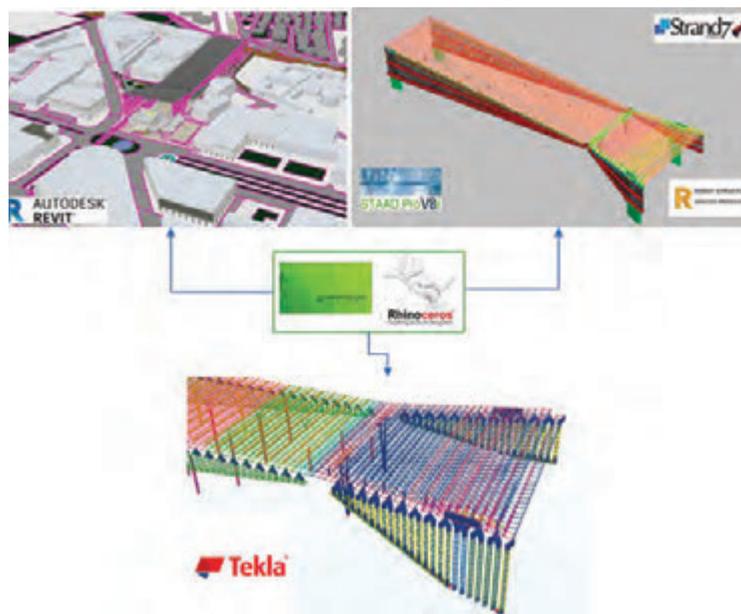


Fig. 32 | Flow-chart Interoperabilità BIM

## La metodologia BIM e tecniche di interoperabilità

Lo sviluppo progettuale è stato caratterizzato da un diagramma di flusso con tecniche di interoperabilità e parametrizzazione tra software, sfruttando le potenzialità e peculiarità di ogni singola applicazione per lo scopo specifico. Le caratteristiche di complessità geometrica unite alla ripetitività delle soluzioni costruttive ha indotto INCIDE alla pianificazione di interazioni molto spinte tra le soluzioni progettuali, gli strumenti di calcolo FEM e i modelli di coordinamento, al fine di ottenere la maggior efficienza e precisione tra le varie fasi progettuali.

Si è pertanto deciso di costruire un modello parametrico mediante software Rhino e la sua componente di programmazione Grasshopper, al fine di poter gestire le variabilità geometriche sorte durante lo sviluppo progettuale e poter interscambiare questi dati con i software di calcolo FEM (nel caso specifico StaadPro, Strauss e Robot) ed il modello progettuale realizzato in Tekla Structure (figura 32).

## Il Montaggio in cantiere

Il piano di Montaggio ha rappresentato un elemento importante sia del progetto che della costruzione. Il cantiere, collocato nel cuore della città, ha presentato numerosi vincoli operativi, quali la necessità di mantenere operative la linea ferroviaria e la linea tranviaria contingua e l'adiacenza delle principali arterie cittadine. Queste interferenze hanno influenzato l'operatività del cantiere riducendo le aree di assemblaggio a terra e limitando la posizione della gru semovente a sole tre possibili posizioni. Uno studio molto dettagliato delle fasi di assemblaggio a terra e di sollevamento in

quota, è stato necessario per garantire la costruibilità delle strutture metalliche. Tali scelte hanno allo stesso tempo influenzato il progetto esecutivo. Si è concepita la struttura della copertura Ombriere in grandi moduli preassemblati in officina e trasportati in sito, mediante trasporti speciali, al fine di ridurre al minimo gli spazi di assemblaggio in cantiere. Inoltre, la dimensione di questi moduli è stata coordinata in base alla capacità di sollevamento della gru, in funzione del suo sbraccio operativo (figura 33).

La gru semovente di portata 1200 t, ha potuto operare in sole tre posizioni, con sbraccio limitato dalla presenza degli edifici circostanti. Pertanto, la struttura è stata suddivisa in 54 macro elementi, di dimensione variabile tra 29x14 m e 8x14 m, la cui sequenza di montaggio è stata analizzata per stadi, al fine di verificare la congruenza geometrica in ogni fase di collegamento, la compatibilità delle sollecitazioni transitorie e la necessità di utilizzare delle pile provvisorie.

Al fine di analizzare in modo corretto tutti questi elementi, è stato realizzato un modello FEM non lineare con analisi step by step, che ha permesso di ottimizzare le fasi di costruzione e minimizzare l'uso di elementi di supporto temporanei (figura 34).

Sono state utilizzate 10 pile provvisorie costituite da moduli tralicciati di altezza 20 m e 18 elementi provvisionali, per gestire le fasi temporanee d'installazione della copertura (figura 35).

Lo smontaggio delle torri, è stata opportunamente studiata al fine di rilasciare il carico in modo graduale, verificandone gli stati deformativi e tensionali sul complesso ed evitare carichi alle strutture di appoggio non compatibili con quelle esistenti.

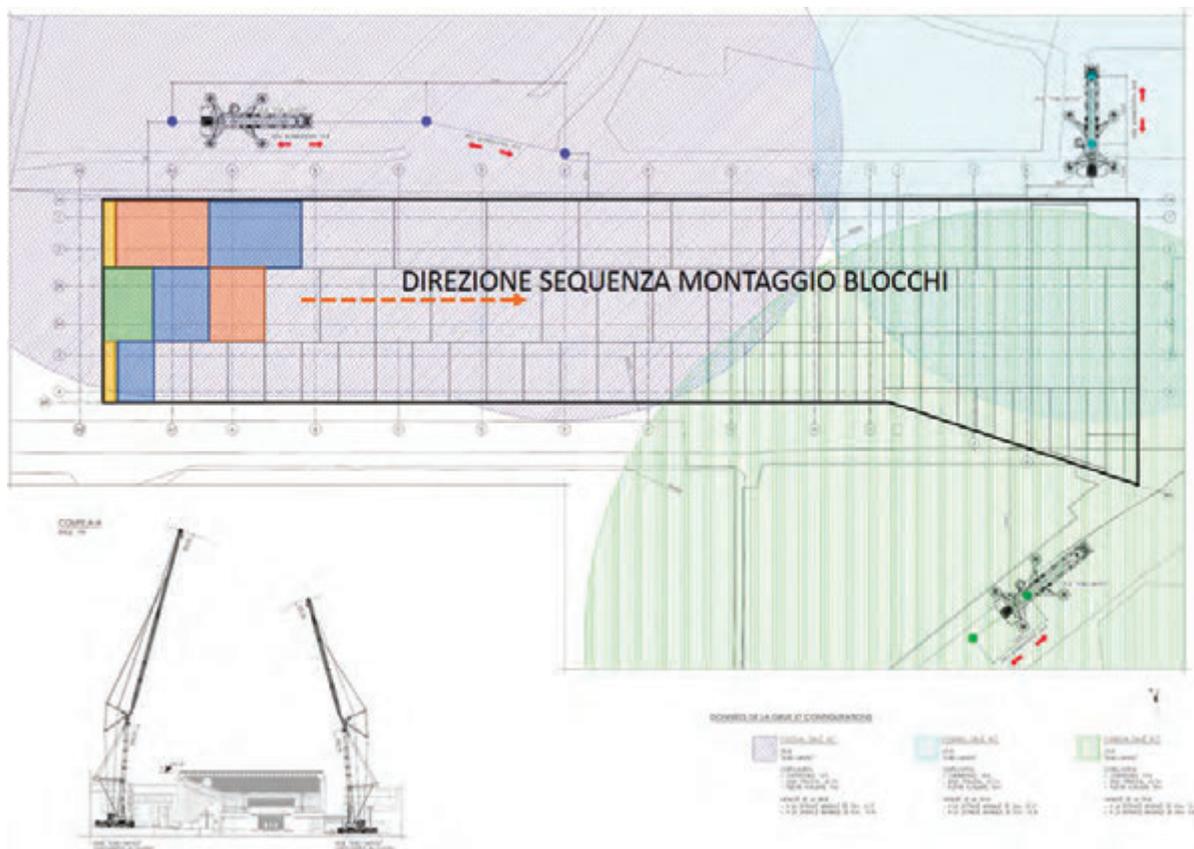


Fig. 33 | Planimetria di posizionamento gru e sbracci operativi

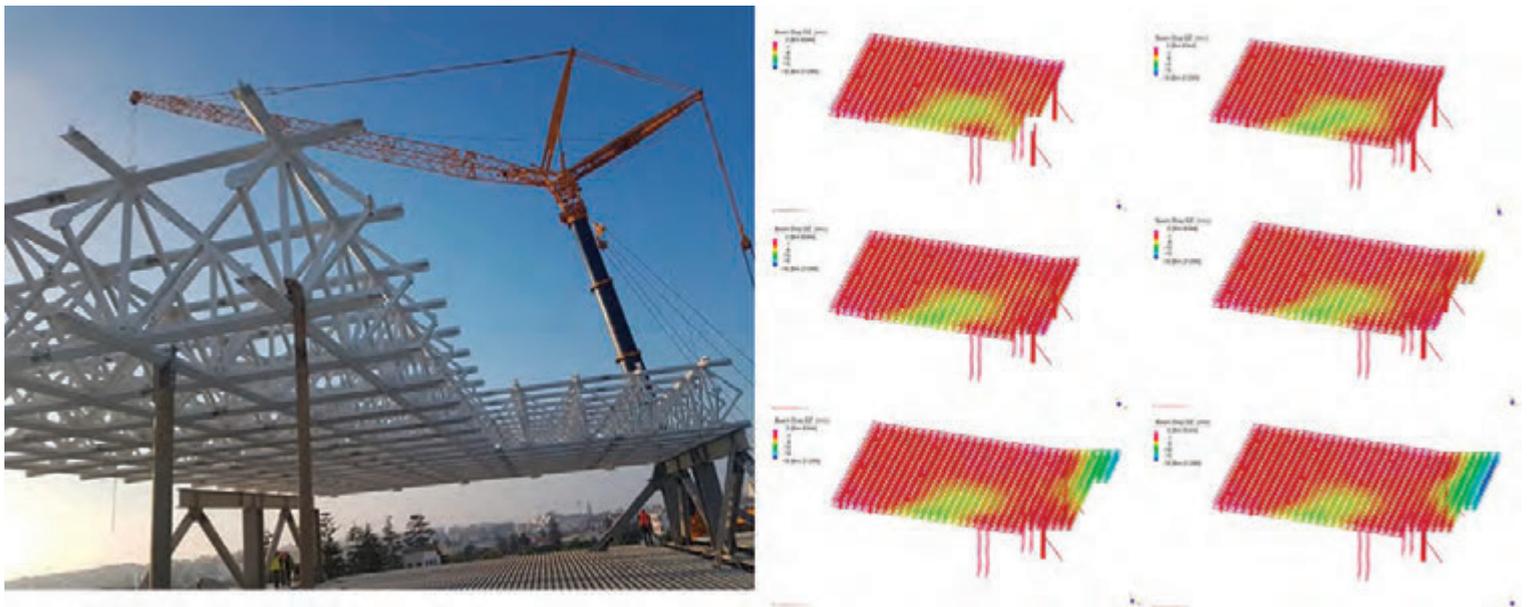


Fig. 34 | Installazione Marco blocchi e Modello FEM delle sequenze di montaggio

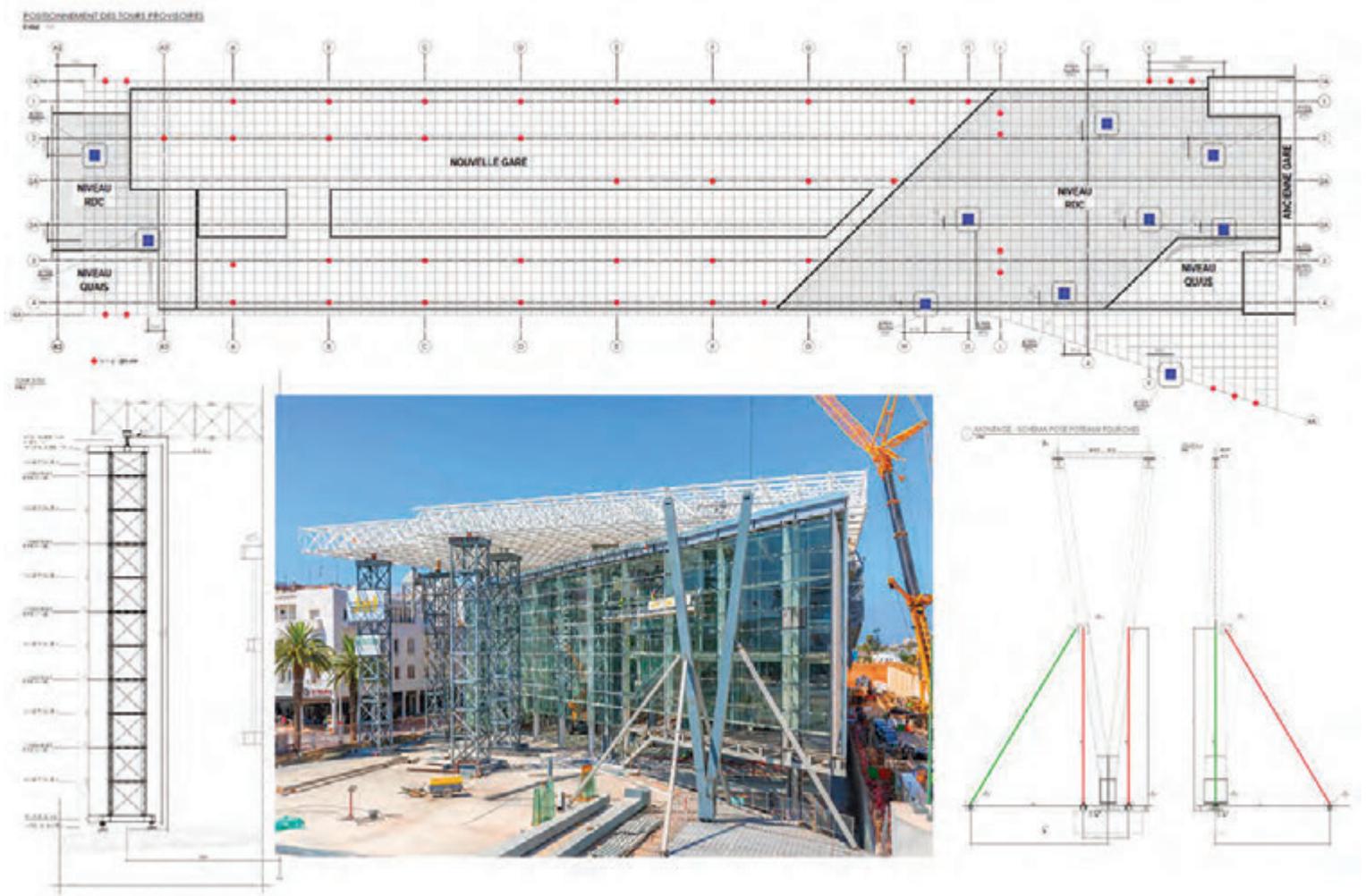


Fig. 35 | Schema pile provvisorie e loro installazione in cantiere

## Credits

Committente:	ONCF
Progetto architettonico:	Cabinet d'Architecture Abdelouahed Mountassir - Casablanca
Progetto strutturale:	INCIDE Engineering srl
Responsabile di progetto:	ing. Gianluca Vallerini
Team di progetto:	ingg. S. Noro, A. Colussi, G. Canale, A. Gazzetta, S. Piazza, P. Zancan, K. Azzouz, A. Piantari
Impresa:	Jet Contractor - Marocco
Immagini:	INCIDE



## Gianluca Vallerini,

Ingegnere Civile Strutturista, è Socio Fondatore ed Amministratore della società di Ingegneria INCIDE Engineering, con sede a Padova e con altre tre sedi internazionali. Da sempre cultore delle strutture in acciaio, ha affiancato a questa competenza pluridecennale, la multidisciplinarietà dei servizi di ingegneria, che caratterizzano, oggi, l'offerta di Incide.

## LIBRI



Il libro di cui parliamo oggi non è recentissimo: è stato infatti pubblicato all'inizio dello scorso anno a cura della casa editrice palermitana Dario Flaccovio Editore.

Porta con sé la presentazione del collega ed amico Vincenzo Nunziata, attuale consigliere del CTA, Collegio dei Tecnici dell'Acciaio, nella quale viene lodata l'impostazione rigorosamente riferita all'Eurocodice strutturale EN 1993

Si rimarcano due aspetti:

- l'esposizione degli argomenti che pur nello schema classico di questo genere (descrizione del ciclo tecnologico del materiale base, le connessioni saldate e bullonate e relativi problemi pratici, difettologie, tolleranze e criteri di accettabilità, verifiche sezionali delle strutture) accompagna passo passo il lettore a comprendere le espressioni delle norme nel dettaglio;
- il lavoro dell'autore non si esaurisce nel testo ma permette agli acquirenti del volume di accedere a fogli di calcolo excel (ed ai relativi video tutorial) per la valutazione speditiva delle azioni sulle strutture.

È chiaro che con l'andar del tempo sempre di più avremo testi che sono introduttivi a procedure di calcolo automatizzate, indispensabili all'aumentare della complessità delle verifiche.

Unico rilievo da fare a questo pregevole lavoro è l'aver considerato solo l'aspetto statico e non le azioni e verifiche in presenza di sisma. Ma è da pensare che sia soltanto una questione di tempo e l'autore completerà la trattazione anche sotto questo aspetto.

Giudizio complessivo positivo. Il libro è raccomandato a chi progetta strutture in acciaio e ben figura nella borsa degli attrezzi dell'ingegnere strutturista.

*(a cura di Riccardo De Col)*

e la ricchezza di esempi che lo accompagnano.

Il volume di oltre 440 pagine in effetti ripercorre gli Eurocodici sia per quanto riguarda le regole tecniche di base e comuni per la progettazione delle strutture nei paesi della comunità Europea, sia per quanto attiene alle specifiche espressioni di verifica degli elementi strutturali e delle giunzioni.

**Carlo Sigmund**

"Progettazione e calcolo di elementi e connessioni in acciaio"

Gennaio 2020

Dario Flaccovio Editore

438 pagine - 52 euro



1933-2021

## ANTONIO SALMERI

Un grande strutturista dell'acciaio  
innamorato della matematica

**I**l 28 maggio 2021 ci ha lasciato a 88 anni Antonio Salmeri, studioso e progettista nel campo delle strutture in acciaio.

Grande appassionato di matematica sin dai tempi della scuola, dal 1952 ha lavorato su diverse tematiche matematiche pubblicando circa 30 lavori scientifici.

Dal 1960 al 1966 ha lavorato come progettista e responsabile della progettazione esecutiva di manufatti di acciaio per impianti di raffinazione ed industriali presso un'officina di costruzioni meccaniche. Dal 1966 al 1978 è stato responsabile della progettazione meccanica nella Compagnia di Ingegneria Industriale COMING di Roma (acquisita nel 1973 dalla Snamprogetti). Dal 1978 al 1988 è stato alla guida in Snamprogetti-ENI dell'Ufficio Costruzioni Metalliche di Roma (strutture in Acciaio, tanks, camini, sili, sfere, scambiatori di calore, serbatoi in pressione). Nel 1981 viene nominato dirigente. L'attività di progettazione presso Snamprogetti di Roma è stata accompagnata da ricerche teoriche tendenti ad ottimizzare i risultati della progettazione ed a semplificare le procedure di calcolo, soprattutto nel campo dell'instabilità delle lastre e dei gusci.

Nel 1988 ha iniziato a svolgere attività di libero professionista nel campo della progettazione di manufatti in acciaio: edifici multipiano e capannoni industriali, strutture sostegno apparecchiature e tubazioni, strutture per forni industriali, camini e torce, serbatoi di stoccaggio e criogenici, sili, tramogge e serbatoi piezometrici per acqua.

Ha tenuto diversi corsi e conferenze presso la Snamprogetti, il CTA, il CISM e varie università (Bari, Politecnico di Milano,

Cassino).

Nel 2012 è tornato alla sua primitiva passione della matematica dedicandosi al campo della divulgazione e del coinvolgimento dei giovani fondando il giornale online "Euclide. Giornale di matematica per i giovani" (<https://euclide-scuola.org/>), appassionando molte centinaia di ragazzi delle scuole alle tematiche scientifiche e matematiche in particolare.

### Pubblicazioni scientifiche

#### Instabilità in lastre e gusci

- Calculating the minimum thickness of thin cylindrical shell (Stabilite des Structures Metalliques – Troisième Colloqui International – Paris 1983).
- Sulla determinazione analitica e grafica dello spessore dei cilindri a parete sottile (Atti Convegno CTA – Montecatini 1985).
- Calcolo diretto dei cilindri sottili presso-inflessi in accordo con le istruzioni CECM (Impianti – n. 6, 1986).
- Calculating the effective width of an uniformly loaded thin-plate with a direct method (Costruzioni metalliche – n. 1, 1987).
- Calcolo diretto dello spessore di cilindri sottili con modifica del coefficiente alfa (Atti Convegno CTA – Trieste 1987).
- Direct calculation of thin cylinders with modification of the alpha reduction factor (Costruzioni Metalliche – n. 5, 1987).
- Dimensionamento di fondi torosferici di grandi dimensioni per serbatoi piezo-metrici (Atti Convegno CTA – Trieste 1987).

- Calcolo diretto dello spessore di un cilindro sottoposto a pressione esterna (Atti Convegno CTA – Viareggio 1993).
- Osservazioni sul metodo proposto dall'Eurocodice 3 sul calcolo della larghezza efficace di lastre sottili presso-inflesse (Atti Convegno CTA – Riva del Garda 1995).
- Una proposta per semplificare l'uso del S. I. nelle verifiche strutturali (Atti Convegno CTA – Isola di Capri 1989).
- Esame critico sulle procedure di progettazione ed approvvigionamento di strutture per impianti industriali (Atti Convegno CTA – Isola di Capri).

### Ottimizzazione di peso e di costo

- Sulla ottimizzazione di torri cilindriche sottoposte a limitazione di freccia orizzontale (Atti Convegno CTA – Perugia 1983).
- Ottimizzazione di peso e di costo di serbatoi di stoccaggio (Atti Convegno CTA – Montecatini 1985).
- Storage tanks weight and costs optimization (Costruzioni Metalliche – n. 2, 1986).
- Progettazione ottimale di un silo di grandi dimensioni destinato allo stoccaggio di prodotti granulari (Atti Convegno CTA – Trieste 1987).
- Ottimizzazione negli impianti industriali (Impianti – n. 9, 1987).
- Progettazione ottimale dei controventi di un traliccio poligonale di sostegno di un serbatoio pensile (Atti Convegno CTA – Isola di Capri 1989).
- Calcolo diretto della larghezza efficace e ricerca della sezione ottimale di lastre nervate compresse assialmente (Atti Convegno CTA – Isola di Capri 1989).
- Alcune considerazioni sull'ottimizzazione di strutture in acciaio (Atti Convegno CTA – Abano Terme 1991).

### Sismica nei serbatoi di stoccaggio

- Sulla verifica sismica di serbatoi di stoccaggio di prodotti liquidi (Atti Convegno CTA – Abano Terme 1991).
- Analisi sismica nei serbatoi cilindrici con liquido interamente solidale alle pareti (Atti Convegno CTA – Viareggio 1993).
- Suggerimenti integrativi per più accurate verifiche sismiche di serbatoi di stoccaggio di prodotti liquidi (Costruzioni Metalliche n. 2, 1998).

### Progettazione

- Strutture in Acciaio per Impianti Industriali – Facoltà d'Ingegneria – Università di Bari – 1988).

- Cenni sulla progettazione di un camino in acciaio (Giornale Ordine degli Ingegneri di Lucca – n. 3, 1991).
- Scelta e verifica dei bulloni (Euroviti – Manuale Tecnico Catalogo viteria bulloneria fasteners – n. 12, 2001).

### Applicazione dell'informatica ai progetti strutturali

- Disegno di progetto di strutture in acciaio a mezzo plotter (Atti Convegno CTA – Palermo 1981).
- Informatica ed uso dei calcolatori: Bilancio e Prospettive (Impianti – n. 12, 1986).
- Automatic production of general and workshop drawings of steel structures for industrial plants (Atti Convegno CTA – Riva del Garda 1995).

### Realizzazione di strutture in acciaio

- Ristrutturazione di un silo per prodotti granulari eroso oltre il limite ultimo (Atti Convegno CTA – Trieste 1987).
- Restructuring a silo eroded beyond the ultimate limit (Costruzioni Metalliche – n. 1, 1988).
- Un carroponte in lega leggera per il riadeguamento di un capannone (Atti Convegno CTA – Isola di Capri 1989).
- Riadeguamento a più gravosi carichi da vento di una torcia strillata alta 153 metri (Atti Convegno CTA – Isola di Capri 1989).
- Revamping structures for different load environmental conditions (Costruzioni Metalliche – n. 6, 1991).
- Un serbatoio pensile da 5000 metri cubi con fondo torosferico da 26 metri (Atti Convegno CTA – Abano Terme 1991).
- I silo stoccaggio farina di calcare per l'impianto desolfurazione C.T.E. Enel del Sulcis (Atti Convegno CTA – Riva del Garda 1995).
- Progettazione di un reattore Denox appeso (Atti Convegno CTA – Napoli 1999).



# Marco Peroni Ingegneria

FAENZA (RA) \_  
Via Sant'Antonino 1,  
tel. 0545/31433

BOLOGNA \_  
Via Beroaldo 59,  
tel. 051/2800651

Diamo struttura alle idee

[peroni@marcoperoni.it](mailto:peroni@marcoperoni.it)

Marco Peroni ingegneria ha da sempre dedicato una particolare attenzione alle strutture in acciaio, in quanto incarnano la leggerezza e la purezza strutturale che fanno parte della cifra stilistica dello studio.

Nonostante il nostro territorio emiliano-romagnolo sia tradizionalmente votato all'uso di metodi più tradizionali come il cemento armato o la muratura, nel corso degli anni abbiamo comunque trovato un nostro spazio nella progettazione ed esecuzione di strutture in acciaio sia in ambito residenziale che industriale.

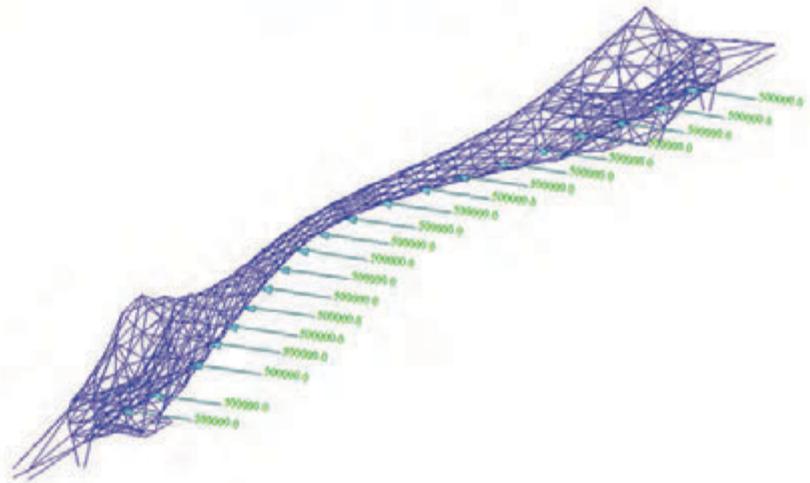
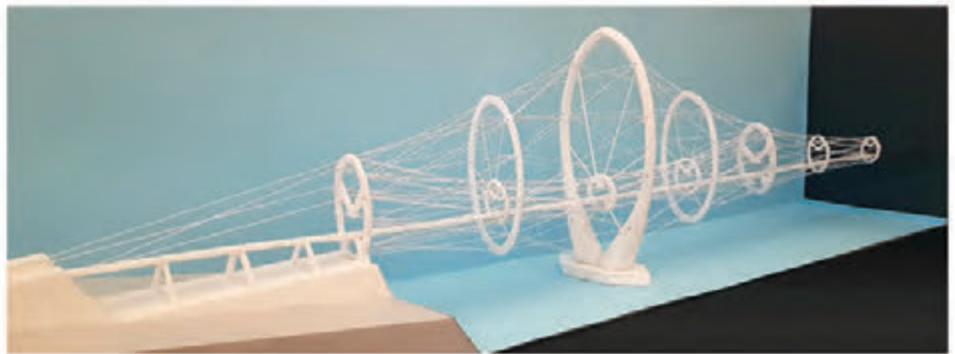
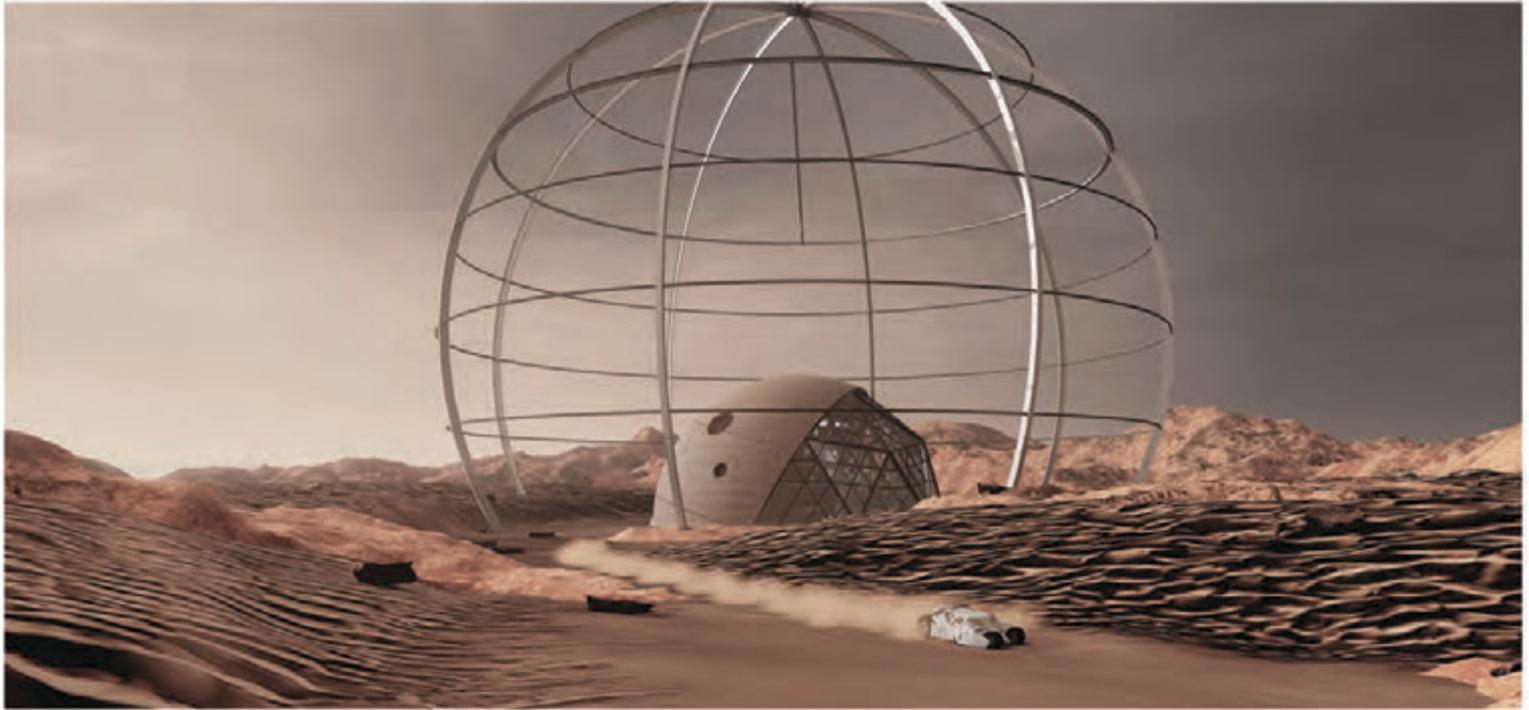
Parallelamente abbiamo proseguito le nostre ricerche su nuovi sistemi abitativi soprattutto in zone a rischio sismico, applicando soluzioni leggere e tecnologicamente avanzate che si rispecchiano anche nell'estetica della costruzione.

Tale percorso ci ha portati, per esempio, allo sviluppo di una innovativa sopraelevazione in acciaio su isolatori (da noi definita "TMD abitato"), un progetto unico nel panorama italiano che abbiamo presentato a numerosi congressi e al quale è stato dedicato spazio su diverse riviste di settore tra cui anche Costruzioni Metalliche nel 2017.



Il nostro approccio si caratterizza per l'attenzione alla ricerca, alla quale dedichiamo ogni momento "libero" della nostra professione: studi approfonditi di casi reali ma anche modelli di strutture futuribili (negli ultimi anni ci siamo intensamente occupati anche del progetto di futuri insediamenti sulla Luna o su Marte) occupano tangibilmente gli spazi del nostro Studio, che nel corso degli anni è arrivato ad occupare l'intera Chiesa dell'Annunziata, la nostra sede principale di Faenza.

Siamo convinti che "allenare" la mente sulle grandi strutture (anche utopiche) possa infatti permetterci di esplorare nuove chiavi di lettura utili alla risoluzione di qualsiasi intervento effettivo, come l'esperienza di ormai 30 anni di lavoro ci insegna.



**NUOVO, POTENTE, AFFIDABILE, COMPLETO...  
RIVOLUZIONARIO!**

**CDJ** *Win*

**Computer Design of Joints**  
*2021 Edition* **FEA Connection**

**NOVITÀ: Import nodi  
da Revit®**

**Niente più problemi  
con le giunzioni metalliche...**

Software per l'analisi agli  
elementi finiti 3D delle unioni  
in acciaio di geometria qualsiasi,  
con input da CAD 3D integrato in modellazione solida:

- Elementi finiti 3D di tipo «tetraedo» - Meshatura tridimensionale del nodo
- Soluzioni di elevatissima precisione - Granularità meshatura personalizzabile

**Modello in Revit®**

**Modello in CDJ *Win***

**Navigatore Fotorealistico  
dell'intera struttura\*\***

Visiona i nostri  
video tutorials su 

Visita il nostro sito [www.stsweb.it](http://www.stsweb.it) per visionare i nostri video tutorials.

Richiedi una dimostrazione in connessione remota al seguente indirizzo email: [cdj@stsweb.it](mailto:cdj@stsweb.it)

**Software Tecnico Scientifico®**



Via Tre Torri, 11 - 95030 Sant'Agata li Battiati (CT)  
e-mail: [sts@stsweb.it](mailto:sts@stsweb.it)  
tel. 095/7252559-7254855 fax 095/213813

Corso Gelone, 39 - 96100 Siracusa  
e-mail: [sts.siracusa@stsweb.it](mailto:sts.siracusa@stsweb.it)  
tel. 0931/66220

