



SET/OTT 2021



RIVISTA BIMESTRALE
PER LA DIFFUSIONE
DELLA CULTURA DELL'ACCIAIO

COSTRUZIONI METALLICHE



IDEE E SOLUZIONI GLOBALI PER PROGETTI INFRASTRUTTURALI NEL MONDO

Italferr, società di ingegneria del **Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane**, è leader sul mercato italiano e internazionale in progettazione, direzione lavori e project management di opere infrastrutturali.

Dall'ideazione fino alla messa in esercizio, offre al cliente il proprio know-how, frutto di un'esperienza di oltre 30 anni, finalizzato a realizzare infrastrutture moderne, efficienti e sostenibili.



ITALFERR

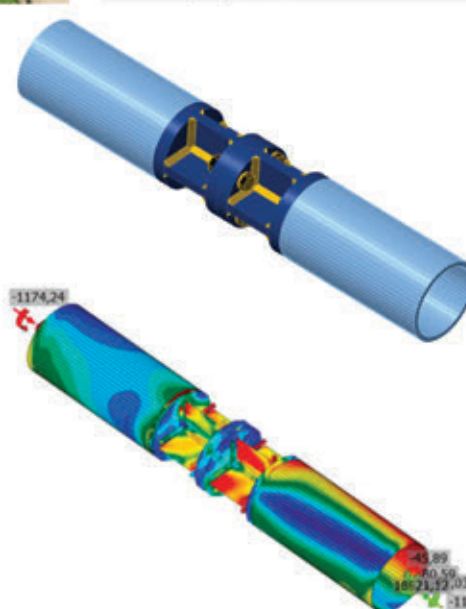
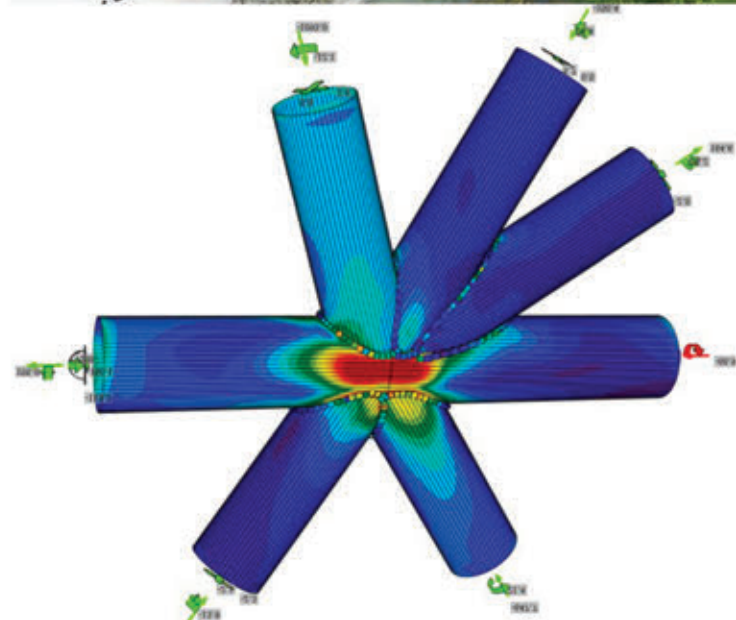
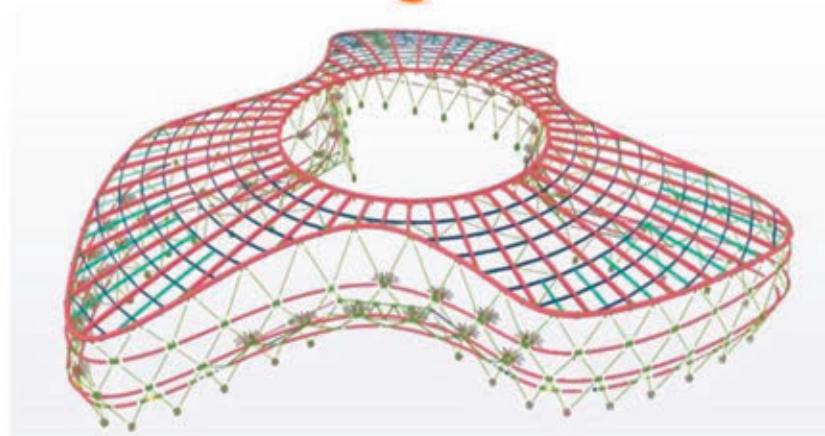
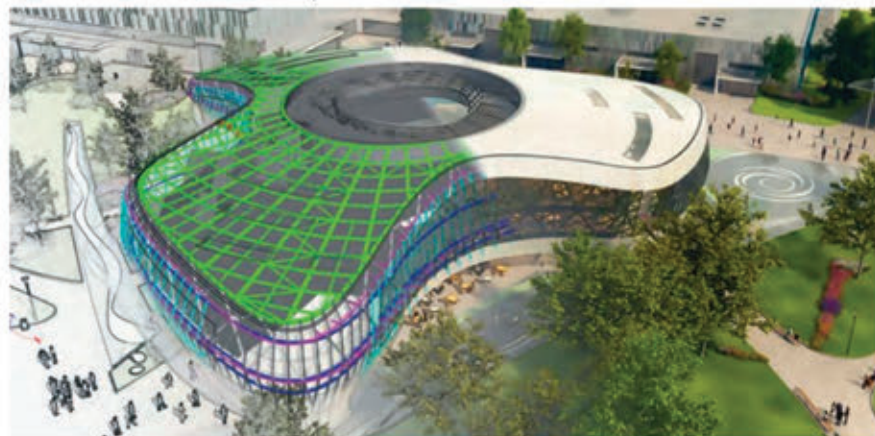
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

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®



EISEKO
COMPUTERS

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

informazione
giornaliera
per il professionista



Gazzetta di ingenio è una Newsletter giornaliera che viene inviata durante la settimana e dà evidenza ad alcuni dei principali articoli/notizie pubblicati sul portale ingenio.

Esce la mattina ed è spedita agli utenti registrati al portale.

Vista la sua diffusione e quotidianità, è **lo strumento ideale per promuovere eventi**, oppure annunciare l'uscita di **nuove tecnologie**.

La Gazzetta di ingenio è uno degli strumenti con cui ingenio comunica al suo pubblico di specialisti. Guarda un esempio - <https://bit.ly/2IQCLsP> oppure scopri di più su ingenio-web.

Pubblicizza la tua azienda su

COSTRUZIONI METALLICHE



ADVERTISING SALES & COMMUNICATION AGENCY

Concessionaria
di pubblicità
per questa rivista

Tel 06.9078285 - Cell 346.7588821
comunicazione@agicom.it
www.agicom.it

APPROFITTA DEL
BONUS PUBBLICITÀ
INSERITO NELLA LEGGE DI BILANCIO 2021
CHE PERMETTE DI RECUPERARE
IL 50% DEL TOTALE INVESTIMENTO
PUBBLICITARIO ANNUO.

*LEGGE 30 dicembre 2020, n. 178, art. 1



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

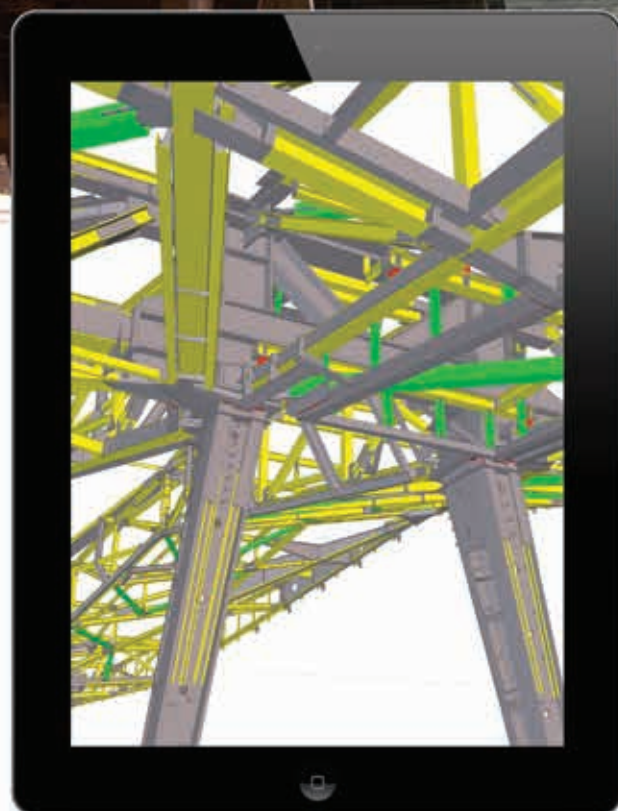


Supporto tecnico compreso nel canone di noleggio



Flessibile e adatto alle nuove esigenze del mercato

e molto altro...



Rivenditore esclusivo per l'Italia
since 1990

HARPACEAS
More than BIM





Con il patrocinio
del Comune di Genova



Giornate Nazionali di Saldatura

GNS 11

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

GENOVA, 2 - 3/12/2021
PORTO ANTICO | CENTRO CONGRESSI

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

SPONSOR TECNICI UFFICIALI



SOL



Ophir



CENTRI DI ECCELLENZA E DI FORMAZIONE IIS



ASSOCIAZIONI DI SETTORE



www.gns.iis.it

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 Isolcomit Srl, Legnano (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; costruzioniinmetalliche@ctanet.it
 http://www.collegiotecniciacciaio.it/costruzioniinmetalliche/

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:

Huttart 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 Novembre 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 LXXII SET OTT 21



www.facebook.com/CMrivista

costruzioniinmetalliche@ctanet.it

In copertina:

Profilato in acciaio per impiego come
 colonna prefondata realizzata con tecnica
 di costruzione Top-Down (ArcelorMittal)



9	EDITORIALE GIACOMO DI RUOCCO	Sostenibilità delle strutture in acciaio
11	SOSTENIBILITÀ GIACOMO DI RUOCCO, ROBERTA MELELLA, ALFONZO SORVILLO	Sostenibilità delle costruzioni metalliche: un piano di disassemblaggio e demolizione selettiva a basse emissioni di CO ₂ eq
43	REALIZZAZIONI MICHELE CAPÈ, ROBERTO BERTAZZOLO	Torre Gioia 22: progettazione e ottimizzazione della vela in acciaio
53	INGEGNERIA RICCARDO ZANON	Top-down construction using steel plunge columns General overview and some details from recent projects
62	REALIZZAZIONI G. CLAUDIO CERRA, ALBERTO VINTANI	Usi speciali di colonne in acciaio dalla Stazione della MM "Centrale FS" alla Torre Giax
75	REALIZZAZIONI MARCO PERONI	RIUTILIZZO DEI CONTAINER INDUSTRIALI
79	LA REDAZIONE	COLLABORAZIONE EDITORIALE TRA CTA E CTICM
80	INGEGNERIA DA "REVUE CONSTRUCTION MÉTALLIQUE"	Study of the structural reliability of power line lattice towers subjected to wind conditions
92	PILLOLE DI BIM PAOLO ODORIZZI, UGO PICCINNO	Applicazione dei nuovi standard normativi BIM ricadute operative

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.





Sostenibilità delle strutture in acciaio

Prof. Giacomo Di Ruocco | Università degli Studi di Salerno

La sostenibilità delle costruzioni

Il Green Deal Europeo [1] mira a rendere l'Europa climaticamente neutra entro il 2050. Per il conseguimento di tale obiettivo, la Commissione ha auspicato, quale risultato intermedio, la riduzione delle emissioni nette di gas a effetto serra (GHG) di almeno il 55%, rispetto ai livelli del 1990, entro il 2030. I modelli climatici si basano, infatti, sul presupposto che le condizioni climatiche future dipendano dall'evoluzione in atmosfera delle concentrazioni di gas climalteranti, le quali dipendono a loro volta dall'attuazione o meno di politiche di mitigazione.

Il raggiungimento degli obiettivi del Green Deal consentirebbe un sensibile miglioramento del benessere, apportando benefici in termini di salute, migliore qualità dell'aria, riduzione del degrado ambientale e, inoltre, sosterebbe fortemente la ripresa post-pandemica. Il settore delle costruzioni incide per il 39% delle emissioni mondiali di CO₂e in atmosfera; pesa per il 36% dell'intero consumo energetico globale, per il 50% delle estrazioni di materie prime e per il consumo di un terzo dell'acqua potabile [2].

Per analizzare gli impatti energetici ed ambientali del settore dell'edilizia lungo l'intero ciclo di vita, occorre far riferimento ad indicatori della sostenibilità dei materiali, dei sistemi di costruzione e degli edifici nel loro complesso, quali l'energia incorporata (*embodied energy*) e l'energia operativa (*operational energy*) [3]. L'energia incorporata equivale all'energia necessaria per l'estrazione e il trattamento delle materie prime, per il trasporto e l'assemblaggio dei prodotti finiti in cantiere, per interventi di manutenzione, ristrutturazione, demolizione e smaltimento dei rifiuti, a fine vita. Alle aliquote di energia incorporata ed energia operativa corrispondono conseguenti fattori di emissioni di CO₂e: *embodied carbon* (emissioni incorporate) ed *operational carbon* (emissioni legate alla fase operativa) [4]. Pertanto, progettare un edificio energeticamente efficiente, nella fase d'esercizio, è condizione necessaria ma non sufficiente, tenendo conto delle ulteriori aliquote di emissioni derivanti dall'impiego di risorse nelle altre fasi del ciclo di vita.

La valutazione della sostenibilità degli edifici

La norma ISO 15392:2008 (Sustainability in building construction - General principles) [5] ha applicato il concetto di sviluppo sostenibile al settore delle costruzioni e a tutte le attività a esso correlate, partendo dalla considerazione che, nel corso del loro ciclo di vita, gli edifici assorbono considerevoli risorse e contribuiscono in maniera notevole alle trasformazioni dell'ambiente circostante. La valutazione del ciclo di vita (LCA - Life Cycle Assessment) consente applicazioni multiscalarari nel settore dell'edilizia (prodotto, soluzione tecnologica, tecnica costruttiva, edificio, quartiere, città). La norma UNI EN 15978:2011 [6] ne consente l'applicazione al sistema edificio, da parte degli operatori impegnati nel processo edilizio (progettisti, produttori, pubbliche amministrazioni) ed è applicabile alle diverse fasi del processo stesso (progetto, produ-

zione, costruzione manutenzione, demolizione, dismissione).

La metodologia LCA è definita, normata e promossa da diverse politiche, norme e schemi volontari a livello europeo e italiano: le norme tecniche volontarie ISO CEN UNI; le politiche ambientali europee, il Green Public Procurement (GPP) [7] e i criteri ambientali minimi (CAM) [8]; le certificazioni ambientali di edificio (Green Building Rating Systems); infine, gli strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità degli edifici residenziali (prassi di riferimento UNI/PdR 13.1:2019) [9].

L'impronta ecologica delle strutture in acciaio

Le strutture in acciaio presentano un impatto ambientale (o impronta ecologica) su vari livelli: a livello di prodotto, a livello di elemento tecnico, a livello di unità tecnologica. L'impronta ecologica del prodotto, quantificata sulla base di database scientificamente riconosciuti e condivisi (approccio *life cycle inventory*) [10], consente di stimare il contenuto di energia incorporata (e conseguente aliquota di emissioni di CO₂e incorporate) per peso del materiale. Le emissioni connesse ai vari cicli produttivi, variano, a seconda del tipo di prodotto, dai 3,02 kgCO₂e/kg delle tubature, a 1,99 kgCO₂e/kg delle barre di armatura, e 1,27 kgCO₂e/kg degli acciai per l'ingegneria. L'elevata percentuale di riciclabilità del materiale, prossima al 100%, lo rende disponibile anche come materia prima secondaria, consentendo una consistente riduzione di CO₂e incorporata, in funzione del rispettivo ciclo produttivo, pari a circa il 55% per l'acciaio per tubazioni, al 60% per le barre di armatura, al 75% per l'acciaio per l'ingegneria.

Nell'ambito degli elementi tecnici e delle unità tecnologiche (così come definiti dalla norma UNI 8290-1:1981) la sostenibilità viene valutata in termini di disassemblabilità del sistema, mediante una progettazione tecnologica orientata verso la riutilizzabilità dei componenti, a fine vita. Nello specifico, i Criteri Ambientali Minimi italiani (la cui applicazione è imposta dall'art.34 del Codice dei Contratti Pubblici, DL 50/2016 e s.m.i.), tra i vari requisiti, impongono l'obbligo, per i progetti degli interventi di nuova costruzione nonché di demolizione e ricostruzione, di un piano per il disassemblaggio e la demolizione selettiva dell'opera, a fine vita, che dimostri che almeno il 50% peso/peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati, escludendo gli impianti, deve essere sottoponibile, a fine vita, a demolizione selettiva ed essere riciclabile o riutilizzabile. Di tale percentuale, almeno il 15% deve essere costituito da materiali non strutturali.

La vulnerabilità dell'attuale sistema di valutazione della sostenibilità

L'analisi dello stato dell'arte, in materia di sostenibilità delle costruzioni, evidenzia molteplici criticità quali, ad esempio, l'assenza di una banca dati LCA italiana relativa al settore edilizio, la mancanza di metodi e strumenti univoci di valutazione della sostenibilità ambientale, la scarsità di metodologie semplificate in relazione alle diverse fasi del progetto, la necessità di estensione degli studi

non solo all'intero ciclo di vita *from cradle to grave* (dalla culla alla tomba) ma alla circolarità del processo, secondo un approccio *from cradle to cradle* (dalla culla alla culla) [11]. E ciò oltre alla necessità di definire benchmark LCA (prodotto, soluzione costruttiva, edificio), nonché una modalità standardizzata di aggregazione degli indicatori ambientali in un unico indicatore di sostenibilità ambientale.

Le prospettive future legate al potenziale di sostenibilità delle strutture in acciaio

Gli orientamenti futuri della progettazione tecnologica tendono verso l'ottimizzazione dei processi e delle risorse, secondo il principio della Lean Construction [12], un concetto recentemente traslato dall'industria automobilistica all'industria delle costruzioni, che si traduce, in sintesi, nel miglioramento della pianificazione del lavoro, nella prefabbricazione modulare, nell'utilizzo di indicatori chiave di prestazione, nell'analisi e gestione del percorso critico, nel miglioramento continuo da un progetto all'altro. In edilizia, tali principi si interpretano nella eco-efficacia dei processi costruttivi, secondo la logica di un pensiero progettuale orientato verso il soddisfacimento di molteplici cicli di vita di un prodotto, di un elemento tecnico, di una unità tecnologica, nell'ottica di una perpetua circolarità e ciclicità del processo.

Le normative risultanti dalle politiche di mitigazione del riscaldamento globale, ai fini di una efficace applicazione, richiedono

necessariamente opportune strategie metodologiche e progettuali che mirino alla ottimizzazione degli indicatori sensibili delle certificazioni ambientali.

Le strutture in acciaio, intese quali sistemi costruttivi emblematicamente e prevalentemente "a secco", grazie alle caratteristiche intrinseche di disassemblabilità e riutilizzo dei componenti, nonché grazie alle caratteristiche estrinseche di riciclabilità del materiale e riutilizzo quale materia prima secondaria, offrono notevoli potenzialità in termini di sostenibilità, nell'ottica della deadline "*carbon neutral*" dei processi costruttivi.

Recenti ricerche scientifiche, in materia di circolarità, decarbonizzazione e stima dei costi del ciclo di vita (LCC) [13], dei processi costruttivi di edifici con sistemi prevalentemente in acciaio, evidenziano la potenzialità (in termini sia di riutilizzabilità che di riciclabilità), delle strutture metalliche, non soltanto di poter conseguire agevolmente i requisiti di base imposti dai Criteri Ambientali Minimi, ma anche del loro superamento, prospettando punteggi premianti in sede di procedura di aggiudicazione degli appalti pubblici (art.95 DL 50/2016 e s.m.i.).

Le nuove sfide della progettazione delle costruzioni metalliche ri-guarderanno, pertanto, l'opportunità di coordinare e coniugare i requisiti normativi strutturali e antisismici con quelli posti alla base della sostenibilità energetica e ambientale.

Riferimenti:

- [1] COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI - Bruxelles, 14.7.2021 COM(2021) 550 final
- [2] World Green Building Council, 2019 Global Status Report for Buildings and Construction. Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector – UN Environment and the International Energy Agency
- [3] Giordano, R., Serra, V., Tortalla, E., Aghemo, C. Embodied Energy and Operational Energy Assessment in the Framework of Nearly Zero Energy Building and Building Energy Rating, November 2015Energy Procedia 78:3204-3209, DOI: 10.1016/j.egypro.2015.11.781
- [4] R. Iddon, C., K. Firth S. Embodied and operational energy for new-build housing: A case study of construction methods in the UK, December 2013Energy and Buildings 67:479-488, DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.08.041
- [5] Tacconi, G. Sostenibilità in Edilizia. Prontuario delle norme e delle linee guida europee, nazionali e regionali. Wolters Kluwer Italia s.r.l. – Milano (2016), p.222
- [6] BRE Global Product Category Rules (PCR) For Type III EPD of Construction Products to EN 15804+A2 PN 514 Rev 3.0. Disponibile su: https://www.greenbooklive.com/filelibrary/EN_15804/PN514-BRE-EN-15804-PCR.pdf
- [7] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare , PIANO D'AZIONE PER LA SOSTENIBILITA' AMBIENTALE DEI CONSUMI NEL SETTORE DELLA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE

(OVVERO PIANO NAZIONALE D'AZIONE SUL GREEN PUBLIC PROCUREMENT - PAN GPP). Disponibile su: https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/GPP/all.to_19_PAN_GPP_definitivo__21_12_2007.pdf

- [8] Cellura, T., Cellura, L. Il nuovo manuale dei Criteri Minimi Ambientali in Edilizia, Maggioli Editore, Rimini, 2018
- [9] Prassi di riferimento UNI/PdR 13:2019 "Sostenibilità ambientale nelle costruzioni – Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità". Disponibile su: http://itaca.org/news_dettaglio.asp?ID=531
- [10] Craig I., J., Hammond, G. Embodied energy and carbon in construction materials, January 2008Proceedings of the ICE - Energy 161(2):87-98, DOI: 10.1680/ener.2008.161.2.87
- [11] Futas, N., Rajput, K., Schiano-Phan, R. Cradle to Cradle and Whole-Life Carbon assessment – Barriers and opportunities towards a circular economic building sector, February 2019IOP Conference Series Earth and Environmental Science 225(1):012036, DOI: 10.1088/1755-1315/225/1/012036
- [12] Saad Bajjou, M., Chafi, A. The potential effectiveness of lean construction principles in reducing construction process waste: An input-output model, December 2018JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING AND SCIENCES 12(4):4141-4160, DOI: 10.15282/jmes.12.4.2018.12.0358
- [13] Wouterszoon Jansen, B., van Stijn, A., Gruis, V., van Bortel, G. A circular economy life cycle costing model (CE-LCC) for building components, October 2020Resources Conservation and Recycling 161:104857 DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104857

Sostenibilità delle costruzioni metalliche: un piano di disassemblaggio e demolizione selettiva a basse emissioni di CO₂eq

Sustainability of metallic construction: a selective disassembly and demolition plan with low CO₂eq emissions

Prof. Giacomo DI RUOCCO* | Università di Salerno

Ing. Roberta MELELLA | Università di Salerno

Ing. Alfonso SORVILLO | AEC freelance

Ai fini della decarbonizzazione totale prevista entro il 2050, l'ambiente costruito è un dominio strategico per l'agenda di R&I (Ricerca e Innovazione). Il settore delle costruzioni rappresenta infatti uno tra i maggiori contributori alle emissioni di GHG, con il 39% delle emissioni globali al 2018, dati che evidenziano la necessità di attuare un sostanziale processo di decarbonizzazione in questo settore. La riduzione complessiva degli impatti ambientali dei materiali da costruzione passa attraverso la sostenibilità delle fasi del ciclo di vita, ed in particolare del passaggio tra la fase di fine vita e la fase di produzione dei componenti edilizi (dalla tomba alla culla). In particolare, con riferimento alla fase di fine vita dell'edificio (UNI EN 15978: 2011), i Criteri Ambientali Minimi impongono che i progetti di nuova costruzione, nonché gli interventi di demolizione e ricostruzione, prevedano un piano per il disassemblaggio e la demolizione selettiva dell'opera a fine vita, che permetta il riutilizzo o il riciclo dei materiali, componenti edilizi e degli elementi prefabbricati utilizzati.

Pertanto, seguendo il principio della Lean Construction, lo studio elabora un modello volto ad ottenere il massimo risultato in termini di riutilizzo dei componenti (con la conseguente riduzione dell'estrazione di materie prime nel successivo ciclo di vita), e con il minor dispendio di risorse o emissioni di CO₂eq, in fase di smontaggio e demolizione selettiva. A tal proposito è stato definito un modello integrato di valutazione del livello di disassemblaggio, implementando il metodo proposto dalla UNI 11277:2008.

Il modello è stato applicato a due edifici con struttura in acciaio e unità tecnologiche prevalentemente in acciaio. I risultati hanno mostrato che il massimo livello di smontaggio è raggiungibile attraverso la progettazione di sistemi costruttivi e unità tecnologiche prevalentemente "a secco", che prevedono l'assemblaggio di componenti senza l'utilizzo di leganti, resine, collanti. È opportuno, quindi, che i collegamenti tra i componenti edilizi siano quelli bullonati in quanto maggiormente reversibili. Questo sistema di connessioni, infatti, facilita le operazioni di smontaggio e permette di ottenere una notevole riduzione delle emissioni, grazie al minor tempo di utilizzo dei macchinari e delle attrezzature necessarie.

For the purposes of the total decarbonization expected by 2050, the built environment is a strategic domain for the R&I (Research and Innovation) agenda. The building and construction sector represents, in fact, among the largest contributors to GHG emissions, with 39% of global emissions as of 2018, data that highlight the need to implement a substantial decarbonization process in this sector. The overall reduction of the environmental impacts of building materials passes through the sustainability of the life cycle phases, and in particular of the transition between the end-of-life phase and the production phase of building components (from grave to cradle). In particular, with reference to the end-of-life phase of the building (UNI EN 15978: 2011), the Minimum Environmental Criteria require that new construction projects, as well as demolition and reconstruction work, include a plan for the disassembly and selective demolition of the work at the end of its life that allows the reuse or recycling of materials, building components and prefabricated elements used.

Therefore, following the principle of Lean Construction, the study elaborates a model aimed at obtaining the maximum result in terms of reuse of components (with the consequent reduction of extraction of raw materials in the next life cycle), and with the lowest expenditure

*Corresponding author. Email: gdiruocco@unisa.it

of resources or CO2eq emissions, in the phase of disassembly and selective demolition. In this regard, it was defined an integrated model of evaluation of the level of disassembly, implementing the method proposed by UNI 11277:2008.

The model has been applied to two buildings with steel structure and technological units mainly in steel. The results have shown that the highest level of disassembly is achievable through the design of building systems and technological units mainly “dry”, which provide for the assembly of components without the use of binders, resins, adhesives. It is appropriate, therefore, that the connections between the building components are those bolted as more reversible. This system of connections, in fact, facilitates the disassembly operations and allows to obtain a considerable reduction of emissions, thanks to the shorter time of use of machinery and necessary equipment.

INTRODUZIONE

Il Green Deal Europeo, parte integrante della strategia della Commissione europea per attuare l'Agenda 2030 e gli obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite [1], mira a trasformare l'UE in una società giusta e prospera, dotata di un'economia moderna, efficiente sotto il profilo delle risorse, che nel 2050 non genererà emissioni nette di gas a effetto serra e in cui la crescita economica sarà dissociata dall'uso delle risorse [2]. Per il conseguimento della neutralità climatica entro il 2050 il Green Deal Europeo promuove l'estensione dell'economia circolare agli operatori economici tradizionali, con interventi mirati per i settori ad alta intensità di risorse, come quello dell'edilizia e delle costruzioni. Le azioni proposte dal Green Deal Europeo sostengono l'economia circolare in ogni fase della catena del valore: produzione, consumo, riparazione e rigenerazione, gestione dei rifiuti e re-immissione nell'economia delle materie prime secondarie [3].

Nell'ottica di una massimizzazione del potenziale di riutilizzo di componenti edilizi, con conseguente reintroduzione dei materiali nel ciclo produttivo, la fase di fine vita del ciclo di vita di un organismo edilizio gioca un ruolo fondamentale. I confini della fase di fine vita sono forniti dalla norma UNI EN 15978:2011 [4], la quale propone una schematizzazione, in moduli, delle fasi del ciclo di vita di un edificio o di un prodotto da costruzione, per la presentazione e la comunicazione di dati ambientali e risultati ottenuti. La fase di fine vita di un edificio o di un prodotto da costruzione è caratterizzata dalla Fase C, *End of life stage* (figura 1). Quest'ultima fa riferimento all'energia utilizzata e all'impatto ambientale, in termini di emissioni di gas a effetto serra, generata da tutte le attività di demolizione, decostruzione, smontaggio di un edificio o di un prodotto da costruzione (C1, *Deconstruction – Demolition*), dal trasporto dei rifiuti da demolizione dal cantiere ad un apposito sito di stoccaggio o di smaltimento (C2, *Transport*), da attività di smistamento, raccolta e trattamento dei rifiuti da demolizione (C3, *Waste processing*) e dall'eventuale smaltimento dei rifiuti da demolizione in un apposito sito di smaltimento (C4, *Disposal*).La riduzione complessiva degli impatti ambientali dei materiali da costruzione necessita di un approccio circolare al ciclo di vita, passando attraverso la reintroduzione dei materiali nel ciclo produttivo, mediante l'attuazione di strategie di riutilizzo nella fase di fine vita dell'organismo edilizio. La Fase D, *Benefits and loads beyond system boundary* (figura 1), riguarda gli eventuali benefici ed impatti derivanti dal riutilizzo o riciclaggio dei materiali di risulta (materie prime secondarie) [4,5].

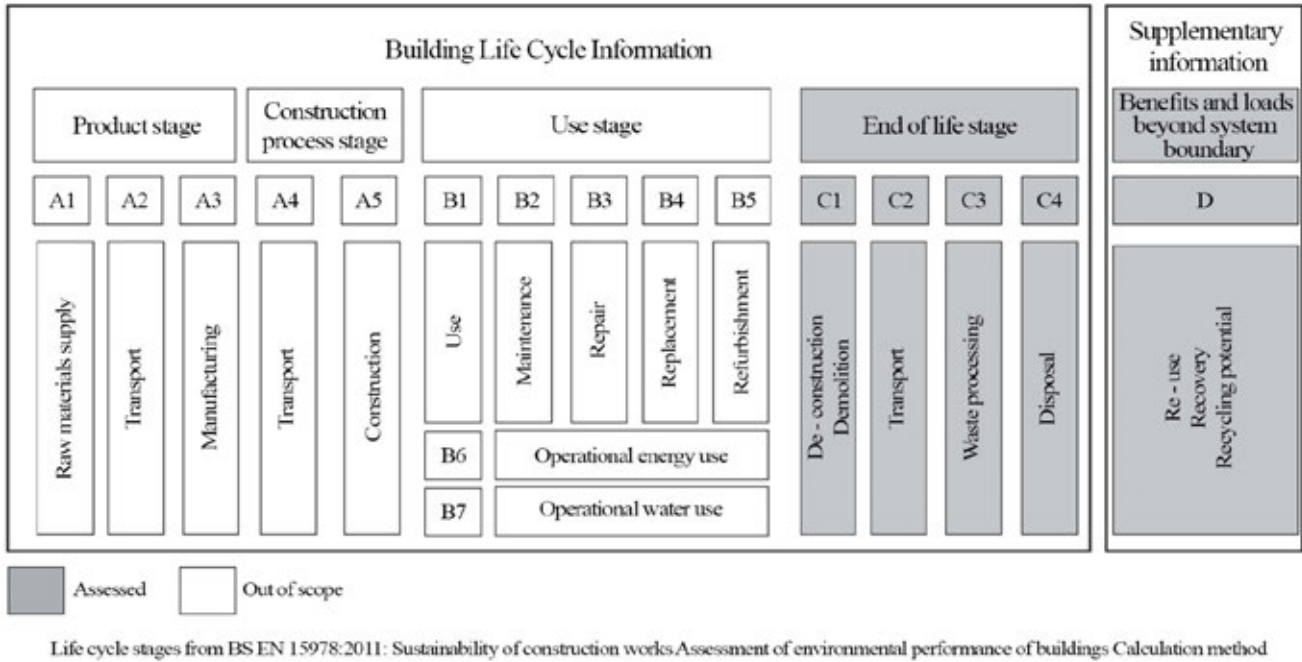


Fig. 1 | Fasi del ciclo di vita dalla UNI EN 15978:2011 Sostenibilità dei lavori di costruzione. Valutazione delle prestazioni ambientali degli edifici. Metodo di calcolo

La massimizzazione del potenziale di riutilizzo di componenti edilizi richiede scelte progettuali, a monte, che indirizzino il processo verso una dinamica virtuosa: una vera e propria progettazione reversibile, tendente alla realizzazione di organismi edilizi facilmente disassemblabili, mediante la elaborazione, come indicato agli artt. 2.3.7 e 2.4.1.1 del decreto CAM (Decreto dell'11 ottobre 2017 - Criteri ambientali minimi per l'edilizia) [6], con riferimento, rispettivamente, al piano per il disassemblaggio e la demolizione selettiva nella fase di fine vita dell'edificio, e alla percentuale di disassemblabilità (in peso) dei componenti edilizi a fine vita. L'obiettivo di tale studio, pertanto, consiste nello sviluppo di una metodologia che avesse una duplice finalità:

-da un lato, ottimizzare il riutilizzo dei componenti edilizi nella fase di fine vita, ottenendo così i massimi benefici oltre il sistema (moduli C e D della tabella di cui alla norma UNI EN 15978:2011 [4];

-dall'altro, far sì che tale transizione, dalla dismissione al riutilizzo dei componenti edilizi, comporti ridotte emissioni di CO₂e (cosiddetti gas serra o GHG) in atmosfera, minimizzando i costi ambientali.

STATO DELL'ARTE

La strategia di riduzione dell'energia operativa del patrimonio immobiliare, alla luce dei risultati ottenuti, non è più sufficiente ad innescare un'inversione di tendenza delle emissioni di GHG del settore delle costruzioni [7]. L'approccio attuale si concentra, pertanto, su metodologie volte alla riduzione degli impatti ambientali legati all'intero ciclo di vita dell'organismo edilizio, con particolare riferimento alla riduzione dell'energia incorporata e carbonio incorporato. In tale ambito, numerose ricerche scientifiche mirano alla individuazione di tecnologie e sistemi costruttivi con minor EE (*embodied energy*) e EC (*embodied carbon*) evidenziando rilevanti vantaggi ottenibili dall'utilizzo di sistemi tecnologici prevalentemente "a secco" (in acciaio o in legno) rispetto ai tradizionali sistemi tecnologici prevalentemente "a umido" (muratura, calcestruzzo), in termini di riduzione dei valori di EE e EC.

Tali risultati sono conseguenti alla maggiore predisposizione dei sistemi tecnologici a secco, che possiamo distinguere in "leggeri" (acciaio, legno) o "massivi" (calcestruzzo prefabbricato), ad operazioni di disassemblaggio a fine vita dell'edificio, la quale comporta elevate percentuali di riutilizzabilità e riciclabilità dei componenti. L'opportunità di reimmettere componenti edilizi all'interno del ciclo produttivo, con conseguente ulteriore riduzione di energia incorporata e carbonio incorporato, rende però i sistemi tecnologici a secco "leggeri" preferibili rispetto ai sistemi tecnologici a secco "massivi". Quest'ultimi consentono una reimmissione all'interno del ciclo produttivo solo attraverso attività di riciclaggio, con conseguenti ulteriori consumi di energia. I componenti edilizi dei sistemi a secco "leggeri", invece, hanno la potenzialità di essere reimmessi all'interno del ciclo produttivo, anche con funzioni diverse da quelle originali, a parità di prestazioni [8].

Con particolare riferimento alle costruzioni metalliche, altre ricerche [9] hanno altresì evidenziato l'impatto ambientale delle attività di ridimensionamento e ricondizionamento durante il riutilizzo di componenti in acciaio per la costruzione di un nuovo edificio. La valutazione è avvenuta attraverso il confronto tra un edificio di riferimento, composto da elementi in acciaio riutilizzati, e lo stesso edificio composto però da elementi in acciaio di nuova produzione. In una prima fase è stata stimata la quantità di carbonio incorporato, attraverso l'utilizzo dell'Inventory of Carbon and Energy, per entrambi gli edifici. Per l'edificio di riferimento composto da elementi riutilizzati si è tenuto conto dell'energia richiesta durante la decostruzione selettiva, delle emissioni dovute al trasporto e delle emissioni dovute alle attività di ridimensionamento e ricondizionamento dei componenti da riutilizzare. Studi più recenti hanno sviluppato strategie per il superamento del limite precedentemente analizzato, adottando un approccio prevalentemente progettuale. Una soluzione strategica, utile per più cicli di vita, è rappresentata dal perfezionamento della progettazione delle operazioni di montaggio e smontaggio, la quale consente di ottimizzare i tempi di montaggio e smontaggio e di ottimizzare la quantità di materiali riutilizzabili in futuro. Alcuni studi [10], ad esempio, hanno sviluppato un metodo per analizzare l'interdipendenza tra gli elementi di un organismo edilizio, al fine di definire quali elementi saranno recuperati e quali invece andranno persi in seguito ad un processo di smontaggio, a fine vita.

Dall'analisi della letteratura sono emerse evidenti difficoltà nella valutazione dei benefici arrecati da attività di riutilizzo di materiali provenienti da opere di ristrutturazione, recupero o demolizione, per la costruzione di nuovi edifici. Tali difficoltà sono rappresentate dall'incertezza nel quantificare sia le emissioni generate dalle attività di smontaggio sia le emissioni generate da attività di ridimensionamento e ricondizionamento dei materiali da riutilizzare. Inoltre, i metodi e gli strumenti finora sviluppati hanno esclusivamente un'impronta teorica, vi è quindi una mancanza di applicazioni a casi studio ed una quasi completa mancata attenzione rivolta verso sistemi costruttivi virtuosi (strutture in acciaio).

STRUMENTI E METODOLOGIA

La metodologia proposta si articola nelle fasi illustrate in figura 2.

1^ FASE	1_CARATTERIZZAZIONE TECNOLOGICA DELL'OPERA	
	1.1 Unità tecnologiche ed elementi tecnici	
	1.2 Tipologia di sistema costruttivo e sequenza di materiali prevalenti	
	1.3 Tipologia di connessioni e relativi materiali	
2^ FASE	2_STIMA DELLE EMISSIONI DI CO2EQ	
	2.1 aliquota di emissioni di CO2eq,1 prodotte dall'attività di demolizione	
		2.1.1 Determinazione del tipo di lavorazione necessaria per il disassemblaggio/demolizione selettiva
		2.1.2 Determinazione tempi di funzionamento di strumenti, macchinari, apparecchi di sollevamento
		2.1.3 Stima delle emissioni di CO2eq
	2.2 aliquota di emissioni di CO2eq,2 prodotte dallo sfrido conseguente alle operazioni di demolizione	
		2.2.1 Determinazione della percentuale di materiale danneggiato (sfrido)
		2.2.2 Modellazione dell'indice di riutilizzabilità
		2.2.3 Stima delle emissioni di CO2eq
	2.3 aliquota di emissioni di CO2eq,3 prodotte dal trasporto fuori dal sito	
		2.3.1 Classificazione dei rifiuti da demolizione in 3 macro-categorie
		2.3.2 Assegnazione di possibili destinazioni future e possibili itinerari in uscita dal sito
		2.3.3 Definizione tipologia mezzi di trasporto, modalità di trasporto e numero di viaggi
		2.3.4 Stima delle emissioni di CO2eq
	2.4 aliquota di emissioni di CO2eq,4 prodotte dalle attività di trasformazione per il successivo riutilizzo	
		2.4.1 Classificazione attività di trasformazione in 2 macro-categorie
		2.4.2 Determinazione attività di trasformazione e relative attrezzature
		2.4.3 Definizione tipologia di elementi da sottoporre alle attività e relativo numero di operazioni
		2.4.4 Stima delle emissioni di CO2eq
3^ FASE	3_STIMA GENERI E QUANTITÀ DI RIFIUTI: VERIFICA DEI PARAMETRI NORMATIVI (CAM)	
4^ FASE	4_VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI DISASSEMBLABILITÀ	
	4.1 Metodo UNI 11277	
	4.2 Metodo sperimentale integrato	
		4.2.1 Integrazione del metodo UNI con ulteriori 3 parametri per la copertura delle fasi successive alla demolizione
		4.2.2 Determinazione dei sotto-parametri relativi alle potenzialità di recupero
		4.2.3 Attribuzione pesi
		4.2.4 Integrazione del metodo UNI circa le informazioni delle emissioni nelle varie fasi

Fig. 2 | Articolazione della metodologia

Fase 1) Caratterizzazione tecnologica dell’opera

Unità tecnologiche ed elementi tecnici

In un primo step, con riferimento alla norma UNI 8290-1 [11], sono state individuate le unità tecnologiche rilevanti, ai fini dello studio. Sono state pertanto escluse le unità impiantistiche, degli arredi e allestimenti esterni, considerati elementi invarianti. In un secondo step, per ciascun elemento tecnico, sono state definite:

la tipologia di sistema costruttivo maggiormente adottata per la realizzazione di un elemento appartenente ad un sistema costruttivo in acciaio; la sequenza dei materiali prevalenti che compongono l’elemento tecnico. Quest’ultime rappresentano informazioni essenziali per la successiva definizione dei tipi di lavorazione necessarie per il disassemblaggio e la demolizione selettiva. In un terzo step, attraverso la norma UNI 11277:2008 [12], la quale associa a ciascun sistema costruttivo una tecnologia di posa in opera, per ciascun materiale prevalente è stata definita la tecnologia di posa in opera.

Fase 2) Stima delle emissioni di CO_{2-eq}

In una terza fase sono state stimate le emissioni di CO_{2-eq} generate da un processo di disassemblaggio e demolizione selettiva. Le emissioni di CO_{2-eq} sono ottenute dalla somma di quattro aliquote:

- CO_{2-eq, 1}, aliquota di emissioni prodotte dall’attività di demolizione;
- CO_{2-eq, 2}, aliquota di emissioni prodotte dallo sfrido conseguente alle operazioni di demolizione;
- CO_{2-eq, 3}, aliquota di emissioni prodotte dal trasporto fuori dal sito;
- CO_{2-eq, 4}, aliquota di emissioni prodotte dall’attività di trasformazione per successivo riutilizzo.

$$\sum CO_{2-eq} = CO_{2-eq, 1} + CO_{2-eq, 2} + CO_{2-eq, 3} + CO_{2-eq, 4}$$

- CO_{2-eq, 1}, aliquota di emissioni prodotte dall’attività di demolizione

In un primo step l’attività di demolizione è stata suddivisa in due operazioni: rimozione delle connessioni e trasporto al suolo e caricamento su un autocarro, al fine di associare a ciascun materiale prevalente uno strumento e/o un macchinario utilizzato per la rimozione delle connessioni, in funzione della tipologia di connessione, ed una modalità di trasporto al suolo e di caricamento su autocarro, in funzione delle caratteristiche dimensionali del materiale (peso, lunghezza). L’assegnazione di strumenti e macchinari a ciascuna tipologia di connessione è avvenuta attraverso il protocollo [13], mentre la consultazione di schede tecniche di case produttrici di tecnologie all’avanguardia a supporto dei professionisti del mondo dell’edilizia ha consentito l’individuazione, per ciascun strumento e macchinario, del modello che più si adatta alla tipologia di connessione (figura 3).

Tipologia di connessione	Strumento / macchinario	Modello
Incastri a scatto	Smontaggio manuale	/
Bullonatura (bulloni M5-M12)	Avvitatore ad impulsi	HILTI SIW 22-A
Bullonatura (bulloni M8-M16 ad alta resistenza; M12-M27)	Avvitatore ad impulsi	HILTI SIW 22T-A 3/4
Avvitatore (viti per fissaggio, autoperforanti, autofiletanti) -Rivettature	Trapano avvitatore	HILTI ST1800-A22
Chiodature	Estrattore di chiodi, tenaglia	/
Adesivi a fusione, a reazione chimica, ad evaporazione	Smontaggio manuale, tirachiodi	/
Saldature autogene ed eterogene	Taglio al plasma manuale	CUTMASTER 120
Leganti idraulici e aerei (solai di grandi dimensioni)	Escavatore munito di martello demolitore	TAKEUCHI [il modello dipende dall’entità dell’intervento] - martello demolitore BOBCAT
Leganti idraulici e aerei (solai di piccole dimensioni)	Martello demolitore	HILTI TE 3000-AVR
Leganti idraulici e aerei (pareti in cls o in laterizi)	Martello demolitore	HILTI TE 700-AVR SDS MAX

Fig. 3 | Strumenti e macchinari utilizzati per la rimozione delle connessioni

Per la rimozione di connessioni situate in quota rispetto al piano di lavoro, a supporto di strumenti e macchinari è previsto l'utilizzo di apparecchi di sollevamento (figura 4).

Tipologia di lavoro (estensione max)	Piattaforma aerea	Modello
Lavori all'interno Estensione max=5,90 m	Piattaforma verticale	GENIE GS 1330M E-Drive
Lavori all'esterno Estensione max in verticale = 20,00 m Estensione max in orizzontale = 11,15 m	Piattaforma semovente a braccio articolato	GENIE Z-60/37 DC
Lavori all'esterno Estensione max in verticale= 43,15 m Estensione max in orizzontale= 21,26 m	Piattaforma semovente a braccio articolato	GENIE ZX-135/70 DC

Fig. 4 | Piattaforme aeree utilizzate per la rimozione delle connessioni in quota

Per la definizione delle modalità di trasporto al suolo e di caricamento su un autocarro, di un materiale o un gruppo di materiali, sono stati definiti degli intervalli di peso e di lunghezza. Inoltre, attraverso la consultazione di schede tecniche di case produttrici di apparecchiature di sollevamento, per ciascun intervallo di peso è stato definito il modello dell'apparecchiatura utilizzata (figura 5).

	Intervallo di peso P (kg) e di lunghezza L (m)	Modalità di trasporto al suolo e di caricamento su autocarro	Modello delle apparecchiature di sollevamento
< 25 kg, piano terra	P < 25 kg L < 1,50 m	Trasporto al suolo manuale	/
		Caricamento su autocarro o autoarticolato, di un gruppo di elementi con peso <2000kg, adagiati in una cesta in metallo agganciata ad un sollevatore telescopico	JCB 535-95
	P < 25 kg L > 1,50 m	Trasporto al suolo manuale	
		Caricamento su autocarro o autoarticolato, di un gruppo di elementi con peso <3500 kg, agganciati ad un sollevatore telescopico	JCB 535-95
< 25 kg, piani superiori al piano terra	P < 25 kg L < 1,50 m	Trasporto al suolo, di un gruppo di elementi con peso <2000 kg, adagiati in una cesta in metallo agganciata ad un'autogrù telescopica o ad una gru a torre	TEREX [il modello dipende dall'entità dell'intervento]
		Caricamento su autocarro o autoarticolato, di un gruppo di elementi con peso <2000 kg, adagiati in una cesta in metallo agganciata ad un sollevatore telescopico	JCB 535-95
	P < 25 kg L > 1,50 m	Trasporto al suolo, di un gruppo di elementi, agganciati ad un'autogrù telescopica o una gru a torre	TEREX [il modello dipende dall'entità dell'intervento]
		Caricamento su autocarro o autoarticolato, di un gruppo di elementi con peso <3500 kg, agganciati ad un sollevatore telescopico	JCB 535-95
> 25 kg	> 25 kg P < 3500 kg	Trasporto al suolo, di un singolo elemento o di un gruppo di elementi, agganciati ad autogrù telescopica o una gru a torre	TEREX [il modello dipende dall'entità dell'intervento]
		Caricamento su autocarro o autoarticolato, di un singolo elemento o di un gruppo di elementi, agganciati ad un sollevatore telescopico	JCB 535-95
	P > 3500 kg	Trasporto al suolo, di un singolo elemento, agganciato ad un'autogrù telescopica o una gru a torre	TEREX [il modello dipende dall'entità dell'intervento]
		Caricamento su autocarro o autoarticolato, di un singolo elemento o di un gruppo di elementi, agganciato ad un'autogrù telescopica o una gru a torre	JCB 535-95

Fig. 5 | Modalità di trasporto e di caricamento su autocarro e/o su autoarticolato

In un secondo step (figura 6) al fine di stimare le emissioni generate dall'utilizzo di strumenti, macchinari e apparecchi di sollevamento, ne sono stati determinati i tempi di funzionamento.

Strumento / Connessione	Fonte	Secondi necessari per la rimozione della singola connessione, in secondi (s) – ore (h)
Smontaggio manuale / Sistemi ad incastri a scatto o sovrapposizione	Dati di letteratura	$s < 10$
Avvitatore ad impulsi / Bullone	Dati desunti da casi reali di cantiere	$s = 3$
Chiave inglese / Bullone	Dati desunti da casi reali di cantiere	$s = 6$
Trapano avvitatore / Vite	Dati desunti da casi reali di cantiere	$s = 1,2$
Estrattore di chiodi, tirachiodi / Chiodo, rivetto	Dati di letteratura	$10 < s < 40$
Levachiodi / Adesivo	Dati di letteratura	$s > 60$
Taglio al plasma manuale / Saldatura (taglio dell'estremità di una trave)	Scheda tecnica	IPE, HEA: 60 s/30 cm UNP, HEB, HEM: 60 s/25 cm
Escavatore / Demolizione di 1m ³ di cls	Scheda tecnica	Dipende dal martello demolitore installato sul mini escavatore - Range: 0,80/1,50 m ³ /h (min) 7,60/15,30 m ³ /h (max)
Martello demolitore / Demolizione di 1m ³ di cls	Dati di letteratura	(armato) 6,2 h/m ³ (non armato) 4,1 h/m ³
Martello demolitore / Demolizione di 1m ³ di pareti in laterizio, cemento	Dati di letteratura	(laterizi) 1,80 h/m ³ (cemento) 3,90 h/m ³

Fig. 6 | Tempo necessario per la rimozione di una singola connessione

a) Tempo necessario per la rimozione delle connessioni

È stato determinato attraverso: dati raccolti in letteratura, la visione di filmati corrispondenti a casi reali, schede tecniche di strumenti e macchinari utilizzati.

b) Tempo necessario per il trasporto al suolo ed il caricamento su autocarro o su autoarticolato

In un primo momento, attraverso le modalità di trasporto, i materiali sono stati classificati in sette categorie:

- elementi delle chiusure (superiori, orizzontali, inferiori) e delle partizioni (orizzontali, verticali, interne ed esterne), con peso < 25 kg e dimensioni < 1,50 m, adagiati in ceste in metallo;
- elementi delle chiusure (superiori, orizzontali, inferiori) e delle partizioni (orizzontali, verticali, interne ed esterne), con dimensioni > 1,50 m;
- elementi delle chiusure verticali e infissi esterni verticali, con peso < 25 kg;
- elementi delle chiusure verticali e infissi esterni verticali, con peso > 25 kg;
- elementi della struttura di elevazione orizzontale, assemblati “a secco” con tecnica “a serraggio”;
- elementi della struttura di elevazione orizzontale, “saldati”;
- elementi della struttura di elevazione verticale.

Infine, per ciascuna categoria, attraverso la visione di filmati corrispondenti a casi reali, è stato determinato il tempo (in secondi) complessivo necessario per il trasporto al suolo ed il caricamento su autocarro o su autoarticolato, quest'ultimi suddivisi in quattro classi:

- T0, tempo necessario per il collegamento tra il singolo elemento o il gruppo di elementi ed il gancio dell'apparecchio di sollevamento;
- T1, tempo necessario per il trasporto del singolo elemento o del gruppo di elementi dalla collocazione in opera alla posizione utile per il tiro in alto;
- T2, tempo necessario per il trasporto del singolo elemento o del gruppo di elementi dalla posizione utile per il tiro in alto ad un sito di stoccaggio temporaneo in cantiere;
- T3, tempo necessario per il caricamento del singolo elemento o del gruppo di elementi su un autocarro o su un autoarticolato.

A questo punto, noti i tempi di funzionamento di strumenti, macchinari e apparecchi di sollevamento utilizzati, in un terzo step è possibile stimare l'aliquota di emissioni di CO_{2-eq,1} secondo l'equazione che segue:

CO_{2eq,1}

=

CO_{2eq,1} emissions produced by tools
and machinery used to remove
connections

(a)

+

CO_{2eq,1} emissions produced by
machinery used for ground
transport and truck loading

(b)

a) Emissioni di CO _{2-eq,1} generate da strumenti e macchinari utilizzati per la rimozione delle connessioni									
Strumento o macchinario	=	Tempo di funzionamento (secondi)	x	Totale n. di connessioni rimosse	x	Potenza/ consumo dello strumento o macchinario	x	Fattore di emissione	= Emissioni di CO2eq
Avvitatore ad impulsi		s		n		0,114 kWh		0,28 kg CO _{2-eq} /kWh	kg CO _{2-eq}
Trapano avvitatore		s		n		0,066 kWh		0,28 kg CO _{2-eq} /kWh	kg CO _{2-eq}
Taglio al plasma manuale		s		n		15,4 kW		0,28 kg CO _{2-eq} /kWh	kg CO _{2-eq}
Piattaforma verticale		s		n		2,04 kWh		0,28 kg CO _{2-eq} /kWh	kg CO _{2-eq}
Escavatore		h/m ³		m ³		Dipende dall'entità dell'intervento		3,17 kg CO _{2-eq} /l	kg CO _{2-eq}
Martello demolitore		h/m ³		m ³		2,07 kW (cls) 1,3 kW (laterizi)		0,28 kg CO _{2-eq} /kWh	kg CO _{2-eq}

Fig. 7 Emissioni di CO2eq,1 generate da strumenti e macchinari utilizzati per la rimozione delle connessioni

b) Emissioni di CO2-eq,1 generate da macchinari utilizzati per il trasporto al suolo ed il caricamento su autocarro o su autoarticolato di singoli elementi o gruppi di elementi									
macchinario	=	Tempo di funzionamento (secondi)	x	Totale n. di viaggi	x	Potenza/consumo del macchinario	x	Fattore di emissione	= Emissioni di CO2-eq
Autogru telescopica		s		n		Dipende dall'entità dell'intervento		3,17 kg CO2-eq/l	kg CO _{2-eq}
Sollevatore telescopico		s		n		5,1 l/h		3,17 kg CO2-eq/l	kg CO _{2-eq}
Piattaforma semovente		s		n		18,72 kWh		0,28 kg CO _{2-eq} /kWh	kg CO _{2-eq}

Fig. 8 | Emissioni di CO2-eq,1 generate da macchinari utilizzati per il trasporto al suolo ed il caricamento su autocarro

*Fattore di emissione: 0,28 kg CO_{2-eq}/kWh – Fonte: fattore di emissione per la produzione ed il consumo di energia elettrica in Italia, ISPRA

*Fattore di emissione: 3,17 kg CO_{2-eq}/l – Fonte: fattore di emissione per la produzione ed il consumo di Diesel per veicoli non stradali

- CO_{2-eq,2}, aliquota di emissioni prodotte dallo sfrido conseguente alle operazioni di demolizione

Le attività di demolizione possono generare uno sfrido, ovvero una percentuale di materiale che non si può recuperare dopo la rimozione, perché danneggiato. L'aliquota di emissioni di CO_{2-eq,2} corrisponde quindi alle emissioni incorporate nella percentuale di materiale che non si può recuperare dopo la rimozione, perché danneggiato.

In un primo step è stata determinata la percentuale di materiale che non si può recuperare dopo la rimozione. Il progetto PROGRESS [16], finanziato dall'UE, insieme alla ricerca [17], ha sviluppato un Indice di riutilizzabilità, in grado di determinare la percentuale di componenti riutilizzabili di edifici con struttura in acciaio ad un piano attraverso la valutazione di una serie di parametri corrispondenti ad una serie di operazioni svolte durante l'attività di demolizione.

La percentuale di materiale che non si può recuperare dopo la rimozione, la quale passa attraverso la determinazione dell'indice di riutilizzabilità, è ottenuta dalla seguente relazione:

% di materiale non recuperabile, dopo la rimozione, perché danneggiato (sfrido)

=

100%

-

% di materiale riutilizzabile, desunto dall'indice di riutilizzabilità (IR)

In un secondo step (figura 9) l'Indice di riutilizzabilità sviluppato dal progetto PROGRESS [16] e dalla ricerca [17] è stato modellato nel rispetto dell'ambito di indagine della metodologia proposta. L'indice di riutilizzabilità è caratterizzato da:

- indicatori (i); attività di demolizione che potenzialmente potrebbero danneggiare il materiale;
- pesi (P); sono assegnati a ciascun parametro in funzione dell'influenza e dell'importanza rivestita dal parametro all'interno dell'attività di recupero;
- sotto - indicatori (s); corrispondono a caratteristiche del materiale, rappresentative del grado di predisposizione al danneggiamento, o ad una diversificazione delle attività di demolizione;
- potenzialità di recupero (%); corrispondono a percentuali assegnate a ciascun sotto - indicatore in funzione del grado di danneggiamento arrecato al materiale.

	Potenzialità di recupero (incidenza percentuale)				
indicatori	0-20%	21-40%	41-60%	61-80%	81-100%
Danno da smontaggio (P1=0,50)	Sistema "a umido" (leganti)	Sistema "saldato" (saldature autogene ed eterogene)	Sistema assemblato "a secco" con tecnica a "serraggio" (chiodature, rivettature)	Sistema assemblato "a secco" con tecnica a "serraggio" (bullonature e avvitature difficilmente accessibili)	Sistema assemblato "a secco" con tecnica a "serraggio" (bullonature, semplice sovrapposizione, incastro)
	Sistema "adesivo" (adesivi a fusione, a reazione chimica, ad evaporazione)				
Danno da movimentazione (P2=0,25)	Elementi fragili	Autogru telescopica (lunghezza degli elementi > 12m)	Autogru telescopica (lunghezza degli elementi < 12m)	Dispositivi di sollevamento (sollevatore telescopico e cesta in metallo)	Manuale
Modifica in officina (P3=0,25)	Rigenerazione completa o non riutilizzabilità	Rimozione di parti saldate (piastre, piastre terminali, connettori a taglio) e/o rimozione delle imperfezioni generate dal procedimento di taglio al plasma	Rimozioni di parti forate provocate da unioni bullonate, avvitate, ed eventuale aggiunta di nuovi fori	Rimozione di imperfezioni superficiali, di parti danneggiate durante lo smontaggio e/o il trasporto	Pulitura e rifacimento del sistema di protezione alla corrosione

Fig. 9 | Relazione per ottenere l'indice di riutilizzabilità

$$RI = \sum \text{Recovery potential}_{(\text{Indicator})} \times \text{Weights}_{(\text{Indicator})}$$

In un terzo step, nota la percentuale di materiale che non si può recuperare dopo la rimozione, perché danneggiato, è possibile stimare l'aliquota di emissioni di $\text{CO}_{2\text{-eq},2}$, secondo l'equazione che segue:

$$\text{CO}_{2\text{eq},2} = \text{Peso del materiale prevalente (kg)} \times \left[100\% - \frac{\text{Indice di Riutilizzabilità (\%)}}{100} \right] \times \frac{\text{Carbonio incorporato (EC) del materiale prevalente (kg)}}{\text{CO}_{2\text{eq}}/\text{kg}}$$

- $\text{CO}_{2\text{-eq},3}$, aliquota di emissioni prodotte dal trasporto fuori dal sito

La fase successiva all'attività di demolizione prevede il trasporto dei materiali di risulta in apposite aree di stoccaggio, in centri di riciclaggio o di smaltimento dei rifiuti. In un primo step i residui da demolizione sono stati classificati in tre macro - categorie, al fine di definirne la tracciabilità:

- elementi della struttura di elevazione e delle partizioni inclinate: pilastri, travi principali e secondarie, controventi, etc;
- rifiuti da demolizione “non pericolosi”: tutti i materiali non rientranti nella prima categoria e non contrassegnati da un asterisco (*) all'interno dell'elenco europeo dei rifiuti, CER [18];
- rifiuti da demolizione “pericolosi” o “contaminati”; vi appartengono tutti i materiali non rientranti nella prima categoria, contrassegnati da un asterisco (*) all'interno dell'elenco europeo dei rifiuti [18], o materiali entrati a contatto con materiali “pericolosi” o sostanze contaminanti. In un secondo step a ciascuna macro - categoria, in funzione del tipo di materiale e dei possibili trattamenti richiesti prima della reimmissione nel ciclo produttivo, sono state assegnate possibili destinazioni future e possibili tappe percorse dai mezzi di trasporto. Gli elementi metallici della struttura di elevazione, nel caso di future attività di riutilizzo, prima di essere reimmessi in commercio necessitano di attività di pre - lavorazione (taglio, foratura, sabbiatura, zincatura, verniciatura). Gli impianti in grado di fornire tali attività sono i centri di trasformazione, conformi alla UNI EN ISO 9001:2015, ovvero impianti esterni alla fabbrica o al cantiere, che ricevono dal produttore di acciaio elementi base e confezionano elementi direttamente impiegabili in cantiere. Un mezzo di trasporto in uscita dal cantiere di demolizione ha quindi come prima destinazione un centro di trasformazione (a). Dall'osservazione di 20 centri, situati sul territorio campano e lombardo, individuati attraverso la piattaforma Sicurnet.2 [19], è però emersa l'incapacità da parte di un centro di trasformazione di fornire attività di sabbiatura e zincatura (18 centri su 20 non sono dotati di impianti di zincatura). Per tale motivo, un mezzo di trasporto in uscita da un centro di trasformazione ha come seconda destinazione un impianto di zincatura (b). Completato il rifacimento del sistema di protezione alla corrosione, gli elementi metallici ritornano al centro di trasformazione (b) al fine di essere stoccati per un nuovo progetto di costruzione (c). Nel caso di rifiuti da demolizione non pericolosi un mezzo di trasporto in uscita dal cantiere di demolizione, nel caso di future attività di riciclaggio, ha come unica destinazione un centro di riciclaggio. Nel caso di future attività di riutilizzo, invece, un mezzo di trasporto in uscita dal cantiere di demolizione ha come unica destinazione centri gestiti da rivenditori di materiali da costruzione provenienti da attività di demolizione. Quest'ultimi, oltre a fornire aree per lo stoccaggio, forniscono attività di pulizia e consulenze specializzate. Una panoramica di rivenditori professionisti che vendono materiali da costruzione provenienti da vecchi edifici smantellati, è offerta da piattaforme digitali. Nel caso di attività smaltimento dei rifiuti un mezzo di trasporto in uscita dal cantiere di demolizione ha come unica destinazione un centro di smaltimento dei rifiuti. In un terzo step, per ciascuna macro - categoria è stato definito il numero di viaggi dal cantiere di demolizione alla futura destinazione. Per il trasporto dei componenti, il numero di viaggi è influenzato dalle modalità di trasporto adottate e dalla tipologia di mezzo di trasporto utilizzato. La tipologia di mezzo di trasporto scelta, generalmente utilizzata per il trasporto di elementi metallici, è l'autoarticolato. Nota la capacità del mezzo di trasporto (lunghezza, volume e portata massima trasportabile), attraverso linee guida per la consegna e lo scarico di prodotti in acciaio [20, 21], è stata definita la modalità di trasporto. Quest'ultima prevede la redazione di un inventario degli elementi in acciaio da trasportare il quale consente la formazione ed il successivo caricamento sull'autoarticolato di gruppi di elementi formati dalla sovrapposizione di più elementi, quest'ultimi caratterizzati dalla stessa serie (es. IPE) e dalle stesse dimensioni. Nota la capacità del mezzo di trasporto ed il peso e il volume occupato dai singoli gruppi di elementi, il numero di viaggi è ottenuto attraverso la determinazione del numero di autoarticolati che, in seguito al caricamento graduale di singoli gruppi di elementi, raggiungono la portata o il volume massimo trasportabile. Per il trasporto di rifiuti da demolizione “non pericolosi”, dal cantiere di demolizione a rivenditori professionisti, le modalità di trasporto adottate e la definizione del numero di viaggi coincidono con quelli definiti per il trasporto degli elementi metallici. Le uniche differenze risiedono nella tipologia di mezzo di trasporto scelta. Per il trasporto di rifiuti da demolizione, il numero di viaggi è influenzato dal volume e dal peso dei rifiuti da demolizione. Il numero di viaggi è ottenuto attraverso la determinazione del numero di autocarri che, in seguito al caricamento di frazioni di materiale, raggiungono la portata o il volume massimo trasportabile. A questo

punto, in un quarto step, nota la tipologia di mezzo di trasporto utilizzato e definito il numero di viaggi dal cantiere di demolizione alla futura destinazione, è possibile stimare l'aliquota di emissioni di CO_{2-eq,3} prodotte dal trasporto fuori dal sito, secondo l'equazione che segue:

CO_{2eq, 3}

=

distanza percorsa (km)

x

numero di viaggi (n)

x

Fattore di emissione
(kg CO_{2eq}/km)

- CO_{2-eq, 4}, aliquota di emissioni prodotte da attività di trasformazione per successivo riutilizzo

Gli elementi della struttura di elevazione, prima di essere reimmessi in commercio, necessitano di attività di trasformazione necessarie per il raggiungimento di requisiti progettuali e prestazionali. Gli impianti in grado di fornire tali attività sono i centri di trasformazione, i quali si affidano ad impianti di zincatura per la realizzazione di sistemi di protezione alla corrosione. In un primo step le attività di trasformazione state classificate in due macro – categorie: attività di trasformazione eseguite presso un centro di trasformazione; attività di trasformazione eseguite presso un impianto di zincatura.

In un secondo step, per ciascuna macro – categoria, sono state determinate le tipologie di attività eseguite e i macchinari utilizzati:

(a) Attività di trasformazione eseguite presso un centro di trasformazione

Le attività di trasformazione eseguite presso un centro di trasformazione ed i macchinari utilizzati, sono stati determinati attraverso l'osservazione dei servizi offerti da centri di trasformazione localizzati sul territorio italiano.

(b) Attività di trasformazione eseguite presso un impianto di zincatura: le attività di trasformazione eseguite presso un impianto di zincatura, sono state determinate attraverso l'osservazione dei servizi offerti da impianti di zincatura localizzati sul territorio italiano. In un terzo step per ciascuna attività di trasformazione è stata definita la tipologia di elementi da sottoporre alle diverse attività; il numero di operazioni da eseguire per un singolo elemento; il tempo necessario per l'esecuzione di una singola operazione e il modello dei macchinari utilizzati. A questo punto, in un quarto step (figura 10), note le attività di trasformazione, il numero di operazioni da eseguire ed i secondi necessari per l'esecuzione di una singola operazione, è possibile stimare l'aliquota di emissioni di CO_{2-eq,4} generata da attività di trasformazione:

CO_{2eq, 4}

=

emissioni di CO_{2eq, 4} generate da
attività di trasformazione presso
officine preposte
(a)

+

emissioni di CO_{2eq, 4} generate da
attività di trasformazione presso
impianti di zincatura
(b)

(a) Emissioni di CO _{2-eq, 4} generate da attività di trasformazione eseguite presso un centro di trasformazione										
Attività di trasformazione	=	Tempo di trattamento (dipendenti dalla velocità di taglio)	x	Dimensioni dell'elemento	x	Potenza dello strumento o del macchinario	x	Fattore di emissione	=	Emissioni di CO2-eq
Taglio con segatrice a nastro		m/s		m		15 kW		0,28 kg CO2- eq/kWh		kg CO2-eq
(b) Emissioni di CO _{2-eq, 4} generate da attività di trasformazione eseguite presso un impianto di zincatura										
Attività di trasformazione	=	Peso dell'elemento	x	Fattore di emissione	=	Emissioni di CO2-eq				
Trattamento di zincatura a caldo		kg		0,259 kg CO2-eq/kg		kg CO2-eq				

Fig. 10 | Emissioni di CO_{2-eq, 4} generate da attività di trasformazione eseguite presso un centro di trasformazione ed Emissioni di CO_{2-eq, 4} generate da attività di trasformazione eseguite presso un impianto di zincatura

*Fattore di emissione: 0,259 kg CO_{2-eq}/kg – Fonte: American Galvanizers Association

Fase 3) Stima generi e quantità di rifiuti (verifica dei parametri CAM)

In una quarta fase vengono stimati generi e quantità di rifiuti prodotti durante l'intero processo di disassemblaggio e demolizione selettiva. La stima dei generi di rifiuti avviene attraverso l'assegnazione, a ciascun materiale, di un codice dell'elenco europeo dei rifiuti [18], attraverso il quale è possibile determinare la natura del materiale. La stima delle quantità di rifiuti avviene attraverso l'assegnazione, a ciascun materiale, di una destinazione futura, in funzione della natura del materiale e della sua predisposizione ad attività di riutilizzo o riciclaggio. Con riferimento alla fase di fine vita di un organismo edilizio, l'obiettivo fissato dall'articolo 2.4.1.1 "Disassemblabilità" dei Criteri ambientali minimi (CAM) [6] impone che almeno il 50% in peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati, escludendo gli impianti, deve essere sottoponibile, a fine vita, a demolizione selettiva ed essere riciclabile o riutilizzabile. Di tale percentuale, almeno il 15% deve essere costituito da materiali non strutturali. Dunque, Il progettista deve fornire l'elenco di tutti i componenti edilizi e dei materiali che possono essere riciclati o riutilizzati, con l'indicazione del relativo peso rispetto al peso totale dei materiali utilizzati per l'edificio.

Fase 4) Valutazione del livello di disassemblabilità

La massimizzazione del potenziale di riutilizzo di componenti edilizi, richiede la predisposizione di un piano per il disassemblaggio e la demolizione selettiva a fine vita (art.2.3.7 CAM). Il potenziale di riutilizzo è quindi strettamente connesso al livello di disassemblabilità, il quale rappresenta la capacità di un organismo edilizio, di componenti edilizi o di materiali da costruzione ad essere smontati e reimmessi nel ciclo produttivo. L'approccio attuale alla valutazione del livello di disassemblabilità (LID) di un'unità tecnologica, di un elemento tecnico o di un materiale è dettato dalla norma UNI 11277:2008 [12].

Metodo UNI

Il metodo proposto dalla norma UNI 11277:2008 prevede, in una prima fase, la determinazione della sequenza dei materiali costituenti un singolo elemento tecnico appartenente ad un'unità tecnologica. In una seconda fase, a ciascun materiale, in funzione della tecnologia di posa in opera, viene assegnato un punteggio da 0 a 5 (figura 11). Noto il punteggio di ciascun materiale, il LID dell'unità tecnologica è pari al punteggio ottenuto dalla maggioranza dei materiali che la compongono.

Tecnologia del sistema costruttivo	Tecnica di assemblaggio	Livello di Disassemblabilità (LID)
Sistema "a umido"	Leganti idraulici e aerei (additivati e non)	0
Sistema "adesivo"	Adesivi a fusione, a reazione chimica, ad evaporazione	0
Sistema "saldato"	Saldature autogene ed eterogene	0
Sistema assemblato "a secco" con tecnica "a serraggio"	Chiodature, bullonature, avviture, rivettature	3
Sistema assemblato "a secco" con tecnica "a incastro"	Incastri a scatto e/o tipo maschio - femmina	3
Sistema assemblato "a secco" con tecnica "ad accostamento"	Semplice sovrapposizione	5

Fig. 11 | Classificazione del livello di disassemblabilità (LID) - UNI 11277:2008

Il metodo proposto dalla norma UNI 11277, assegnando un punteggio che è funzione esclusivamente della tecnologia di posa in opera, fa riferimento unicamente alla possibilità di separazione, in fase di smontaggio, di una serie di materiali appartenenti ad un'unità tecnologica, comportando così una valutazione parziale del livello di disassemblabilità (LID) di un organismo edilizio o di un'unità tecnologica. Il metodo è infatti privo di indicatori o informazioni sulle fasi successive alla fase di smontaggio e che precedono la reimmissione dei materiali all'interno del ciclo produttivo.

Metodo sperimentale integrato

Al fine di definire un metodo capillare per la valutazione del livello di disassemblabilità e superare l'inefficacia e l'approssimazione del metodo UNI, la ricerca, attraverso il metodo sperimentale integrato, propone un'implementazione della classificazione effettuata dalla norma (figura 12).

	1°STEP	2°STEP	3°STEP	4°STEP
METODO SPERIMENTALE INTEGRATO	Integrazione di 3 parametri in grado di coprire le fasi successive alla fase di smontaggio	Definizione sotto - parametri e potenzialità di recupero	Attribuzione pesi	Integrazione di informazioni sulla quantità di CO ₂ eq generata dalla fase di smontaggio

Fig. 12 | Metodo sperimentale integrato. Step implementazione della classificazione UNI 11277:2008

In un primo step il parametro “Tecnologia di posa in opera” è stato integrato con due parametri, in grado di coprire le fasi successive alla fase di smontaggio e che precedono la reimmissione dei materiali all’interno del ciclo produttivo:

– Movimentazione e trasporto, tiene conto della probabilità di danneggiamento del materiale durante il trasporto al suolo ed il caricamento su un autocarro o su un autoarticolato;

– Modifica in officina, tiene conto della perdita di materiale durante le attività di trasformazione per successivo riutilizzo, le quali precedono la reimmissione dei materiali nel ciclo produttivo. In un secondo step, per ciascun parametro, è stata definita una serie di sotto – parametri a ciascuno dei quali è assegnata una potenzialità di recupero, espressa in percentuale, in funzione del grado di danneggiamento arrecato al materiale. I sotto – parametri relativi al parametro “Tecnologie di posa in opera” corrispondono a diverse tecnologie di posa in opera caratterizzate da una diversa predisposizione al danneggiamento durante la rimozione delle connessioni. Le potenzialità di recupero sono assegnate in funzione del grado di reversibilità delle connessioni e della predisposizione allo smontaggio [13, 16, 17, 23, 24].

I sotto-parametri relativi al parametro “Movimentazione e trasporto” corrispondono a diverse modalità di trasporto caratterizzate da una diversa predisposizione al danneggiamento. Le potenzialità di recupero da assegnare a ciascuna modalità di trasporto sono emerse dalle ricerche [13, 16, 17] e sono state modellate nel rispetto dell’ambito di indagine della metodologia proposta.

I sotto-parametri relativi al parametro “Modifica in officina” corrispondono a diverse attività di trasformazione caratterizzate da differenti percentuali di materiale asportato. Le potenzialità di recupero da assegnare a ciascuna attività di trasformazione sono emerse dalle ricerche [13, 16, 17] e sono state modellate nel rispetto dell’ambito di indagine della metodologia proposta. L’assegnazione di una potenzialità di recupero, espressa in percentuale, a sostituzione del punteggio che va da 0 a 5 fornito dal metodo UNI, consente il superamento di una valutazione “qualitativa” del livello di disassemblabilità ed il raggiungimento di una valutazione “quantitativa”. In un terzo step a ciascun parametro sono assegnati dei pesi, in funzione dell’importanza rivestita dal parametro all’interno dell’attività di recupero.

Il punteggio (LID) da assegnare a ciascun materiale, appartenente ad una determinata unità tecnologica, è ottenuto dalla sommatoria dei prodotti tra le potenzialità di recupero, scelte per ciascun parametro in funzione dei sotto – parametri, e i pesi assegnati a ciascun parametro:

$$LID = \sum \text{potenzialità di recupero}_{(\text{parametro i-esimo})} \times \text{peso}_{(\text{parametro i-esimo})}$$

In un quarto step al fine di colmare l’assenza di parametri in grado di valutare l’impatto ambientale della fase di smontaggio di un processo di disassemblaggio e demolizione selettiva, per ciascuna tecnologia di posa in opera è riportata la quantità di CO₂eq generata da strumenti e macchinari utilizzati per la rimozione di una singola connessione.

CASI STUDIO

Per la verifica del modello sono state individuate due opere di architettura contemporanea. La scelta delle opere ha tenuto conto dei seguenti criteri:

- il valore riconosciuto nel panorama architettonico contemporaneo, attraverso la pubblicazione su riviste specializzate del settore;
- organismi edilizi caratterizzati da sistemi tecnologici “a secco” in acciaio.

Il primo caso studio selezionato è il Centro di dermatologia “Avenida Central Building” (figure 13, 15) situato a Morelia, in Messico, realizzato nel 2019 dallo studio di architettura Emilio Alvarez Abouchard Arquitectura.

La struttura portante è caratterizzata da uno scheletro in carpenteria metallica, orizzontamenti in lamiera grecata con getto collaborante

ed involucro stratificato “a secco”.

Il secondo caso studio selezionato è l’edificio scolastico “Melopee” (figure 14, 16), a Gent, in Belgio, realizzato nel 2020 dallo studio di architettura XDGA. L’edificio è composto da un corpo “A”, la cui struttura portante è caratterizzata da uno scheletro in carpenteria metallica ed orizzontamenti in pannelli prefabbricati in calcestruzzo, e da un corpo “B”, la cui struttura portante è caratterizzata da una struttura in cemento armato ed involucro stratificato “a secco”.



Fig. 13 | Avenida Central Building”, Morelia, Messico (fonte: Emilio Alvarez Abouchard Arquitectura)

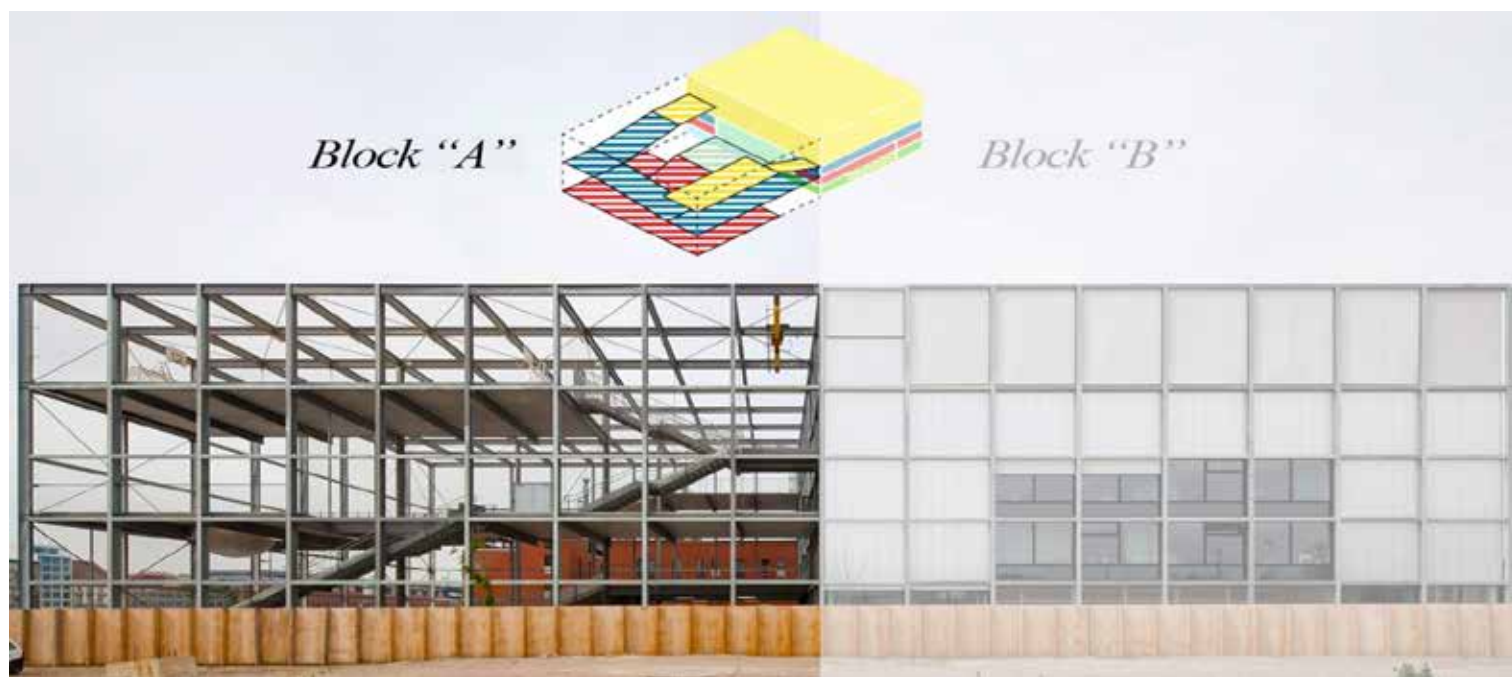


Fig. 14 | Edificio scolastico “Melopee”, Gent, Belgio (fonte: XDGA, Xaveer De Geyter Architects)

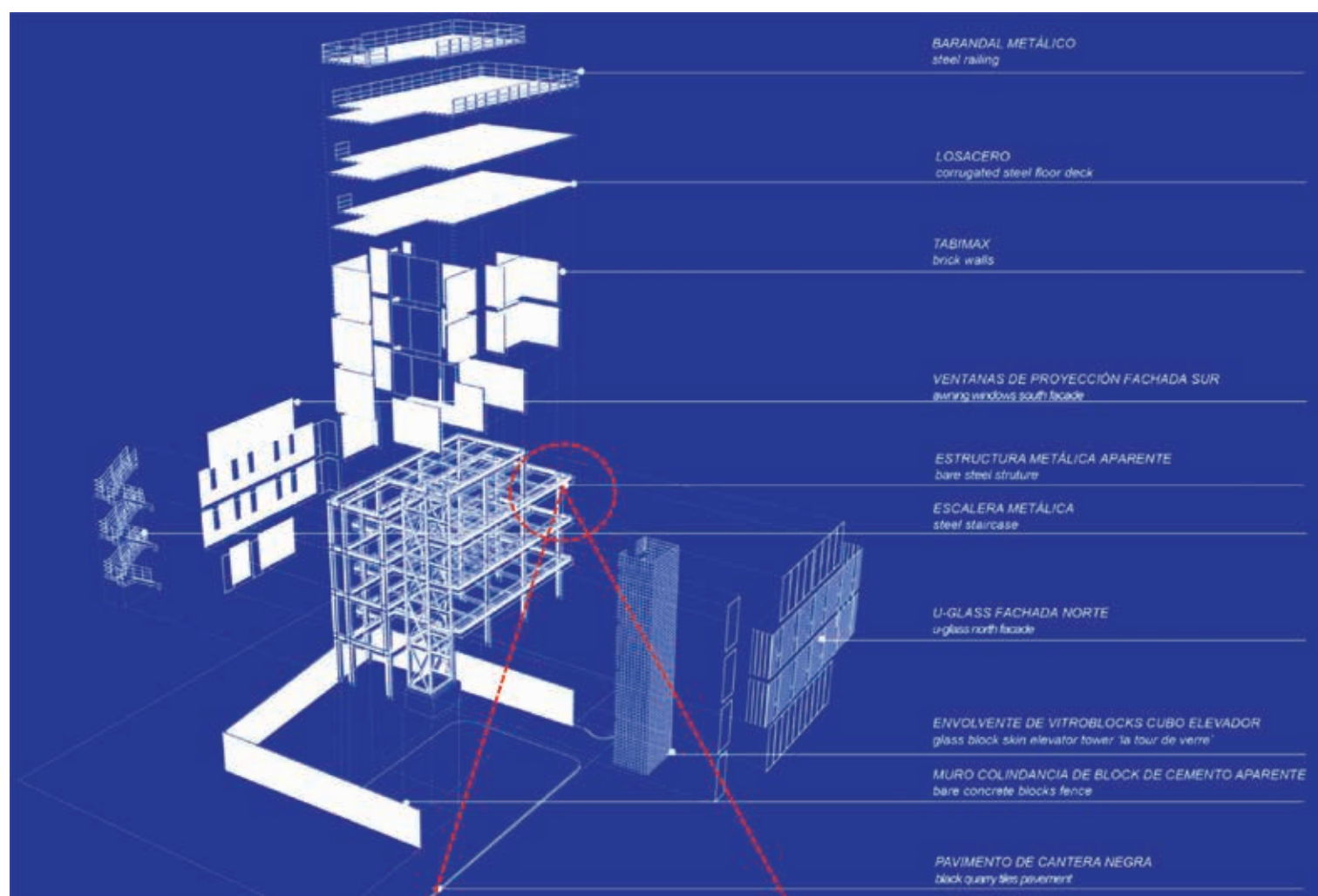


Fig. 15 | Struttura di elevazione verticale (pilastri) ed orizzontale (travi) del Centro dermatológico Avenida Central Building (fonte: Emilio Alvarez Abouchard Arquitectura)

Verifica pre – demolizione

Una verifica pre – demolizione, la quale rappresenta il primo passo di un processo di gestione dei rifiuti da demolizione [25], attraverso la stesura di un inventario dei materiali e degli elementi costruttivi dell'organismo edilizio è intesa a fornire un quadro chiaro degli

organismi edilizi da demolire al fine di attuare una corretta decostruzione e specificare le pratiche di smontaggio.

Con l'ausilio delle linee guida su una corretta gestione dei rifiuti da demolizione e di modelli consigliati per l'inventario dei materiali, forniti dall'UE [25,26,27], per ciascun caso studio è stato redatto un inventario dei materiali e degli elementi costruttivi dell'organismo edilizio. Il modello utilizzato per la stesura dell'inventario è strutturato in quattro categorie, di seguito analizzate.

- Indicatori utili durante la fase “C1 – Deconstruction/Demolition”

All'interno della seconda categoria sono riportate le caratteristiche dimensionali dei singoli elementi tecnici e le tecnologie di posa in opera, al fine di definire gli strumenti e i macchinari più adatti da utilizzare durante la fase di rimozione delle connessioni.

- Indicatori utili durante la fase “C2 – Transport”

All'interno della terza categoria è riportato, per ciascun gruppo di elementi, caratterizzato da sezioni e dimensioni omogenee, un codice identificativo al fine di ottimizzare la fase di trasporto fuori dal sito e di rendere tracciabile ogni singolo rifiuto da demolizione.

- Indicatori utili durante la fase “C3 – Waste processing”

All'interno dell'ultima categoria sono riportate, per ciascun elemento tecnico, eventuali caratteristiche dimensionali, prestazionali o estetiche in grado di aumentarne il valore di mercato. È infine specificata l'eventuale presenza di un mercato e di progetti che hanno riutilizzato con successo il materiale prevalente, al fine di definirne la probabilità di vendita e riutilizzo.

Verifica pre – demolizione, Melopec school

Per l'edificio scolastico “Melopec” sono stati redatti due inventari, uno per il corpo “A”, la cui struttura portante è caratterizzata da uno scheletro in carpenteria metallica, ed uno per il corpo “B”, la cui struttura portante è caratterizzata da una struttura in cemento armato.

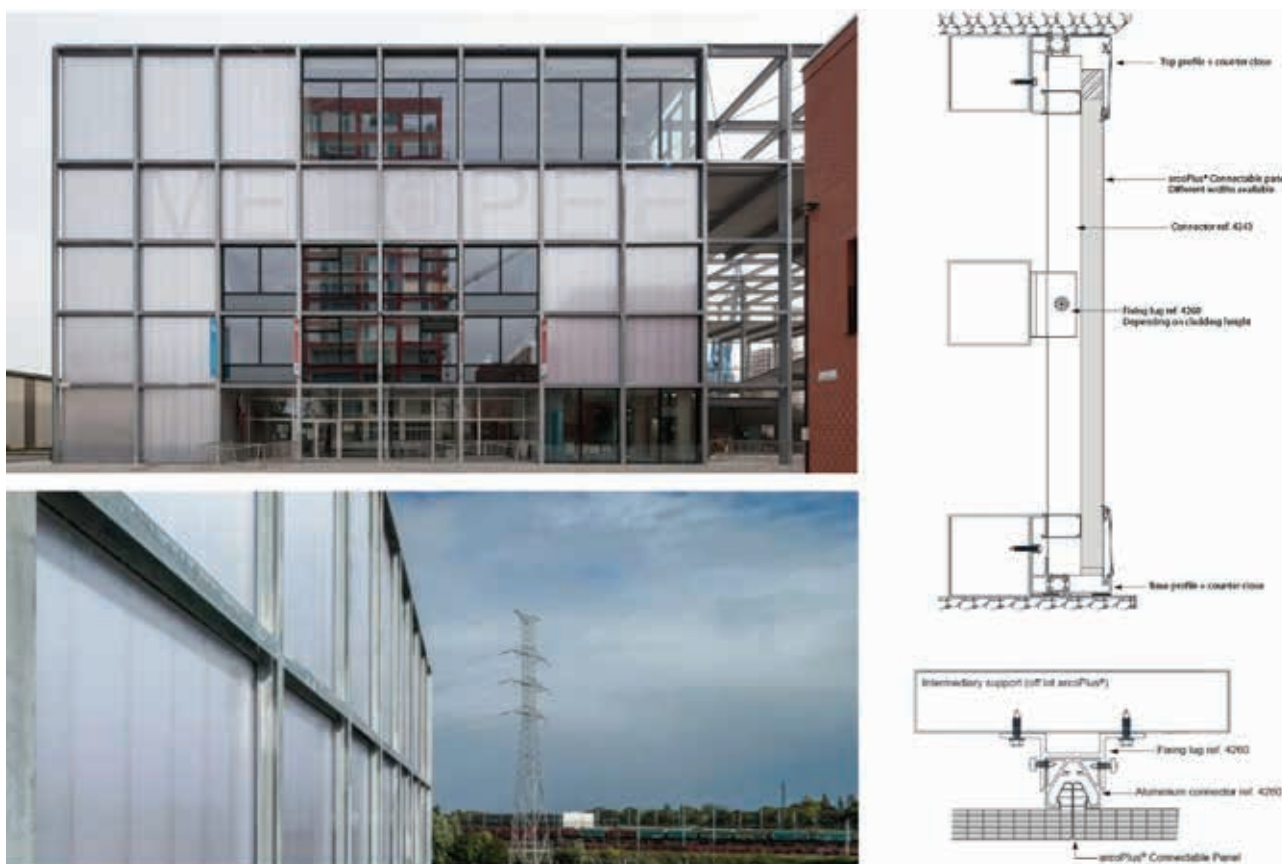


Fig. 16 | Chiusure verticali: struttura intelaiata in acciaio, pannelli in polycarbonato e intelaiatura in alluminio. Corpo “B” (fonte: XDGA, Xaveer De Geyter Architects, ArcoPlus, Dott.Gallina)

Stima delle emissioni di CO_{2-eq}

a) Rimozione delle connessioni

In una prima fase, per ciascun caso studio, è stato quantificato il numero di connessioni, al fine di determinare i tempi di funzionamento di strumenti e macchinari utilizzati per la rimozione delle connessioni. Infine, attraverso la conoscenza del tipo di alimentazione dello strumento o del macchinario utilizzato e del rispettivo fattore di emissione è stato possibile quantificare le emissioni di CO_{2-eq,1}. In una seconda fase, per ciascun caso studio, sono stati quantificati i volumi di materiale da demolire, al fine di determinare i tempi di funzionamento di strumenti e macchinari utilizzati per la demolizione. Infine, attraverso la conoscenza del tipo di alimentazione dello strumento o del macchinario utilizzato e del rispettivo fattore di emissione è stato possibile quantificare le emissioni di CO_{2-eq,1}.

b) Trasporto al suolo e caricamento su autocarro o autoarticolato

In una prima fase, per ciascun caso studio e per ciascuna categoria di materiali prevalenti, è stato quantificato il numero di elementi da trasportare al suolo al fine di determinare i tempi di funzionamento dei macchinari utilizzati per il trasporto al suolo ed il caricamento su autocarro o su autoarticolato. Infine, attraverso la conoscenza del tipo di alimentazione del macchinario utilizzato e del rispettivo fattore di emissione è stato possibile quantificare le emissioni di CO_{2-eq,1}.

Di seguito, per entrambi i casi studio, è riportata una sintesi delle emissioni di CO_{2-eq,1} (figure 17-18).

Avenida Central Building	
Aliquota di emissioni di CO _{2e} prodotte dall'attività di demolizione =	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dalla rimozione delle connessioni +	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto al suolo e dal caricamento su autocarro di elementi o gruppi di elementi	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dalla rimozione delle connessioni	t CO _{2e}
Emissioni di CO _{2e} prodotte dall'utilizzo di utensili a batteria per rimozione di bullonature, avvitature	+ 0,04
Emissioni di CO _{2e} prodotte dall'utilizzo di utensili elettrici per la rimozione di saldature	+ 0,0
Emissioni di CO _{2e} prodotte dall'utilizzo di utensili elettrici per la demolizione di pareti o lastre in Cts	+ 0,0
Emissioni di CO _{2e} prodotte dall'utilizzo di mini-escavatori per la demolizione di partizioni e chiusure	+ 0,5
	= 0,6
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto al suolo e dal caricamento su autocarro	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto al suolo e dal caricamento su autocarro	
Emissioni di CO _{2e} generate dalla movimentazione di gruppi di elementi	+ 0,0
Emissioni di CO _{2e} generate dalla movimentazione di ceste in metallo	+ 0,0
Emissioni di CO _{2e} generate dalla movimentazione di pannelli aventi un peso < 25kg	+ 0,0
Emissioni di CO _{2e} generate dalla movimentazione di pannelli aventi un peso > 25kg	+ 0,0
Emissioni di CO _{2e} generate dalla movimentazione di travi e travetti	+ 0,5
Emissioni di CO _{2e} generate dalla movimentazione di pilastri	+ 0,0
Emissioni di CO _{2e} generate dalla movimentazione di travi della scala esterna	+ 0,0
Emissioni di CO _{2e} generate dalla movimentazione di travi della gabbia ascensore	+ 0,0
Emissioni di CO _{2e} generate dalla movimentazione di pilastri della gabbia ascensore	+ 0,0
	= 0,6

Fig. 17 | Avenida Central Building - Aliquota di emissioni di CO_{2-eq,1} prodotte dall'attività di demolizione

Melopee school	
Aliquota di emissioni di CO _{2e} prodotte dall'attività di demolizione =	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dalla rimozione delle connessioni +	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto al suolo e dal caricamento su autocarro di elementi o gruppi di elementi	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dalla rimozione delle connessioni	t CO _{2e}
Emissioni di CO _{2e} prodotte dall'utilizzo di utensili a batteria per rimozione di bullonature, avvitature	+ 0,001
Emissioni di CO _{2e} prodotte dall'utilizzo di utensili elettrici per la demolizione di pareti in laterizio o lastre in Cts	+ 1,387
Emissioni di CO _{2e} prodotte dall'utilizzo di mini-escavatori per la demolizione di partizioni e chiusure orizzontali	+ 15,061
	= 16,45
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto al suolo e dal caricamento su autocarro	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto al suolo e dal caricamento su autocarro	
Emissioni di CO _{2e} generate dalla movimentazione di gruppi di elementi (pannelli di materiale isolante, lamiera grecata, intelaiature metalliche)	+ 0,081
Emissioni di CO _{2e} generate dalla movimentazione di ceste in metallo	+ 0,009
Emissioni di CO _{2e} generate dalla movimentazione di pannelli aventi un peso > 25kg	+ 0,673
Emissioni di CO _{2e} generate dalla movimentazione di travi e travetti	+ 1,759
Emissioni di CO _{2e} generate dalla movimentazione di pilastri	+ 0,420
Emissioni di CO _{2e} generate dalla movimentazione di travi della scala esterna	+ 0,031
	= 2,97

Fig. 18 | Melopee school - Aliquota di emissioni di CO_{2-eq,1} prodotte dall'attività di demolizione

CO_{2-eq,2}, aliquota di emissioni prodotte dallo sfido – Approccio LCI (Life Cycle Inventory)

L'aliquota di emissioni di CO_{2-eq,2} prodotte dallo sfido, come visto, corrisponde alle emissioni incorporate nella percentuale di materiale che non si può recuperare dopo la rimozione:

Il coefficiente di carbonio incorporato (Embodied Carbon) di un materiale, ultimo termine dalla relazione precedente, equivale alla quantità di CO_{2-eq}, per unità di peso del materiale, generata in seguito al consumo di energia incorporata, ovvero l'energia necessaria per l'estrazione e il trattamento delle materie prime, per il trasporto e l'assemblaggio del prodotto finito in cantiere.

Di seguito è riportata, per entrambi i casi studio, una sintesi delle emissioni di CO_{2-eq,2} (figure 19 - 20).

Avenida Central Building	
Aliquota di emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido conseguente alle operazioni di demolizione	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido degli elementi della struttura di elevazione (travi, travetti, pilastri)	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido degli elementi della scala esterna (travi, travi a ginocchio)	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido degli elementi della gabbia ascensore (travi, pilastri)	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido della pavimentazione in pietra lavica	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido degli elementi delle chiusure verticali (pannelli "U-Glass")	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido dell'intelaiatura metallica dei pannelli "U-Glass"	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido del vetro degli infissi verticali e delle pareti leggere a secco	
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido dell'intelaiatura metallica degli infissi, delle pareti leggere a secco	
	= 43,449

Fig. 19 | Avenida Central Building - Aliquota di emissioni di CO_{2-eq,2} prodotte dallo sfido conseguente alle operazioni di demolizione

Melopee school		
Aliquota di emissioni di CO_{2e} prodotte dallo sfido conseguente alle operazioni di demolizione		
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido degli elementi della struttura di elevazione (travi, travetti, pilastri)	+	92,061
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido degli elementi della scala esterna (travi, travi a ginocchio)	+	2,941
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido della pavimentazione in vetro antiscivolo	+	10,160
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido degli elementi delle chiusure verticali (pannelli in policarbonato)	+	13,157
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido dell'intelaiatura metallica dei pannelli in policarbonato	+	2,951
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido del vetro degli infissi verticali e delle pareti leggere a secco	+	13,180
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido dell'intelaiatura metallica degli infissi e delle pareti leggere a secco	+	38,427
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido dei pannelli in fibra di legno	+	17,971
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido dei pannelli in fibrocemento	+	20,218
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido dei pannelli per isolamento acustico in EPS	+	3,430
Emissioni di CO _{2e} prodotte dallo sfido delle lamiere grecate	+	9,591
	=	224,088

Fig. 20 | Melopee school - Aliquota di emissioni di CO_{2-eq,2} prodotte dallo sfido conseguente alle operazioni di demolizione

CO_{2-eq,3}, aliquota di emissioni prodotte dal trasporto fuori dal sito

La fase successiva prevede il trasporto dei rifiuti da demolizione in apposite aree di stoccaggio di centri di trasformazione o di rivenditori in centri di riciclaggio. In una prima fase, per entrambi i casi studio, i rifiuti da demolizione sono stati classificati in tre macro - categorie, a ciascuna delle quali è stata assegnata una destinazione futura. In una seconda fase, per ciascuna macro - categoria, è stata definita la tipologia di mezzo di trasporto e il numero di viaggi dal cantiere di demolizione alla futura destinazione. Ipotizzando una distanza percorsa dai mezzi di trasporto pari al massimo raggio di consegna di centri di trasformazione situati sul territorio italiano (100 km), desunta dall'osservazione di 20 centri di trasformazione, è stato possibile stimare l'aliquota di emissioni di CO_{2-eq,3}:

$$CO_{2eq,3} = \text{distanza percorsa (km)} \times \text{numero di viaggi (n)} \times \text{Fattore di emissione (kg CO}_{2eq}/\text{km)}$$

Di seguito è riportata, per entrambi i casi studio, una sintesi delle emissioni di CO_{2-eq,3} (figure 21-22).

Avenida Central Building		
Aliquota di emissioni di CO_{2e} prodotte dal trasporto fuori dal sito =		
Emissioni di CO_{2e} prodotte dal trasporto fuori dal sito per successivo riutilizzo +		
Emissioni di CO_{2e} prodotte dal trasporto fuori dal sito per riciclaggio +		
Emissioni di CO_{2e} prodotte dal trasporto fuori dal sito per smaltimento		
Emissioni di CO_{2e} prodotte dal trasporto fuori dal sito per successivo riutilizzo		
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di elementi della struttura di elevazione	+	0,594
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di piastrelle in pietra lavica	+	0,068
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto dei pannelli U-Glass e dell'intelaiatura metallica	+	0,068
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di infissi e pareti leggere a secco	+	0,135
	=	0,864
+		
Emissioni di CO_{2e} prodotte dal trasporto fuori dal sito per riciclaggio		
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di laterizi forati	+	0,203
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di intonaco	+	0,135
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di cemento, calcestruzzo e lamiere grecate	+	0,811
	=	1,284
+		
Emissioni di CO_{2e} prodotte dal trasporto fuori dal sito per smaltimento		
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di membrane impermeabilizzanti	+	0,029
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di vetromattone	+	0,135
	=	0,164

Fig. 21 | Avenida Central Building - Aliquota di emissioni di CO_{2-eq,3} prodotte dal trasporto fuori dal sito

<i>Melopee school</i>	
<i>Aliquota di emissioni di CO_{2e} prodotte dal trasporto fuori dal sito = Emissioni di CO_{2e} prodotte dal trasporto fuori dal sito per successivo riutilizzo + Emissioni di CO_{2e} prodotte dal trasporto fuori dal sito per riciclaggio + Emissioni di CO_{2e} prodotte dal trasporto fuori dal sito per smaltimento</i>	
Emissioni di CO_{2e} prodotte dal trasporto fuori dal sito per successivo riutilizzo	t CO_{2e}
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di elementi della struttura di elevazione	+ 2,630
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di pannelli in vetro antiscivolo	+ 0,270
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto dei pannelli in polycarbonato e dell'intelaiatura metallica	+ 0,135
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di infissi e pareti leggere a secco	+ 0,270
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di pannelli in fibra di legno	+ 0,135
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di pannelli in fibrocemento	+ 0,135
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di pannelli per isolamento acustico in EPS	+ 0,068
	= 3,644
+	
Emissioni di CO_{2e} prodotte dal trasporto fuori dal sito per riciclaggio	t CO_{2e}
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di laterizi forati	+ 0,840
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di cemento	+ 4,620
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di calcestruzzo	+ 12,810
	= 18,270
+	
Emissioni di CO_{2e} prodotte dal trasporto fuori dal sito per smaltimento	t CO_{2e}
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di membrane impermeabilizzanti	+ 0,068
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di pannelli di materiale isolante in PUR	+ 1,680
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di pannelli di materiale isolante in lana di roccia	+ 0,525
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di blocchi di EPS	+ 1,680
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal trasporto di pannelli di materiale isolante in PUR	+ 1,890
	= 5,843

Fig. 22 | Melopee school - Aliquota di emissioni di CO_{2-eq,3} prodotte dal trasporto fuori dal sito

CO_{2-eq,4}, aliquota di emissioni prodotte dall'attività di trasformazione per successivo riutilizzo

Gli elementi metallici della struttura di elevazione (travi, travetti, travi a ginocchio, pilastri) prima di essere reimmessi in commercio necessitano di attività di trasformazione, eseguite presso centri di trasformazione e impianti di zincatura. In una prima fase, per entrambi i casi studio, in funzione della provenienza degli elementi della struttura di elevazione, sono state determinate le tipologie di attività di trasformazione ed il numero di operazioni necessarie per il raggiungimento di requisiti progettuali e prestazionali. Di seguito è riportata, per entrambi i casi studio, una sintesi delle emissioni di CO_{2-eq,4} (figure 23-24).

<i>Avenida Central Building</i>	
<i>Aliquota di emissioni di CO_{2e} prodotte dall'attività di trasformazione = Emissioni di CO_{2e} prodotte da attività di pulizia e taglio presso centri di trasformazione + Emissioni di CO_{2e} prodotte dal processo di zincatura</i>	
Emissioni di CO_{2e} prodotte da attività di pulizia e taglio presso centri di trasformazione	t CO_{2e}
Emissioni di CO _{2e} prodotte dalla rimozione delle imperfezioni generate dal procedimento di taglio in cantiere	0,024
	= 0,024
+	
Emissioni di CO_{2e} prodotte dal processo di zincatura	t CO_{2e}
Emissioni di CO _{2e} prodotte dal processo di zincatura	5,896
	= 5,896

Fig. 23 | Avenida Central Building - Aliquota di emissioni di CO_{2-eq,4} prodotte dall'attività di trasformazione

Stima generi e quantità di rifiuti

Sono stati quindi determinati, per entrambi i casi studio, i generi di rifiuti prodotto surante l'intero processo, attraverso l'assgnazione, a ciascun materiale, di un codice dell'elenco europeo dei rifiuti [18]. Sono state stimate, inoltre, le quantità di rifiuti, attraverso l'assegnazione, a ciascun materiale, di una destinazione futura, in funzione della natura del materiale e alla predisposizione ad attività di riutilizzo e riciclaggio.

Melopee school	
Aliquota di emissioni di CO2e prodotte dall'attività di trasformazione = Emissioni di CO2e prodotte da attività di pulizia e taglio presso centri di trasformazione + Emissioni di CO2e prodotte dal processo di zincatura	
Emissioni di CO2e prodotte da attività di pulizia e taglio presso centri di trasformazione	t CO2e
Emissioni di CO2e prodotte dal taglio di porzioni di materiale precedentemente bullonate e/o avvitate	0,038
	= 0,038
+	
Emissioni di CO2e prodotte dal processo di zincatura	t CO2e
Emissioni di CO2e prodotte dal processo di zincatura (produzione di zinco, trasporto all'impianto, processo di	51,291
	= 51,291

Fig. 24 | Melopee school – Aliquota di emissioni di CO_{2-eq,4} prodotte dall'attività di trasformazione

Avenida Central Building, quantità di materiale riutilizzabile		t
Acciaio della struttura di elevazione (travi, travetti, pilastri) - materiali strutturali	+	20,81
Acciaio della scala esterna (travi, travi a ginocchio) - materiali strutturali	+	0,46
Acciaio della scala esterna (gradini, pianerottoli) - materiali non strutturali	+	0,25
Acciaio della gabbia ascensore - materiali strutturali	+	1,23
Vetro dei pannelli U-Glass delle chiusure verticali - materiali non strutturali	+	0,42
Alluminio dell'intelaiatura metallica dei pannelli U-Glass - materiali non strutturali	+	0,12
Vetro degli infissi verticali e delle pareti leggere a secco - materiali non strutturali	+	1,39
Alluminio degli infissi verticali e delle pareti leggere a secco - materiali non strutturali	+	1,97
Pietra lavica della pavimentazione esterna - materiali non strutturali	+	1,01
	=	27,66

Fig. 25 | Avenida Central Building - Quantità di materiale riutilizzabile, riportata per elementi tecnici

Melopee school, quantità di materiale riutilizzabile		t
Acciaio della struttura di elevazione (travi, travetti, pilastri) - materiali strutturali	+	192,25
Acciaio della scala esterna (travi, travi a ginocchio) - materiali strutturali	+	3,99
Acciaio della scala esterna (gradini, pianerottoli) - materiali non strutturali	+	1,72
Polycarbonato dei pannelli delle chiusure verticali - materiali non strutturali	+	3,76
Alluminio dell'intelaiatura metallica dei pannelli in polycarbonato - materiali non strutturali	+	1,01
Vetro degli infissi verticali e delle pareti leggere a secco - materiali non strutturali	+	14,93
Alluminio degli infissi verticali e delle pareti leggere a secco - materiali non strutturali	+	9,18
Vetro della pavimentazione esterna - materiali non strutturali	+	5,54
Pannelli in fibrocemento delle chiusure superiori - materiali non strutturali	+	7,02
Pannelli in fibra di legno delle chiusure superiori - materiali non strutturali	+	2,87
Pannelli per isolamento acustico di EPS delle chiusure superiori - materiali non strutturali	+	0,55
Acciaio delle lamiere grecate delle chiusure orizzontali superiori - materiali strutturali	+	9,28
	=	252,10

Fig. 26 | Melopee school - Quantità di materiale riutilizzabile, riportata per elementi tecnici

Avenida Central Building, quantità di materiale riciclabile (sfrido)		t
Acciaio della struttura di elevazione (travi, travetti, pilastri) - materiali strutturali	+	19,93
Acciaio della scala esterna (travi, travi a ginocchio) - materiali strutturali	+	0,54
Acciaio della scala esterna (gradini, pianerottoli) - materiali non strutturali	+	0,07
Acciaio della gabbia ascensore - materiali strutturali	+	0,91
Vetro dei pannelli U-Glass delle chiusure verticali - materiali non strutturali	+	0,89
Alluminio dell'intelaiatura metallica dei pannelli U-Glass - materiali non strutturali	+	0,05
Vetro degli infissi verticali e delle pareti leggere a secco - materiali non strutturali	+	0,63
Alluminio degli infissi verticali e delle pareti leggere a secco - materiali non strutturali	+	0,92
Pietra lavica della pavimentazione esterna - materiali non strutturali	+	1,01
	=	24,98

Fig. 27 | Avenida Central Building - Quantità di materiale riciclabile (sfrido), riportata per elementi tecnici

Melopee school, quantità di materiale riciclabile (sfrido)		t
Acciaio della struttura di elevazione (travi, travetti, pilastri) - materiali strutturali	+	59,39
Acciaio della scala esterna (travi, travi a ginocchio) - materiali strutturali	+	1,40
Acciaio della scala esterna (gradini, pianerottoli) - materiali non strutturali	+	0,50
Polycarbonato dei pannelli delle chiusure verticali - materiali non strutturali	+	0,94
Alluminio dell'intelaiatura metallica dei pannelli in polycarbonato - materiali non strutturali	+	0,43
Vetro degli infissi verticali e delle pareti leggere a secco - materiali non strutturali	+	9,15
Alluminio degli infissi verticali e delle pareti leggere a secco - materiali non strutturali	+	5,63
Vetro della pavimentazione esterna - materiali non strutturali	+	7,06
Pannelli in fibrocemento delle chiusure superiori - materiali non strutturali	+	10,53
Pannelli in fibra di legno delle chiusure superiori - materiali non strutturali	+	3,37
Pannelli per isolamento acustico di EPS delle chiusure superiori - materiali non strutturali	+	0,43
Acciaio delle lamiere grecate delle chiusure orizzontali superiori - materiali strutturali	+	6,19
	=	105,02

Fig. 28 - Melopee school - Quantità di materiale riciclabile (sfrido), riportata per elementi tecnici

Melopec school, quantità di materiale riciclabile			t
Laterizi forati	delle partizioni interne verticali - materiali non strutturali	+	152,97
Cemento	delle chiusure orizzontali inferiori, superiori e delle partizioni orizzontali - materiali strutturali	+	751,38
Cemento	delle partizioni interne verticali - materiali non strutturali	+	560,45
Calcestruzzo	delle chiusure orizzontali inferiori, superiori e delle partizioni orizzontali - materiali strutturali	+	3632,86
		=	5097,66

Fig. 29 | Avenida Central Building - Quantità di materiale riciclabile, riportata per elementi tecnici

Avenida Central Building, quantità di materiale riciclabile			t
Laterizi forati	(partizioni interne verticali) - materiali non strutturali	+	10,42
Laterizi forati	(chiusure verticali) - materiali non strutturali	+	14,05
Cemento	(chiusure orizzontali inferiori, superiori e delle partizioni interne orizzontali) - materiali strutturali	+	27,02
Calcestruzzo	(chiusure orizzontali inferiori, superiori e delle partizioni interne orizzontali) - materiali strutturali	+	103,92
Lamiere grecate	(chiusure orizzontali inferiori, superiori e delle partizioni interne orizzontali) - materiali strutturali	+	4,47
		=	159,86

Fig. 30 | Melopec school - Quantità di materiale riciclabile, riportata per elementi tecnici

Avenida Central Building, quantità di materiale da smaltire			t
Membrane impermeabilizzanti	delle chiusure orizzontali superiori	+	0,24
Vetrocemento	della gabbia ascensore e delle chiusure verticali	+	15,85
		=	16,09

Fig. 31 | Avenida Central Building - Quantità di materiale da smaltire, riportata per elementi tecnici

Melopec school, quantità di materiale da smaltire			t
Membrane impermeabilizzanti	delle chiusure orizzontali superiori	+	5,85
Pannelli di materiale isolante in PUR	delle chiusure orizzontali superiori	+	16,38
Pannelli di materiale isolante in PUR	delle chiusure orizzontali inferiori e delle partizioni interne orizzontali	+	12,95
Pannelli di materiale isolante in PUR	delle partizioni interne verticali	+	8,80
Pannelli di materiale isolante in lana di roccia	delle partizioni interne orizzontali	+	3,38
Blocchi di EPS	delle chiusure orizzontali inferiori, superiori e delle partizioni orizzontali	+	11,70
		=	59,06

Fig. 32 | Melopec school - Quantità di materiale da smaltire, riportata per elementi tecnici

Valutazione del livello di disassemblabilità

Determinate le unità tecnologiche e gli elementi tecnici che caratterizzano ciascun caso studio e stimate le emissioni di CO_{2-eq}, è stata effettuata, per entrambi i casi studio, una valutazione del livello di disassemblabilità di ciascun materiale prevalente e di ciascuna unità tecnologica. La valutazione è stata condotta sia attraverso il Metodo sperimentale integrato sia attraverso il Metodo UNI (11277:2008). Per ciascun materiale prevalente sono inoltre riportati, per ciascun parametro di riferimento, i sotto - parametri e le relative potenzialità di recupero. I punteggi (LID) ottenuti attraverso l'applicazione del metodo UNI, sono invece dapprima espressi in unità, nel rispetto della classificazione effettuata dalla norma UNI 11277:2008, la quale prevede un punteggio che va da 0 a 5 in funzione della tecnologia di posa in opera di un materiale. Successivamente, al fine di confrontare i punteggi ottenuti dall'applicazione dei due metodi, si è proceduto alla conversione dei punteggi espressi in unità in punteggi espressi in percentuale. I punteggi ottenuti dall'applicazione del metodo UNI sono di seguito elencati, per entrambi i casi studio, per l'unità tecnologica strutture di elevazione (figure 33-34).

Avenida Central Building				LID - METODO UNI (11277:2008)		LID - METODO UNI (11277:2008) (espresso in %)	
Unità tecnologica	Elemento tecnico	Materiali prevalenti	Parametri Tecnologia di posa in opera	LID, Materiali prevalenti (punteggio calcolato rispetto al peso totale dei singoli materiali)	LID, Unità tecnologica (punteggio calcolato rispetto al peso totale dell'elemento tecnico)	LID, Materiali prevalenti (punteggio calcolato rispetto al peso totale dei singoli materiali prevalenti)	LID, Unità tecnologica (punteggio calcolato rispetto al peso totale dell'elemento tecnico)
Strutture di elevazione	Strutture di elevazione orizzontali e verticali	Pilastri in acciaio	Bullonature	3	0,6	0,60	0,12
		Travi in acciaio	Saldature	0		0	
Partizioni esterne inclinate	Scale esterne	Gradini e piamerzoli in acciaio	Bullonature	3	0,7	0,60	0,14
		Travi in acciaio	Saldature	0		0	
Partizioni esterne verticali	Gabbia ascensore	Pareti in vetromatone	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0	0,2	0	0,03
		Tubi scatolati in acciaio - Pilastri	Bullonature	3		0,60	
		Tubi scatolati in acciaio - Travi	Saldature	0		0	
Chiusure orizzontali inferiori	Solai a terra - Solai con soletta in Ciz	Massetto in cemento	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0	0	0	0
		Soletta in Ciz	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0		0	
Partizioni interne orizzontali (livello 1, 2)	Solai - Solai compositi con lamiera grecata e caldana in Ciz	Pavimentazione in cemento	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0	0	0	0
		Massetto in cemento	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0		0	
		Lamiere grecate	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0		0	
		Caldana in Ciz	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0		0	

Fig. 33 | Valutazione del livello di disassemblabilità. Metodo UNI (11277:2008). Caso studio: Avenida Central Building

Melopec school				LID - METODO SPERIMENTALE	
Unità tecnologica	Elemento tecnico	Materiali prevalenti	Parametri Tecnologia di posa in opera - Movimentazione e trasporto - Modifica in officina - Potenzialità di rivendita	LID_Materiali prevalenti (punteggio calcolato rispetto al peso totale dei singoli materiali prevalenti)	LID_Unità tecnologica (punteggio calcolato rispetto al peso totale dell'elemento tecnico)
Strutture di elevazione	Strutture di elevazione orizzontali e verticali	Pilastrini in acciaio	Bullonature (100%) - Trasporto al suolo e caricamento su autocarro con autogrù, L>12m (40%) - Taglio di parti forate (60%) - Presenza di un mercato discreto e di casi studio (60%)	0,76	0,76
		Travi in acciaio	Bullonature (100%) - Trasporto al suolo e caricamento su autocarro con autogrù (40/60%) - Taglio di parti forate (60%) - Presenza di un mercato discreto e di casi studio (60%)	0,78	
Partizioni esterne inclinate	Scale esterne	Gradini e pianerottoli in acciaio	Bullonature difficilmente accessibili (50%) - Trasporto manuale (100%) - Rimozione di imperfezioni superficiali, parti danneggiate (50%) - Assenza di un mercato (20%)	0,77	0,75
		Travi in acciaio	Bullonature (100%) - Trasporto al suolo e caricamento su autocarro con autogrù (40/60%) - Taglio di parti forate (60%) - Presenza di un mercato discreto e di casi studio (60%)	0,74	
		Pavimentazione in pannelli in vetro	Adesivi (20%) - Trasporto con dispositivi di sollevamento (50%) - Rimozione di imperfezioni superficiali, parti danneggiate (50%) - Assenza di un mercato (20%)	0,44	0,03
		Gradini in Cls	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0,00	
		Soletta rampante in Cls	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0,00	
Chiusure orizzontali inferiori	Solai a terra - Solaio tradizionale in Cls gettato in opera	Massetto in Cls	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0,00	0,00
		Lastre di isolamento acustico	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0,00	
		Pannelli di materiale isolante (PUR)	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0,00	
		Getto di Cls	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0,00	
Partizioni esterne orizzontali	Solai - Solaio composito con pannelli prefabbricati in Cls e caldana in Cls	Massetto in Cls	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0,00	0,00
		Pannelli prefabbricati in Cls	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0,00	
		Caldana in Cls	Leganti idraulici e aerei (destinazione: operazioni di riciclo)	0,00	

Fig. 34 | Valutazione livello di disassemblabilità. Metodo sperimentale integrato. Melopec school Building

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

I risultati mostrano che l’aliquota di emissioni di CO_{2eq,1} prodotte dall’attività di demolizione rappresenta, per entrambi i casi, la minor incidenza sul totale delle emissioni di CO_{2eq} generate (3% per il caso studio Avenida Central Building, 6% per il caso studio Melopec school), mentre l’aliquota di emissioni di CO_{2eq,2} prodotte dallo sfrido, conseguente alle operazioni di demolizione, per entrambi i casi studio rappresenta la maggior incidenza sul totale delle emissioni di CO_{2eq} generate (82% per il caso studio Avenida Central Building, 69% per il caso studio Melopec school).

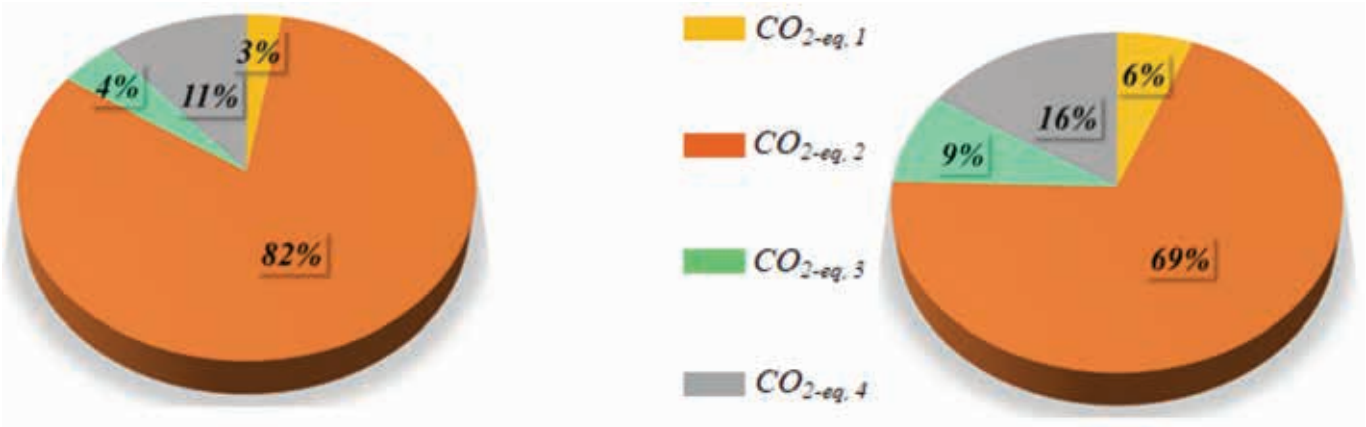


Fig. 35 | Risultati, in termini di tonnellate di CO_{2eq}, per ciascuna delle quattro aliquote e per entrambi i casi studio e Incidenza di ciascuna delle quattro aliquote sul totale di emissioni di CO_{2eq} generate (Avenida Central Building, a sinistra; Melopec school, a destra)



Fig. 36 | Risultati in termini di tonnellate CO_{2eq} e incidenza delle diverse attività di demolizione (Avenida Central Building, a sinistra; Melopec school, a destra)

Per il caso studio Avenida Central Building, l'incidenza delle emissioni di CO_{2-eq} prodotte dalla demolizione di solai in calcestruzzo, di pareti in laterizio e di pareti in vetromattoni risulta essere pari al 40% (figura 36 a sinistra). Essa rappresenta la fonte secondaria di emissioni per l'aliquota prodotta dall'attività di demolizione, generando 0,579 tonnellate di CO_{2-eq}.

Discorso opposto vale invece per il caso studio Melopec school, per il quale l'incidenza delle emissioni di CO_{2-eq} prodotte dalla demolizione di solai in calcestruzzo, di pareti in laterizio e di pareti in cemento sale all'85% (figura 36 a destra). Essa rappresenta infatti la fonte principale di emissioni per l'aliquota prodotta dall'attività di demolizione, generando 16,456 tonnellate di CO_{2-eq}. La notevole differenza tra le emissioni generate dalla demolizione di solai in calcestruzzo, di pareti in laterizio e di pareti in vetromattoni o cemento è evidenziata dalla quantità di CO_{2-eq} generata per m² di superficie demolita. Per il caso studio Avenida Central Building, grazie alla presenza di solai compositi con lamiera grecata e caldana in calcestruzzo, caratterizzati da spessori limitati (20 cm), l'attività di demolizione genera 1,42 kg di CO_{2-eq} per m² di superficie demolita. Per il caso studio Melopec school, invece, a causa della presenza di solai tradizionali in calcestruzzo gettati in opera, caratterizzati da spessori elevati (50 cm), l'attività di demolizione genera 2,16 kg di CO_{2-eq} per m² di superficie demolita, ovvero 1,52 volte superiore alle emissioni generate dall'attività di demolizione per il caso studio Avenida Central Building. I risultati mostrano il contributo di solai compositi con lamiera grecata e caldana in Cls a ridurre, in un processo di disassemblaggio e demolizione selettiva, le emissioni di CO_{2-eq} prodotte dall'attività di demolizione.

I solai compositi con lamiera grecata e caldana in Cls, in grado di sfruttare al meglio le prestazioni sia dell'acciaio che del calcestruzzo, consentono una riduzione delle sezioni trasversali [28,29] ed una riduzione dei volumi di materiale da demolire, con conseguente riduzione dei tempi di funzionamento e del consumo di carburante dei macchinari utilizzati per le attività di demolizione. L'altezza di un solaio composito, infatti, varia in genere dai 100 ai 150 mm, con luci da 2,50 a 3,00 m [28,29]. Discorso opposto vale invece per i solai tradizionali in Cls gettati in opera i quali contribuiscono ad aumentare, in un processo di disassemblaggio e demolizione selettiva, le emissioni di CO_{2-eq} prodotte dall'attività di demolizione. I solai tradizionali in Cls gettati in opera sono caratterizzati generalmente da altezze superiori ai 160 mm. Per il caso studio Melopec school i solai tradizionali in Cls gettati in opera, caratterizzati da blocchi di polistirene espanso sinterizzato (EPS) a sostituzione delle tradizionali pignatte in laterizio, presentano un'altezza massima pari a 460 mm, comportando un aumento notevole dei volumi di materiale da demolire, con conseguente aumento dei tempi di funzionamento e del consumo di carburante dei macchinari utilizzati per le attività di demolizione.

Per il caso studio Avenida Central Building l'incidenza delle emissioni di CO_{2-eq} prodotte dallo sfrido degli elementi in acciaio (struttura di elevazione, scala esterna, gabbia ascensore) risulta essere pari al 76% (figura 37 a sinistra). Essa rappresenta infatti la fonte principale di emissioni per l'aliquota prodotta dallo sfrido conseguente alle operazioni di demolizione. Stesso discorso vale per il caso studio Melopec school per il quale, però, l'incidenza delle emissioni di CO_{2-eq} prodotte dallo sfrido degli elementi in acciaio (struttura di elevazione, scala esterna, lamiere grecate) scende al 47% (figura 37 a destra).

La notevole differenza tra le emissioni generate dallo sfrido degli elementi in acciaio è evidenziata dalla percentuale di acciaio riciclabile, rispetto a quella riutilizzabile, e dalla conseguente quantità di CO_{2-eq} generata dallo sfrido per kg di materiale potenzialmente riutilizzabile. Per il caso studio Avenida Central Building, la prevalenza di unioni saldate (92,35%) rispetto alle unioni bullonate (7,70%) ha comportato una percentuale di acciaio riutilizzabile pari al 51%, leggermente superiore alla percentuale di acciaio riciclabile (sfrido) pari al 49% (figura 38 a sinistra). Per il caso studio Melopec school, la presenza di unioni unicamente bullonate ha comportato una percentuale di acciaio riutilizzabile pari al 75%, di gran lunga superiore alla percentuale di acciaio riciclabile (sfrido) pari al 25% (figura 38 a destra).



Fig. 37 | Emissioni di CO_{2eq,2} prodotte dallo sfrido conseguente alle operazioni di demolizione e incidenza emissioni prodotte dallo sfrido (Avenida Central Building, a sinistra; Melopee school, a destra)

Per il caso studio Avenida Central Building, quindi, a causa della prevalenza di unioni saldate e della conseguente elevata percentuale di acciaio riciclabile (49%), lo sfrido degli elementi in acciaio genera 0,76 kg di CO_{2eq} per kg di materiale potenzialmente riutilizzabile. Per il caso studio Melopee school, invece, grazie alla prevalenza di unioni bullonate e alla conseguente bassa percentuale di acciaio riciclabile (25%), lo sfrido degli elementi in acciaio genera 0,37 kg di CO_{2eq} per kg di materiale potenzialmente riutilizzabile, ovvero 2,05 volte inferiore alle emissioni generate dallo sfrido degli elementi in acciaio per il caso studio Avenida Central Building.

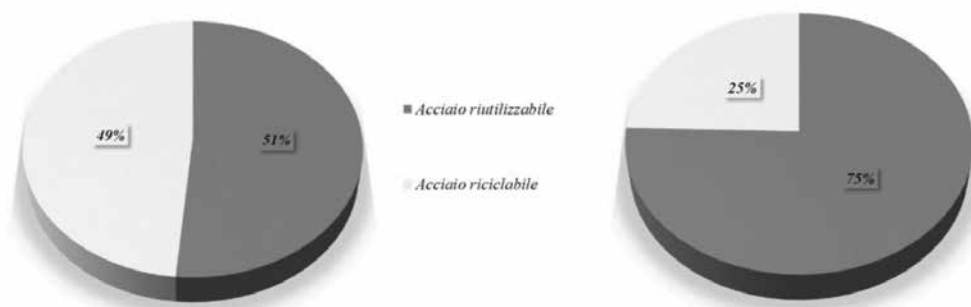


Fig. 38 | Percentuali di elementi in acciaio riutilizzabili e riciclabili (Avenida Central Building, a sinistra; Melopee school, a destra)

I risultati mostrano il contributo delle unioni bullonate ad aumentare, in un processo di disassemblaggio e demolizione selettiva di sistemi tecnologici "a secco" in acciaio, la quantità di acciaio riutilizzabile, a discapito della quantità di acciaio riciclabile e delle conseguenti emissioni di CO_{2eq} prodotte dallo sfrido. L'utilizzo esclusivo di avvitatori ad impulsi durante la fase di smontaggio consente di arrecare il minor danno possibile al materiale ed ottenere elevate percentuali di materiale riutilizzabile. Discorso opposto vale invece per le unioni saldate, le quali contribuiscono ad aumentare, in un processo di disassemblaggio e demolizione selettiva di sistemi tecnologici "a secco" in acciaio, la quantità di acciaio riciclabile e le conseguenti emissioni di CO_{2eq} prodotte dallo sfrido. L'utilizzo di tagli al plasma manuali, oltre ad arrecare percentuali di danno elevate al materiale, necessita di un maggior numero di operazioni da eseguire presso un centro di trasformazione con conseguente ulteriore perdita di materiale. L'esecuzione di un singolo taglio al plasma manuale comporta, infatti, la regolazione di eventuali tagli convergenti o divergenti, la regolazione di eventuali superfici di taglio con cavità, con profilo ondulato, inclinate, con bordo inferiore arrotondato o con gradino, la rimozione di materiale eventualmente non asportato durante il taglio e la rimozione di eventuali striature ed erosioni profonde. La tecnologia di posa in opera risulta incidere anche sull'aliquota di emissioni di CO_{2eq,1} prodotte dall'attività di demolizione, in particolare sulle emissioni di CO_{2eq} prodotte dal trasporto al suolo e dal caricamento su autoarticolato degli elementi della struttura di elevazione. Quest'ultima, per entrambi i casi studio, rappresenta la fonte principale di emissioni per l'aliquota prodotta dal trasporto al suolo e dal caricamento su autocarro o su autoarticolato di elementi o gruppi di elementi (68% per il caso studio Avenida Central Building, 58% per il caso studio Melopee school) (figure 39-40).

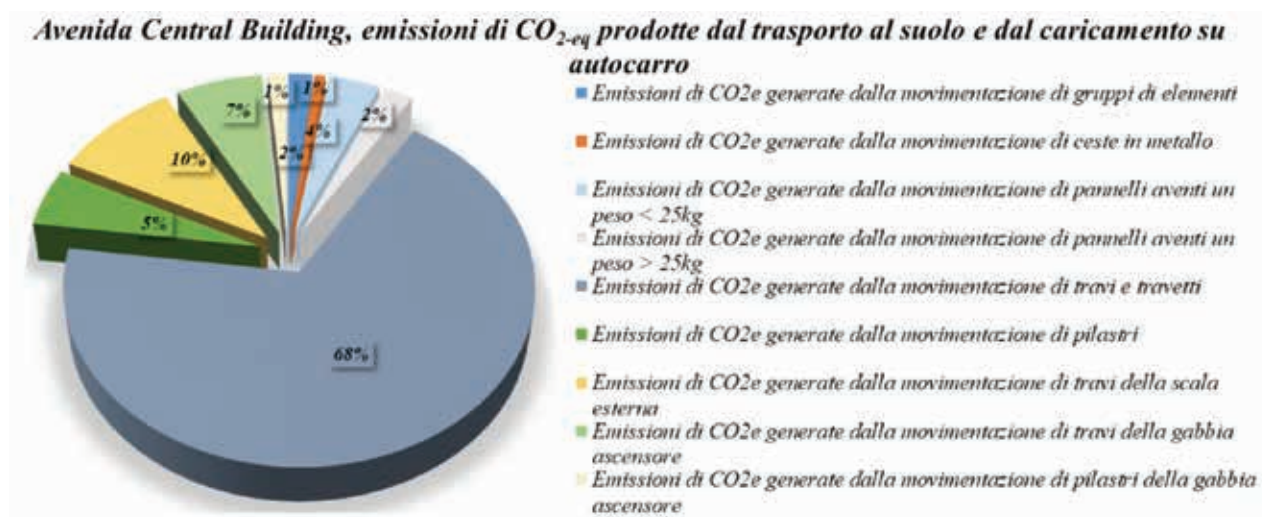


Fig. 39 | Emissioni di CO_{2-eq} prodotte dal trasporto al suolo e dal caricamento su autocarro, Avenida Central Building

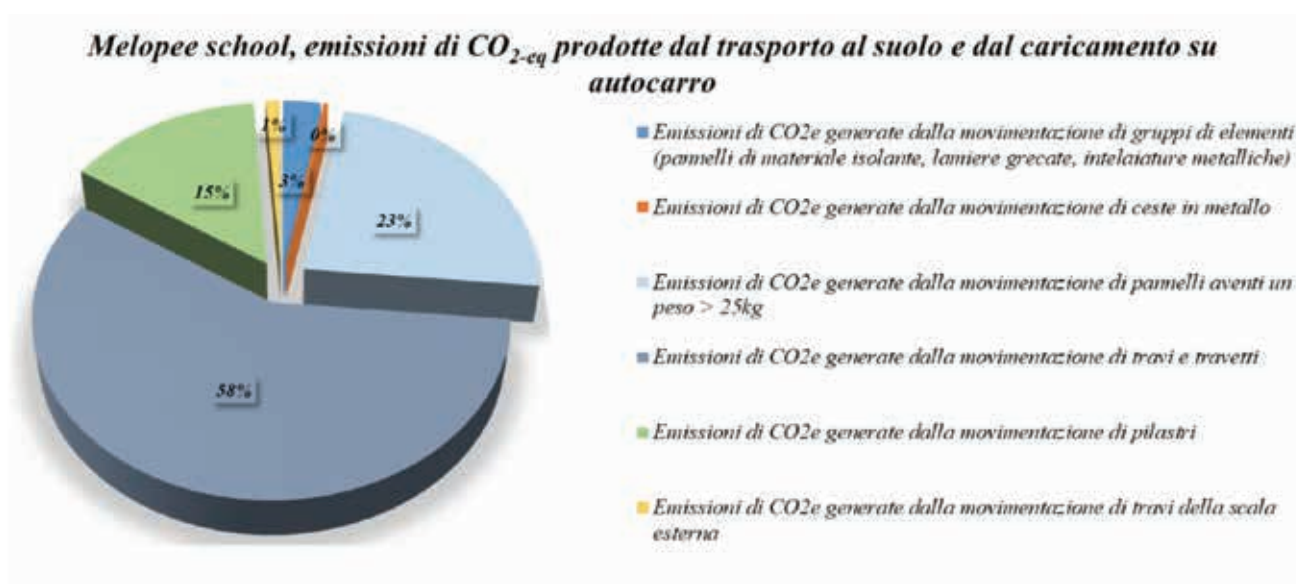


Fig. 40 | Emissioni di CO_{2-eq} prodotte dal trasporto al suolo e dal caricamento su autocarro, Meloepee school

Per il caso studio Avenida Central Building, a causa della prevalenza di unioni saldate, il trasporto al suolo ed il caricamento su autocarro o su autoarticolato degli elementi della struttura di elevazione genera 3,48 kg di CO_{2-eq} per trave trasportata al suolo (figura 39). Per il caso studio Meloepee school, invece, grazie alla prevalenza di unioni bullonate, il trasporto al suolo ed il caricamento su autocarro o su autoarticolato degli elementi della struttura di elevazione genera 1,63 kg di CO_{2-eq} per trave trasportata al suolo (figura 41), 2,13 volte inferiore alle emissioni generate dal trasporto al suolo e dal caricamento su autocarro o su autoarticolato per il caso studio Avenida Central Building.

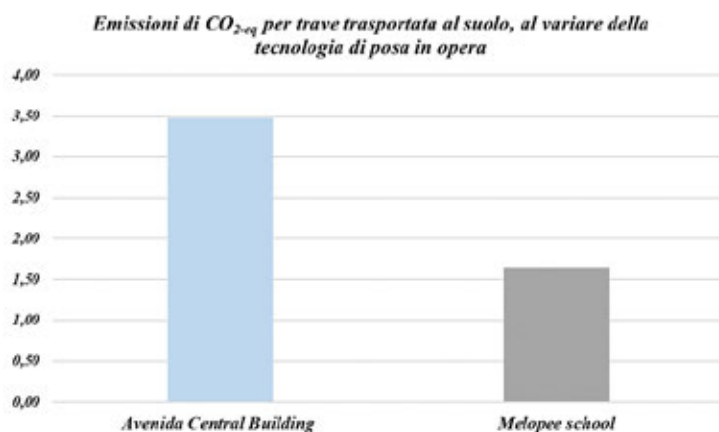


Fig. 41 | Emissioni di CO_{2-eq} per trave trasportata al suolo, al variare della tecnologia di posa in opera

I risultati mostrano il contributo delle unioni bullonate a ridurre, in un processo di disassemblaggio e demolizione selettiva di sistemi tecnologici “a secco” in acciaio, le emissioni di CO_{2-eq} prodotte dal trasporto al suolo degli elementi della struttura di elevazione. La rimozione di un singolo bullone richiedendo pochi secondi (circa 3 s) consente all'apparecchio di sollevamento di restare agganciato all'elemento da trasportare al suolo, in attesa dello svincolamento dell'elemento, per tempi brevi (circa 70 s), riducendo così il consumo di carburante e le conseguenti emissioni di CO_{2-eq}. Discorso opposto vale invece per le unioni saldate, le quali contribuiscono ad aumentare, in un processo di disassemblaggio e demolizione selettiva di sistemi tecnologici “a secco” in acciaio, le emissioni di CO_{2-eq} prodotte dal trasporto al suolo degli elementi della struttura di elevazione. Il taglio al plasma manuale dell'estremità di una trave richiedendo un maggior numero di secondi (dai 30 ai 110 s, in funzione della sezione dell'elemento), obbliga all'apparecchio di sollevamento di restare agganciato all'elemento da trasportare al suolo, in attesa del completamento del taglio delle estremità dell'elemento, per tempi lunghi (dai 60 ai 220 s, in funzione della sezione dell'elemento), aumentando così il consumo di carburante e le conseguenti emissioni di CO_{2-eq}.

Al fine di verificare il raggiungimento dell'obiettivo fissato dall'articolo 2.4.1.1 “Disassemblabilità”, per entrambi i casi studio, sono stati stimati generi e quantità di rifiuti prodotti durante l'intero processo di disassemblaggio e demolizione selettiva. In particolare, di seguito (figure 42-43) sono riportate le percentuali dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati, esclusi gli impianti, riciclabili e riutilizzabili

Avenida Central Building		% non	%
Totale di rifiuti generati riutilizzabili e riciclabili		strutturali	recuperati
Quantità di materiale riutilizzabile - materiali strutturali			10,9
Quantità di materiale riutilizzabile - materiali non strutturali		18,6	
Quantità di materiale riciclabile (sfido) - materiali strutturali			9,8
Quantità di materiale riciclabile (sfido) - materiali non strutturali		14,4	
Quantità di materiale riciclabile - materiali strutturali			62,8
Quantità di materiale riciclabile - materiali non strutturali		15,3	

Fig. 42 | Percentuali dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati riutilizzabili o riciclabili – Avenida Central Building

Melopee school		% non	%
Totale di rifiuti generati riutilizzabili e riciclabili		strutturali	recuperati
Quantità di materiale riutilizzabile - materiali strutturali			4,5
Quantità di materiale riutilizzabile - materiali non strutturali		18,5	
Quantità di materiale riciclabile (sfido) - materiali strutturali			1,9
Quantità di materiale riciclabile (sfido) - materiali non strutturali		36,2	
Quantità di materiale riciclabile - materiali strutturali			91,8
Quantità di materiale riciclabile - materiali non strutturali		14,0	

Fig. 43 | Percentuali dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati riutilizzabili o riciclabili – Melopee school

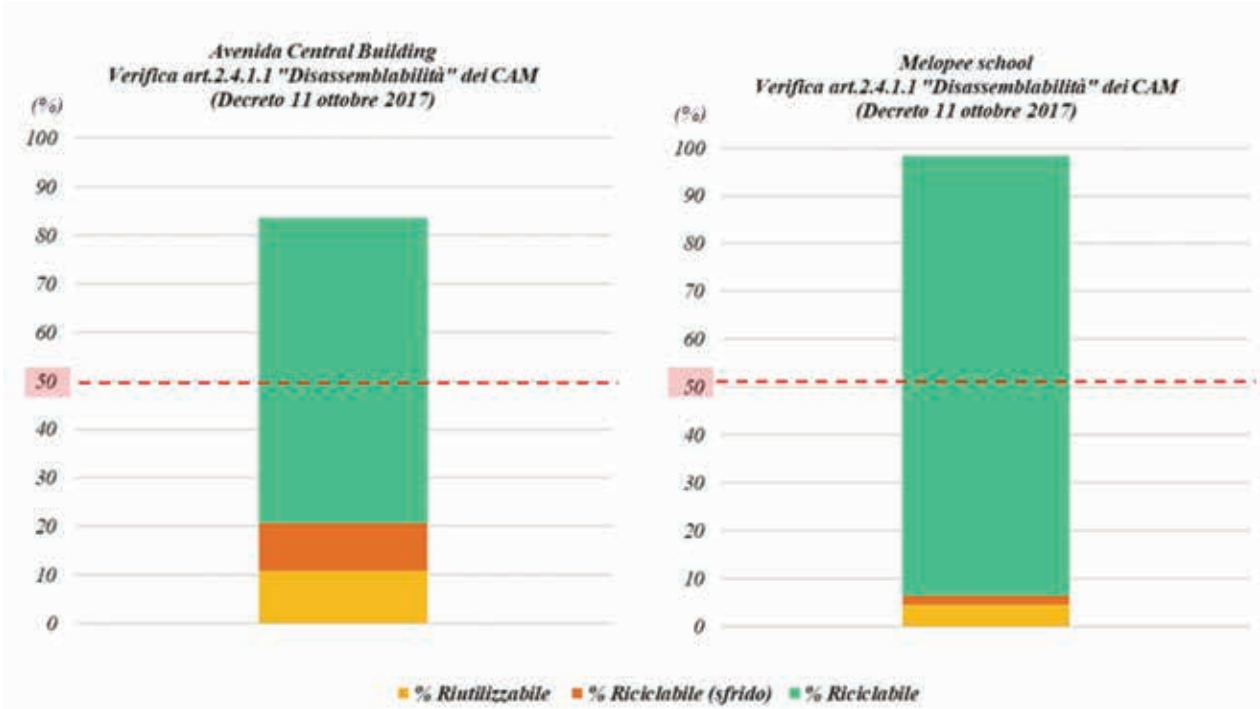


Fig. 44 | Raggiungimento del 50%, in peso, dei componenti strutturali, riutilizzabili o riciclabili (decreto CAM)

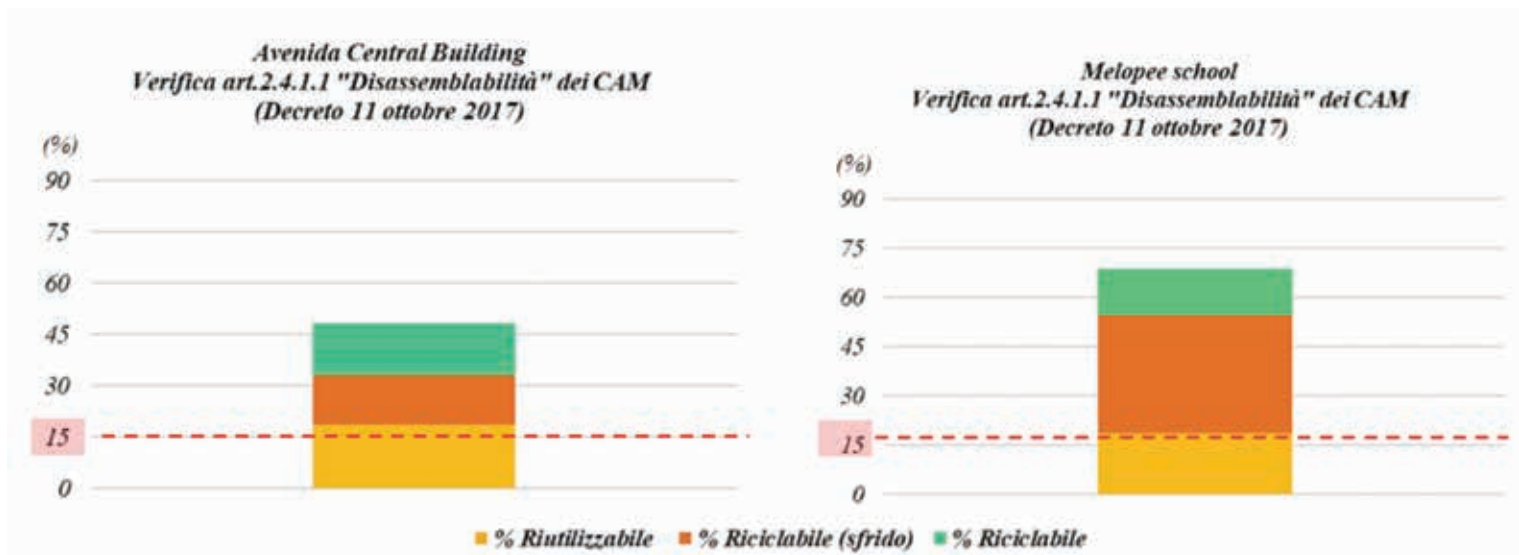


Fig. 45 | Raggiungimento del 15%, in peso, dei componenti non strutturali, riutilizzabili o riciclabili (decreto CAM)

Come è possibile osservare dalla figura 44, entrambi i casi studio superano la soglia minima del 50% in peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati riciclabili o riutilizzabili e la soglia minima del 15% in peso, calcolata rispetto alla percentuale precedente, dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati non strutturali riciclabili o riutilizzabili. In particolare, il caso studio Avenida Central Building ha raggiunto una percentuale in peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati riciclabili o riutilizzabili pari all'83,5%, inferiore alla percentuale raggiunta dal caso studio Melopee school, quest'ultima pari al 98,2%. Come è possibile osservare dalla figura 45, il caso studio Avenida Central Building, nonostante la minore percentuale in peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati riciclabili o riutilizzabili, rispetto al caso studio Melopee school, è quello che si comporta meglio dal punto di vista della disassemblabilità. Esso presenta infatti una percentuale di materiale riutilizzabile pari al 10,9%, superiore alla percentuale di materiale riutilizzabile del caso studio Melopee school, pari al 4,5% (figura 40 e 41). L'elevata percentuale di materiale riutilizzabile è dovuta alla presenza di una struttura portante assemblata "a secco", un involucro stratificato "a secco" e partizioni orizzontali caratterizzate da solai compositi con lamiera grecata e caldana in calcestruzzo, la quale ha comportato, attraverso una riduzione dei volumi di calcestruzzo, un abbattimento, sul totale di rifiuti generati, della percentuale di materiale riciclabile. Per entrambi i casi studio, inoltre, la percentuale di materiale riutilizzabile è governata dagli elementi in acciaio della struttura di elevazione e delle partizioni esterne verticali e inclinate (82%) (figura 46).

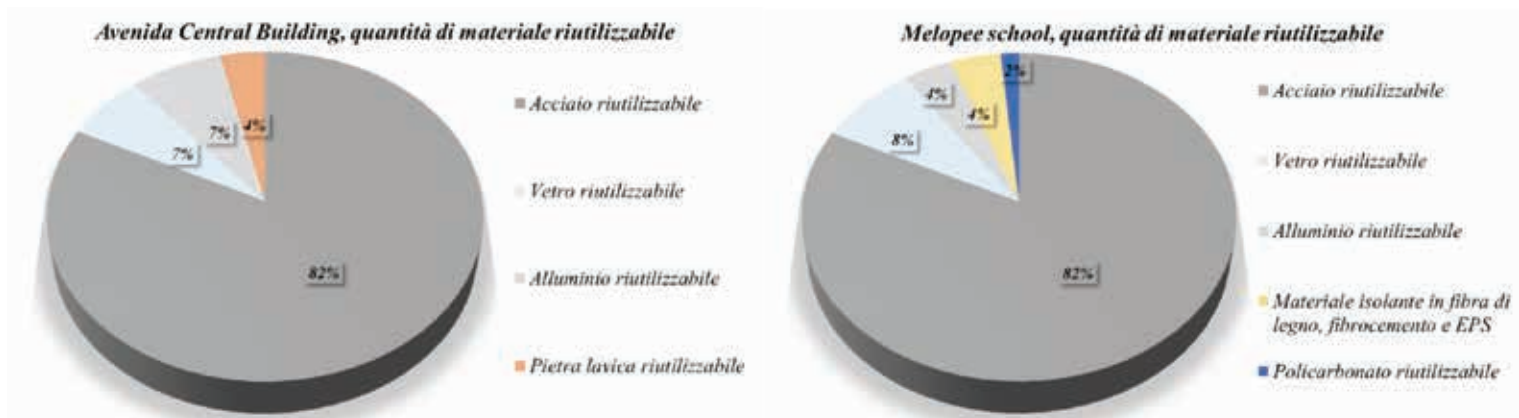


Fig. 46 | Quantità di materiale riutilizzabile

Il caso studio Melopee school, nonostante la maggiore percentuale in peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati riciclabili o riutilizzabili, rispetto al caso studio Avenida Central Building, è quello che si comporta peggio dal punto di vista della disassemblabilità. Esso presenta infatti una percentuale di materiale riciclabile pari al 91,8% di gran lunga superiore alla percentuale di materiale riciclabile del caso Avenida Central Building, pari al 62,8%. Ciò è dovuto all'elevatissima quantità di cemento e calcestruzzo delle chiusure orizzontali, inferiori e superiori, e delle partizioni interne orizzontali, le quali sono caratterizzate da solai tradizionali in calcestruzzo

gettati in opera aventi spessori fino a 45 cm. La percentuale di materiale riciclabile è infatti governata per il 96% da calcestruzzo e cemento (figura 40), la quale ha contribuito all'abbattimento della percentuale di materiale riutilizzabile. Di seguito, per entrambi i casi studio, sono riportate le tipologie di materiale riciclabile (figura 47).

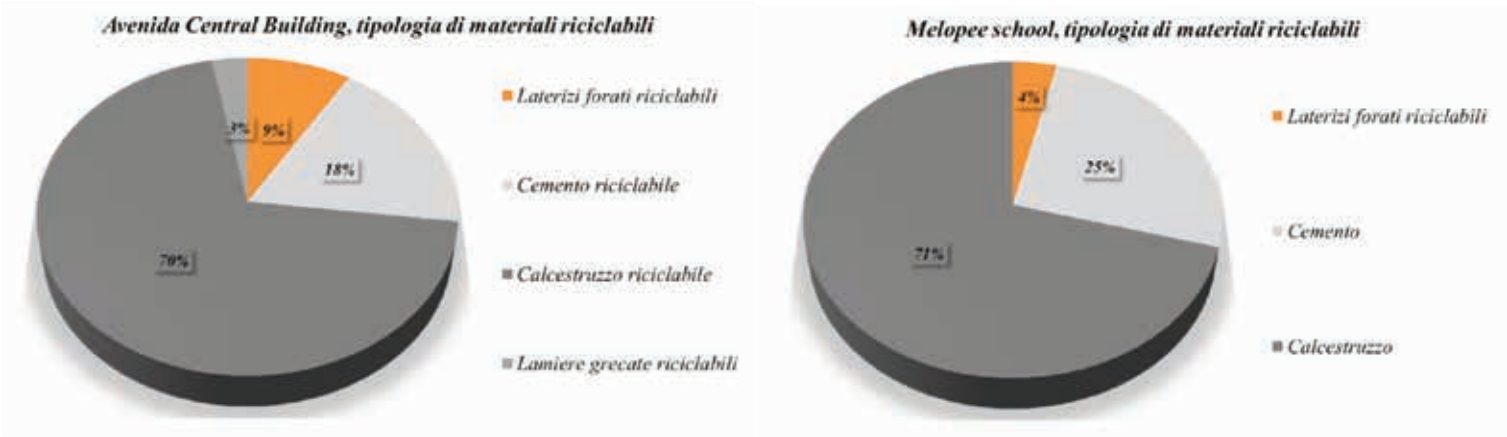


Fig. 47 | Quantità di materiale riciclabile

Valutazione del livello di disassemblabilità, Avenida Central Building

I punteggi (LID) ottenuti attraverso l'applicazione del metodo sperimentale integrato, espressi in percentuale, ed i punteggi (LID) ottenuti attraverso l'applicazione del metodo UNI (11277:2008), espressi dapprima in unità e successivamente convertiti in percentuale, al fine di confrontare i punteggi ottenuti dall'applicazione dei due metodi, sono di seguito elencati e messi a confronto per ciascuna unità tecnologica del caso studio Avenida Central Building.

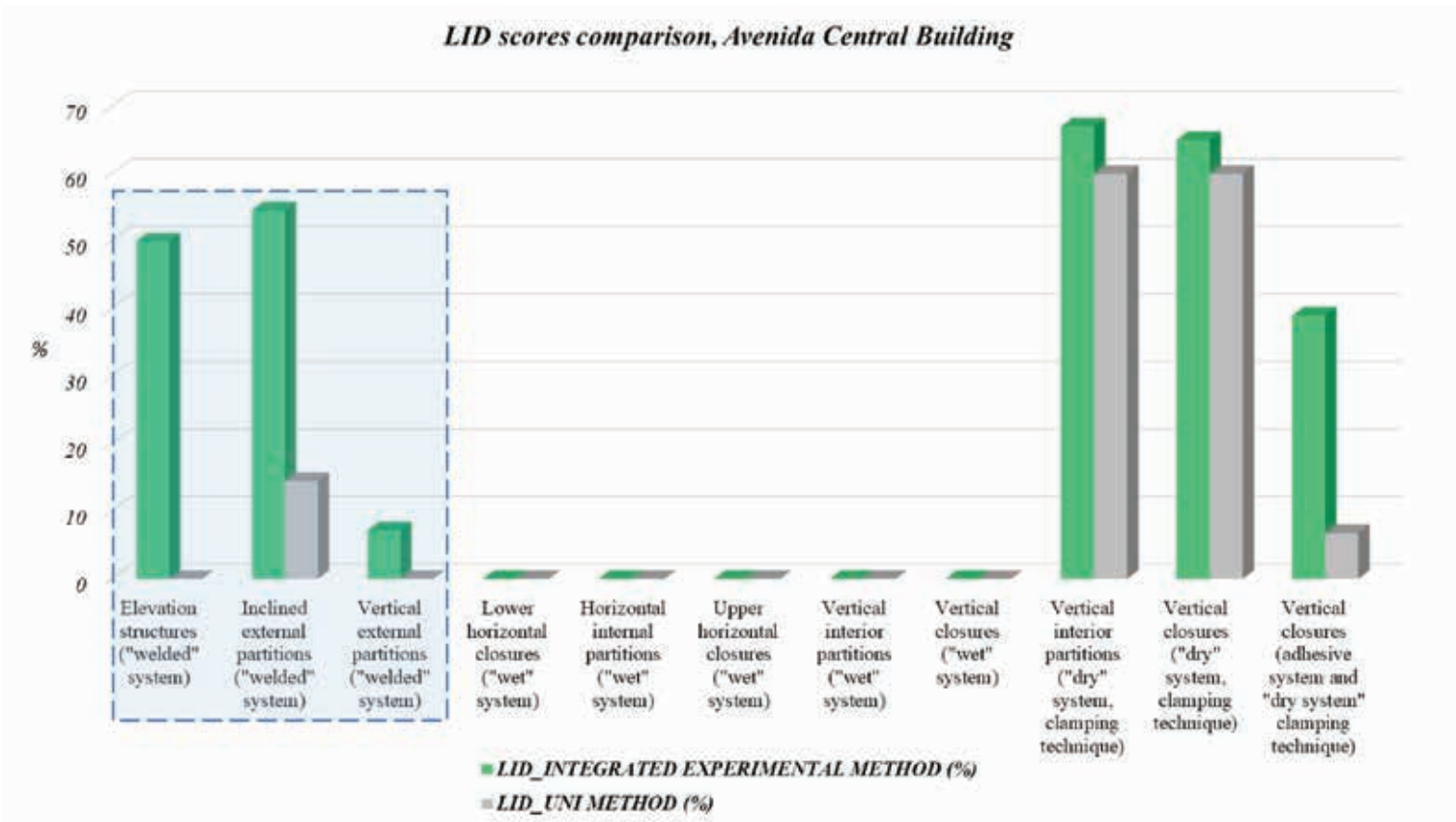


Fig. 48 | Punteggi LID a confronto. Caso studio: Avenida Central Building (strutture di elevazione, partizioni esterne inclinate e partizioni esterne verticali)

Come è possibile osservare dalla figura 48, l'applicazione del Metodo UNI a sistemi “saldati” comporta una fortissima sottostima del re-

cupero degli elementi in acciaio “saldati” della struttura di elevazione, delle partizioni esterne inclinate e delle partizioni esterne verticali.

Il Metodo UNI associa infatti un punteggio nullo a materiali prevalenti caratterizzati da saldature autogene ed eterogene. L’assegnazione di un punteggio nullo alle saldature conferma la volontà della norma di valutare esclusivamente la facilità di separazione di un materiale appartenente ad un elemento tecnico o ad un’unità tecnologica, trascurando così le fasi successive alla fase di smontaggio e che precedono la reimmissione dei materiali nel ciclo produttivo. Le partizioni esterne inclinate), invece, presentano un punteggio leggermente superiore a zero (14,5%), per la presenza di gradini e pianerottoli in acciaio connessi alle travi sagomate a ginocchio della struttura portante attraverso unioni bullonate, alle quali il Metodo UNI associa un punteggio pari a 3 (60%).

L’applicazione del Metodo sperimentale integrato, invece, consente il superamento dell’inefficacia e dell’approssimazione del metodo UNI, attraverso l’introduzione di una percentuale di riutilizzabilità, seppur bassa, per i sistemi saldati (40%), la quale consente di tener conto della possibilità di recuperare elementi in acciaio saldati attraverso tagli al plasma manuali effettuati in loco e successive attività di trasformazione, eseguite presso un centro di trasformazione, con conseguente raggiungimento dei requisiti prestazionali e progettuali. Il punteggio complessivo assegnato dal Metodo sperimentale integrato sale al 51,0% e 53,7% in quanto tiene conto dell’attuale mercato discreto per gli elementi in acciaio provenienti da processi di disassemblaggio e demolizione selettiva, caratterizzati tuttavia da un buon numero di progetti che hanno riutilizzato tali materiali con successo. Le partizioni esterne verticali, invece, presentano un punteggio molto basso (7,4%) per la presenza di pareti in vetromattone, corrispondenti ad un sistema “a umido” destinato ad operazioni di riciclo, le quali ricoprono l’87,2% del peso totale dell’unità tecnologica.

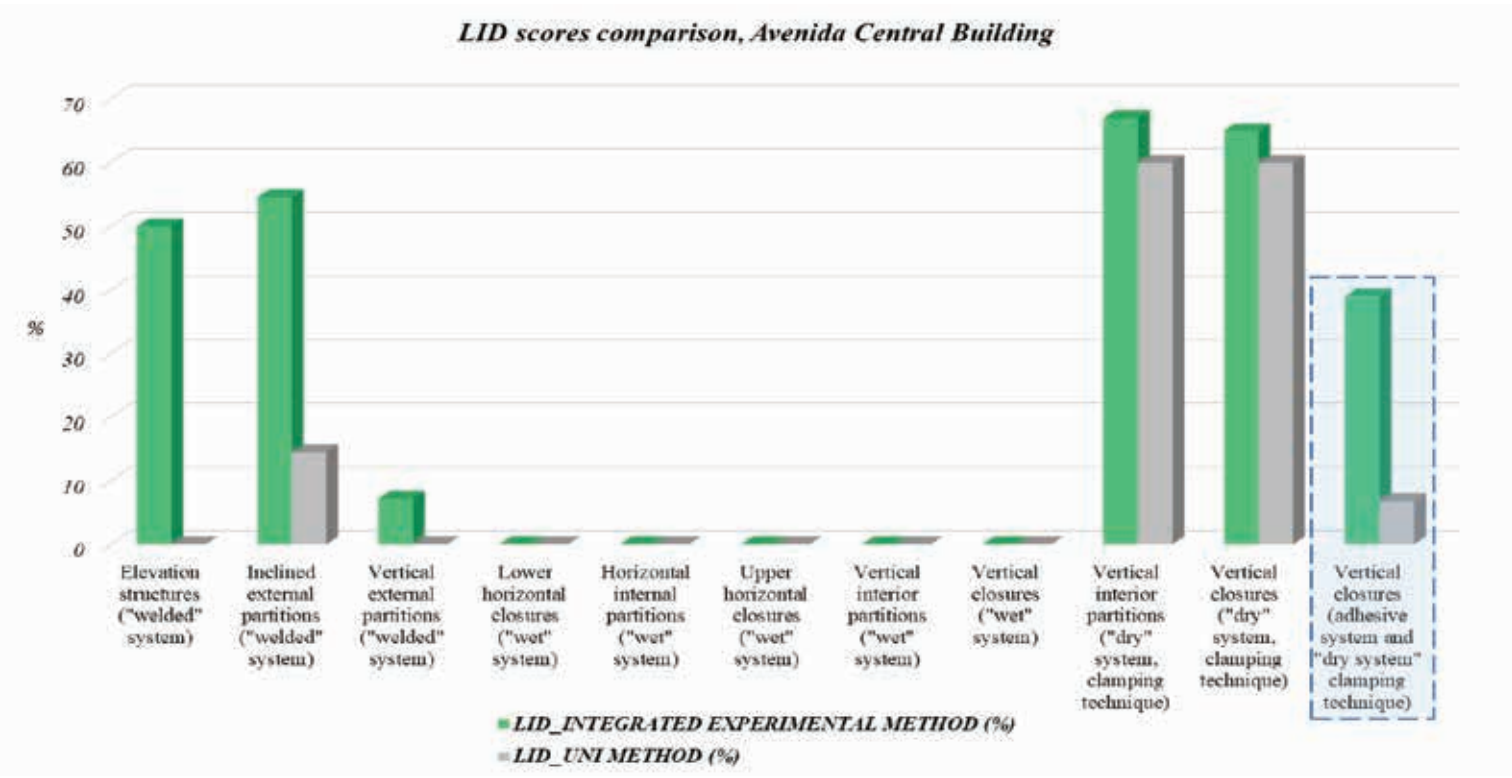


Fig. 49 | Punteggi LID a confronto: Avenida Central Building - chiusure verticali (sistema curtain wall)

Come è possibile osservare dal grafico in figura 49, l’applicazione del Metodo UNI a sistemi “adesivi” comporta una fortissima sottostima del recupero degli elementi, assemblati attraverso l’utilizzo di un “adesivo”, del sistema curtain wall delle chiusure verticali. Il Metodo UNI associa infatti un punteggio nullo a materiali prevalenti caratterizzati da adesivi a fusione, a reazione chimica o ad evaporazione. Il punteggio complessivo assegnato dal Metodo UNI sale al 6,8% per la presenza dell’intelaiatura metallica (sistema di piastre e di profili in alluminio sagomati a freddo, verticali e orizzontali) collegata alla struttura di elevazione attraverso avvitature e rivettature. L’applicazione del Metodo sperimentale integrato, invece, consente il superamento dell’inefficacia e dell’approssimazione del metodo UNI, attraverso l’introduzione di una percentuale di riutilizzabilità, seppur bassa, per i sistemi adesivi (20%), la quale consente di tener conto della possibilità di recuperare, anche in piccole quantità, i pannelli del sistema curtain wall attraverso l’utilizzo di tirachiodi o utensili manuali. Il punteggio complessivo assegnato dal Metodo sperimentale integrato sale al 36,6% per la presenza dell’intelaiatura metallica (sistema di piastre e di profili in alluminio sagomati a freddo, verticali e orizzontali) collegata alla struttura di elevazione attraverso avvitature e rivettature.

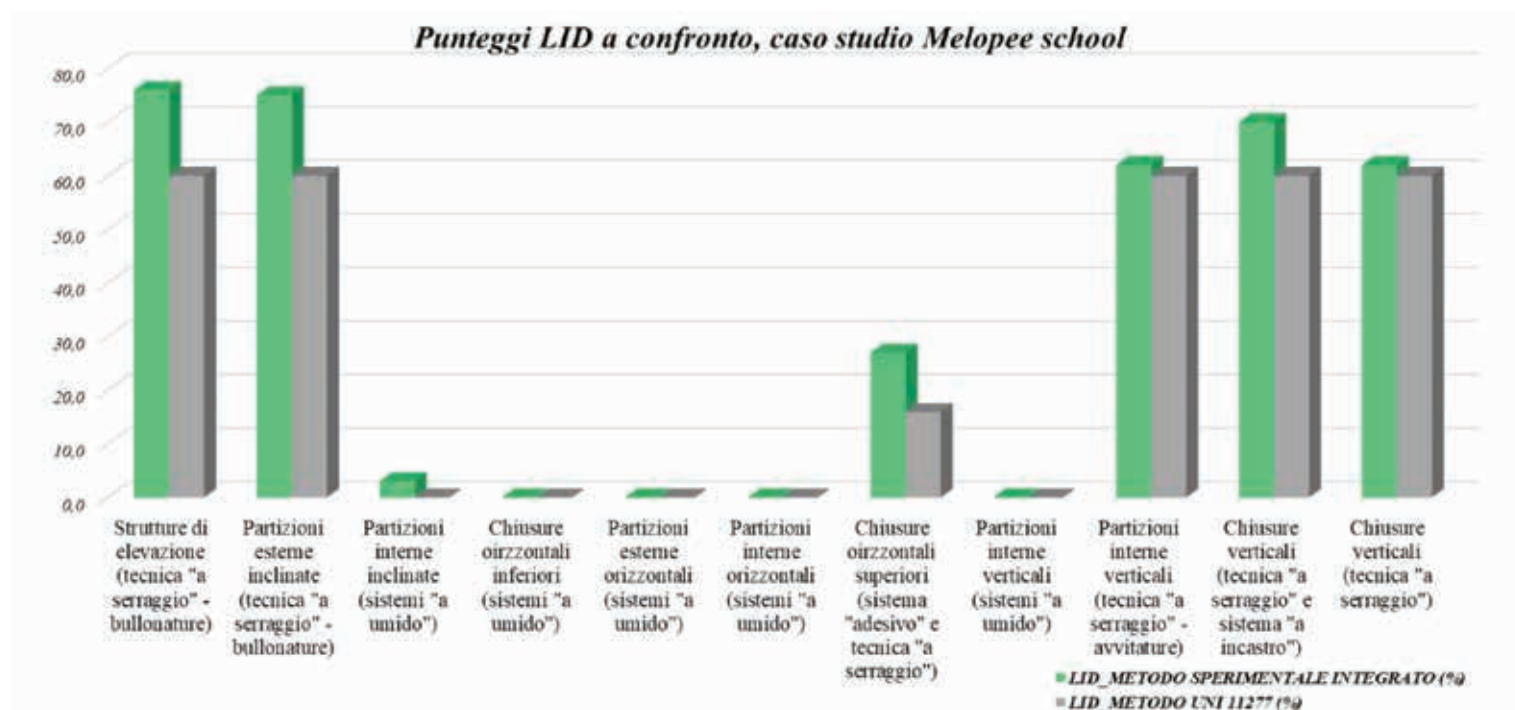


Fig. 50 | Punteggi LID a confronto: Melopee school - strutture di elevazione, partizioni esterne inclinate e partizioni esterne verticali

Come è possibile osservare dal grafico in figura 50, l'applicazione del Metodo UNI a sistemi "bullonati" comporta una sottostima del recupero degli elementi in acciaio "bullonati" della struttura di elevazione e delle partizioni esterne inclinate. Il Metodo UNI associa infatti un punteggio pari a 3 (60%) a materiali prevalenti caratterizzati da bullonature. L'assegnazione di un punteggio pari a 3 (60%) a qualsiasi tipologia di sistema assemblato a secco con tecnica "a serraggio" (bullonature, chiodature, avvitature, rivettature), oltre a trascurare la maggiore facilità di smontaggio e la minor percentuale di danno arrecata al materiale che si ha nel caso di unioni bullonate, comporta un appiattimento dei risultati, i quali restano invariati (60%) anche al variare della tipologia di connessione (bullonature, chiodature, avvitature, rivettature). L'applicazione del Metodo sperimentale integrato consente il superamento dell'inefficacia e dell'approssimazione del metodo UNI, attraverso l'introduzione di una percentuale di riutilizzabilità massima per i sistemi bullonati facilmente accessibili (100%). Il punteggio complessivo assegnato dal Metodo sperimentale integrato scende al 76%, per la struttura di elevazione, e al 75%, per le partizioni esterne inclinate, in quanto tiene conto della perdita di materiale in seguito al taglio di porzioni di materiale forato, presso centri di trasformazione, e dell'attuale mercato discreto per gli elementi in acciaio provenienti da processi di disassemblaggio e demolizione selettiva, caratterizzati tuttavia da un buon numero di progetti che hanno riutilizzato tali materiali con successo.

CONCLUSIONI

La ricerca è stata finalizzata a mitigare l'impatto derivante dalla fase di fine vita della costruzione, agendo sui benefici derivanti dal disassemblaggio dell'organismo edilizio. È il principio della Costruzione Snella, o Lean Construction, processo che mira rendere circolare il percorso di dismissione, adottando una strategia progettuale preventiva, finalizzata al riutilizzo dei componenti per successivi cicli di vita.

Tale approccio ha tenuto conto della vigente normativa italiana in materia di sostenibilità energetica e ambientale (decreto CAM edilizia), con particolare riferimento all'obbligo di elaborazione del piano di disassemblaggio e demolizione selettiva (art.2.3.7 del decreto 11/10/2017).

L'approfondimento normativo nell'ambito della disassemblabilità dei sistemi tecnologici ha, altresì, evidenziato criticità dell'attuale metodologia disponibile (Metodo UNI 11277:2008), che si è cercato di risolvere implementando il metodo esistente mediante la definizione di un Metodo sperimentale integrato, in termini di determinazione più capillare del livello di disassemblabilità di un materiale prevalente o di un'unità tecnologica. In primo luogo, il metodo UNI sottostima il recupero di elementi in acciaio "saldati", poiché assegna un punteggio nullo a tali sistemi; di contro il metodo sperimentale integrato assegna un punteggio pari al 40% ai sistemi "saldati", poiché tiene in conto la possibilità di tagliare in loco gli elementi in acciaio saldati e sottoporli ad attività di trasformazione prima di reimmetterli sul mercato. Ed ancora, il metodo UNI sottostima il recupero di elementi incollati, assegnando loro un punteggio nullo; di contro, il metodo sperimentale integrale assegna un punteggio, seppur basso (20%), ai sistemi "adesivi", valutando la possibilità di smontare elementi incollati attraverso l'utilizzo di tirachiodi o utensili manuali.

Dunque, il metodo UNI risulta effettuare un appiattimento dei risultati, causato dall'assegnazione dello stesso punteggio (60%) a qualsiasi sistema assemblato a secco (incastri a scatto, bullonature, avvitature, rivettature, chiodature); mentre, il metodo sperimentale integrato si avvale di una assegnazione di punteggi differenziata a bullonature e incastri a scatto (100%), avvitature (80%), rivettature e chiodature (60%) in funzione della facilità di smontaggio e del danno arrecato al materiale. Tale appiattimento dei risultati è dovuto anche all'assegnazione di un punteggio indipendentemente dalle caratteristiche prestazionali, estetiche e dimensionali del materiale da recuperare che, invece, non avviene nel metodo sperimentale integrato, in quanto quest'ultimo assegna un punteggio in funzione della natura del materiale e delle caratteristiche prestazionali, estetiche e dimensionali, le quali posso influire sulla potenzialità di rivendita del materiale e sulla reale reintroduzione del materiale all'interno del ciclo produttivo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile. ONU, 25 settembre 2015
- [2] Il Green Deal Europeo. Comunicazione della commissione al Parlamento europeo al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni
- [3] L'anello mancante – Piano d'azione dell'Unione Europea per l'economia circolare. Comunicazione della commissione al Parlamento europeo al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni
- [4] BS EN 15978:2011. Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method
- [5] BS EN 15804: 2012 + A1: 2013. Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products
- [6] Decreto dell'11 ottobre 2017. “Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici”
- [7] Sicignano, Enrico & Di Ruocco, Giacomo & Melella, Roberta. (2019). Mitigation Strategies for Reduction of Embodied Energy and Carbon, in the Construction Systems of Contemporary Quality Architecture
- [8] Sicignano, Enrico & Di Ruocco, Giacomo & Melella, Roberta. (2019). Disassemblability's quantitative assessment of a neighborhood reconstruction project in the province of Salerno
- [9] De Wolf, Catherine & Brütting, Jan & Fivet, Corentin. (2018). Embodied Carbon Benefits of Reusing Structural Components in the Built Environment
- [10] Denis, Francois & Vandervaeren, Camille & Temmerman, Niels. (2018). Using Network Analysis and BIM to Quantify the Impact of Design for Disassembly
- [11] UNI 8290-1:1981. Edilizia residenziale – Sistema tecnologico – Classificazione e terminologia
- [12] UNI 11277:2008. Sostenibilità in edilizia - Esigenze e requisiti di eco compatibilità dei progetti di edifici residenziali e assimilabili, uffici e assimilabili, di nuova edificazione e ristrutturazione
- [13] PROGRESS 2017-2020. Final report
- [14] Fattore di emissione per la produzione ed il consumo di elettricità in Italia. ISPRA
- [15] Fattore di emissioni per la produzione ed il consumo di Diesel. GHG information for transport services
- [16] PROGRESS 2017-2020. Provisions for Greater Reuse of Steel Structures
- [17] Hradil, Petr & Talja, Asko & Ungureanu, Viorel & Koukkari, Heli & Fülöp, Ludovic. (2017). Reusability indicator for steel-framed buildings and application for an industrial hall
- [18] DECISIONE DELLA COMMISSIONE del 18 dicembre 2014 - modifica della decisione 2000/532/CE relativa all'elenco dei rifiuti ai sensi della direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio
- [19] SICURNET.2. Ministero delle infrastrutture e dei trasporti pubblici. Consiglio superiore dei lavori pubblici. Servizio tecnico centrale
- [20] Guidelines for storage and handling BlueScope's Steel's products
- [21] The British Steel Transport & Logistics Operations manual
- [22] Valutazione del ciclo di vita (LCA) per l'acciaio zincato a caldo. American Galvanizers Association

- [23] Mayer, Matan & Bechthold, Martin. (2018). Development of policy metrics for circularity assessment in building assemblies
- [24] Decostruzione e riuso. Procedure e tecniche di valorizzazione dei residui edilizi in Italia. Danila Longo. Alinea Editrice
- [25] Protocollo UE per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione. Settembre 2016
- [26] Orientamenti per le verifiche dei rifiuti prima dei lavori di demolizione e di ristrutturazione degli edifici. Gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione nell'UE. Maggio 2018
- [27] Interreg. North-West Europe. FCRBE – Facilitating the circulation of reclaimed building elements in Northwestern Europe
- [28] Steel building in Europe. Multi – storey steel building. Part 1: Architect's guide. ArcelorMittal
- [29] Progettazione di strutture composte acciaio – calcestruzzo. Promozione Acciaio



GIACOMO DI RUOCO

Architetto, dottore di ricerca, ricercatore, nel 2017 ha conseguito l'ASN come Professore di II fascia per il settore 08/C1 – Design e Progettazione Tecnologica dell'Architettura. Docente ai corsi di Architettura Tecnica e Organizzazione del Cantiere, presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Salerno. Docente in Master di II livello presso istituzioni universitarie nazionali ed internazionali. I suoi interessi riguardano la progettazione tecnologica sostenibile, valutazioni della sostenibilità delle costruzioni mediante approccio LCA, con particolare riferimento alla sperimentazione di soluzioni tecnologiche a basse emissioni di CO₂e. È autore di numerose pubblicazioni, articoli su libri, articoli su riviste scientifiche di classe A, e relatore ad invito in conferenze nazionali ed internazionali.



ROBERTA MELELLA

Ingegnere edile e dottoranda di ricerca in Rischio e sostenibilità nei sistemi di ingegneria civile, architettonica e ambientale ed esperto del settore scientifico ICAR/10 – Architettura Tecnica, presso l'Università degli Studi di Salerno. È autrice di numerosi articoli su riviste scientifiche e contributi in atti di conferenze internazionali, in particolare sulla sostenibilità del processo edilizio e sulle strategie di mitigazione delle pressioni ambientali.



ALFONSO SORVILLO

Ingegnere Edile-Architetto, vanta alcune esperienze in pubblicazioni, corsi universitari e workshop internazionali in materia di progettazione architettonica sostenibile.

Torre Gioia 22: progettazione e ottimizzazione della vela in acciaio

Gioia 22 tower: design and optimization of the steel top sail

Michele Capè*, Roberto Bertazzolo | *Studio Capè Ingegneria, Milano, Italia*

Torre Gioia 22 è l'edificio per uffici voluto da Coima SGR che, insieme alla Nuova Sede della Regione Lombardia, costituisce l'ingresso da via Melchiorra Gioia al quartiere direzionale di Porta Nuova. Il progetto si contraddistingue per un design architettonico dinamico con diverse peculiarità dal punto di vista strutturale in particolare legate alla presenza di colonne inclinate rispetto alla verticale per l'intera altezza dell'edificio. La torre è realizzata in calcestruzzo armato, precompresso nel caso degli orizzontamenti, ad eccezione della vela terminale realizzata in carpenteria metallica.

Gioia 22 tower is the office building by Coima SGR which, together with Nuova Sede Regione Lombardia, represents the main gate to Porta Nuova district from Melchiorre Gioia st. The project is characterized by a dynamic architectural design with relevant effects on the overall structural behaviour mainly due to the presence of columns inclined with respect to the vertical axis for all the building height. The tower is made by reinforced concrete, prestressed concrete for the ceiling, except for the top sail which is made in steel.



Fig. 1 | Vista di torre Gioia 22 dall'incrocio tra via Melchiorre Gioia e via Pirelli.

*Corresponding author. Email: m.cape@studiocapeingegneria.it

1. Progettazione e realizzazione di Torre Gioia 22

Torre Gioia 22 è l'edificio per uffici di nuova realizzazione sito in via Melchiorre Gioia, di fronte alla Nuova Sede Regione Lombardia, che rappresenta di fatto la porta d'ingresso principale al rinnovato distretto di Porta Nuova per chi giunge da Nord-Est. L'edificio sorge su idea di Coima SGR, attore protagonista nel processo di forte rinnovamento del nuovo Business District di Milano, con la regia architettonica di Gregg Jones dello studio Pelli Clark Pelli Associates di New York, risultato vincitore del concorso internazionale per la progettazione.

L'edificio ha un design architettonico dinamico che lo ha portato ad essere ribattezzato la "Scheggia di Vetro" a causa della sua particolare forma caratterizzata da un aumento della dimensione in pianta con la quota e dall'inclinazione delle colonne sul lato Sud-Ovest.

La torre è costituita da 4 piani interrati e 25 fuori terra per uno sviluppo complessivo di circa 120 m. È realizzata nella quasi totalità in calcestruzzo armato, precompresso per i solai, ad eccezione della vela terminale composta interamente da carpenteria metallica.

La realizzazione delle strutture ha rappresentato molti aspetti di elevata complessità, sia per la cantierizzazione di tutti i processi all'interno di un'area fortemente urbanizzata come quella di Milano, sia per le tempistiche serrate, considerando che le strutture sono state iniziate e poi completate in larga misura tra l'inizio del 2019 e l'inizio del 2020.

Tutto ciò è stato reso possibile, da un lato, da una costante analisi ingegneristica condotta parallelamente alle fasi di costruzione sia per l'ottimizzazione dei processi che per la verifica degli output provenienti dal cantiere e, dall'altro, dalla ben consolidata interazione tra Studio Capè Ingegneria (progettista costruttivo delle strutture) e Colombo Costruzioni (General Contractor dell'intero progetto), squadra già messa positivamente alla prova in altre realizzazioni importanti tra le quali importanti progetti sia a Porta Nuova che a City Life.

2. La vela

La vela terminale dell'edificio, così come in altre realizzazioni analoghe quali ad esempio le torri Hadid e Libeskind a City Life o le torri Unicredit e Unipol a Porta Nuova, rappresenta un elemento cardine e caratterizzante della torre.

Nel caso particolare di Gioia 22, la vela, per un totale di 320 t di acciaio, si innesta per metà sul solaio L24 e per metà sul solaio L25 (quest'ultimo realizzato in parte in calcestruzzo armato e in parte in carpenteria metallica), con colonne in acciaio che raggiungono i 17 m di altezza.

Da un punto di vista strutturale, gli aspetti più significati da affrontare sono stati: 1) l'interazione vento-struttura, 2) gli effetti dovuti ai gradienti termici e 3) le sollecitazioni indotte dalla Building Maintenance Unit (BMU).

Si evidenzia, in particolare, l'importanza degli effetti dovuti ai gradienti termici, significativi a causa della mancanza di una schermatura della struttura nei confronti dei raggi solari e dell'impossibilità di adottare un sistema pendolare per le colonne. Tale aspetto ha comportato la necessità di progettare adeguati giunti di dilatazione termica, al fine di evitare concentrazioni di sollecitazione.

3. Modellazione BIM e FEM

Nel contesto appena descritto, diviene fondamentale l'utilizzo di strumenti ormai essenziali quali l'approccio basato sul Building Information Modelling (BIM), necessario per il coordinamento con le altre discipline coinvolte quali progettisti architettonici, impiantistici e delle facciate, nonché per il controllo dell'output dal cantiere per il quale è stato adottato in parallelo il sistema a nuvole di punti. Nelle figure 3 e 4 si mostrano il modello BIM strutturale della vela e la sua sovrapposizione con la nuvola di punti rilevata in sito. In figura 5 è rappresentato lo studio delle interferenze della BMU con la struttura della vela.

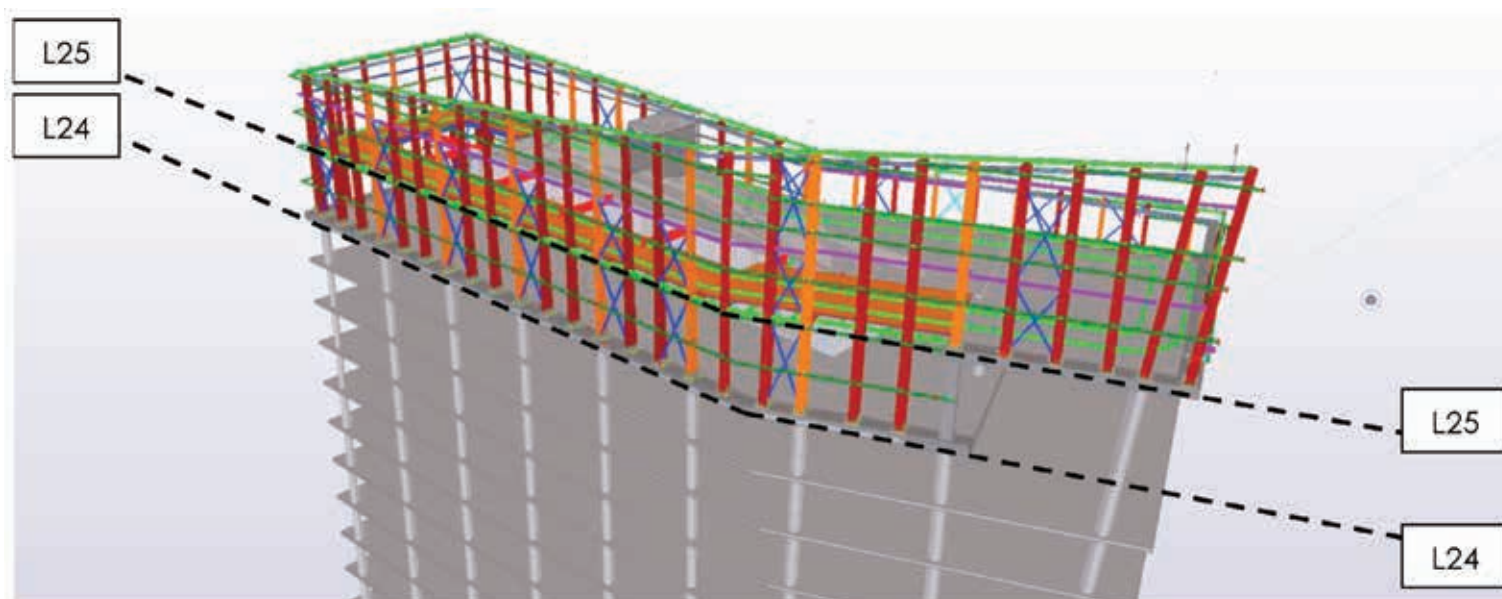


Fig. 2 | Modello BIM della copertura metallica (realizzato con Tekla Structures).

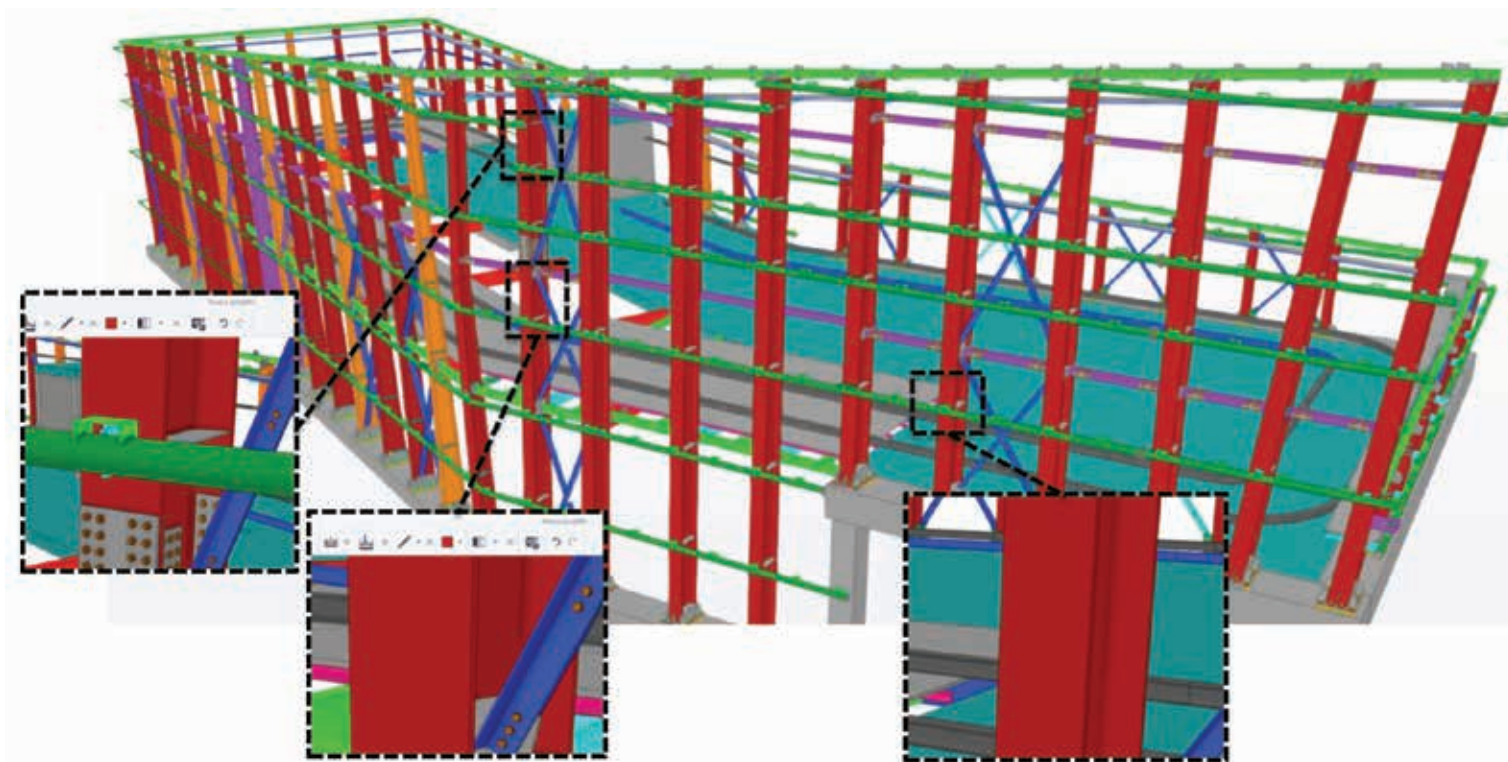


Fig. 3 | Modellazione BIM della vela in carpenteria metallica con sviluppo di tutti i nodi e giunti.

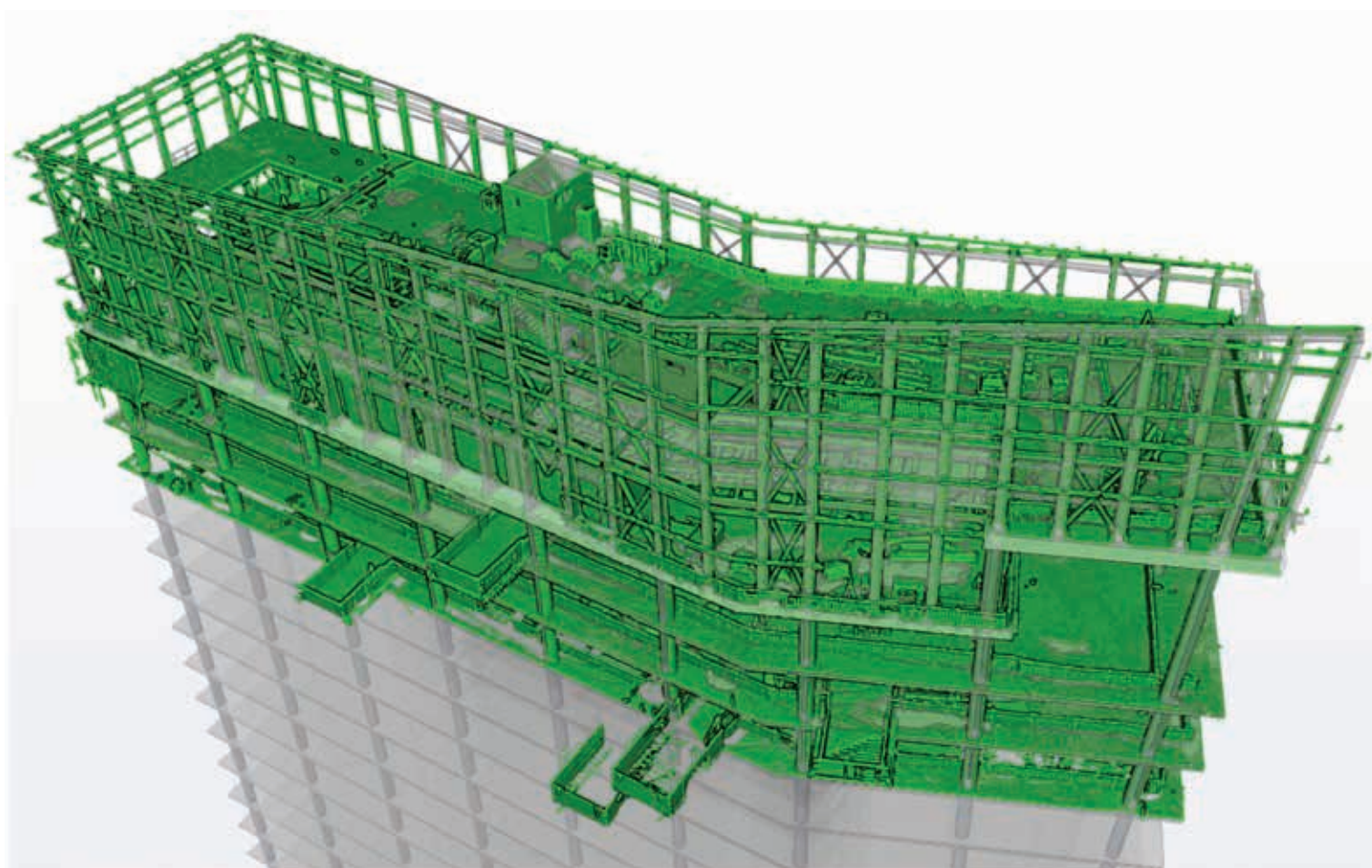


Fig. 4 | Sovrapposizione del modello BIM strutturale con nuvola di punti rilevata in sito.

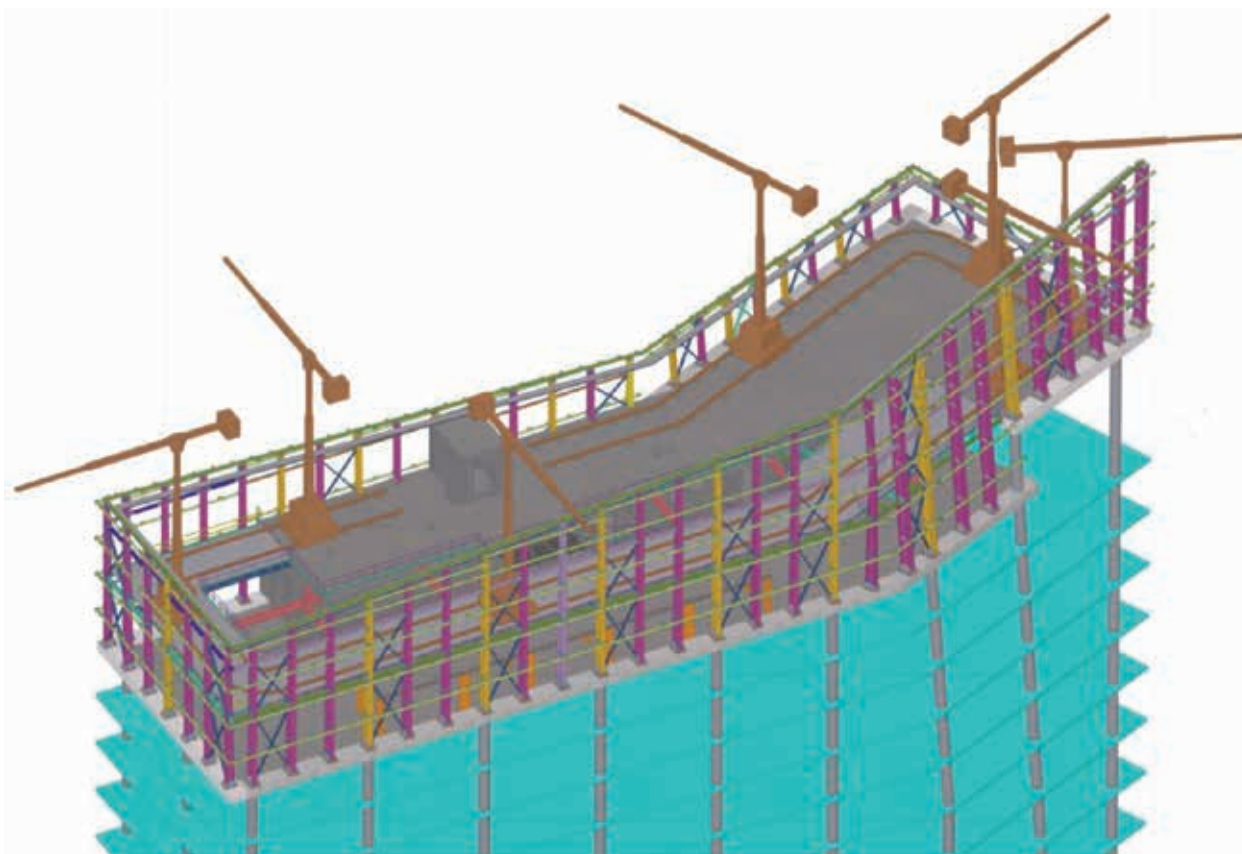


Fig. 5 | Modello BIM e analisi delle interferenze della BMU con la struttura.

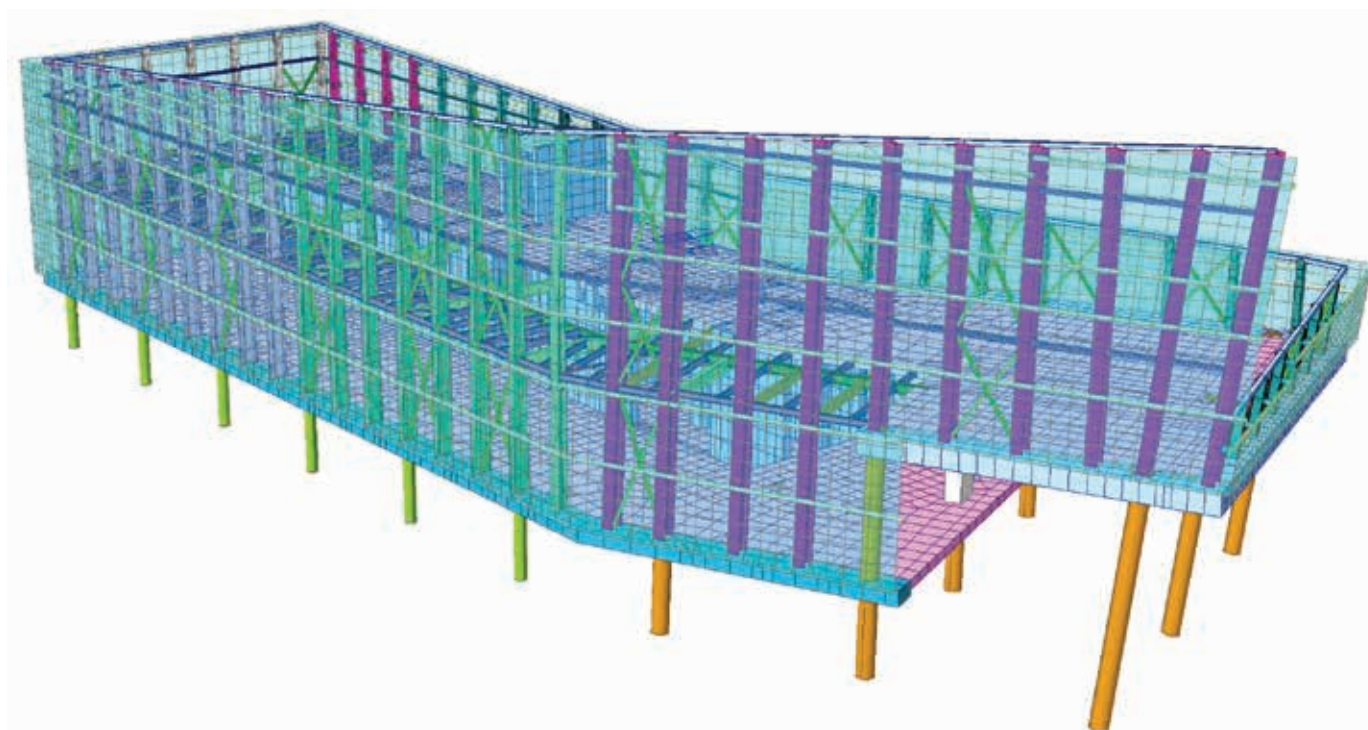


Fig. 6 | Implementazione su Midas Gen del modello della vela della torre.

Il modello BIM ha inoltre permesso la rapida implementazione del modello ad elementi finiti per le analisi strutturali su ambiente Midas. Nel caso particolare dello studio della vela, la modellazione implementata in Midas ha riguardato i livelli al di sopra dell'L23 al

fine di descrivere compiutamente il vincolo alla base delle colonne in acciaio, rappresentato dal solaio in calcestruzzo armato dei livelli L24 e L25. Essendo le colonne in falso su solai in calcestruzzo armato, infatti, l'effetto della rigidità di quest'ultimi diviene

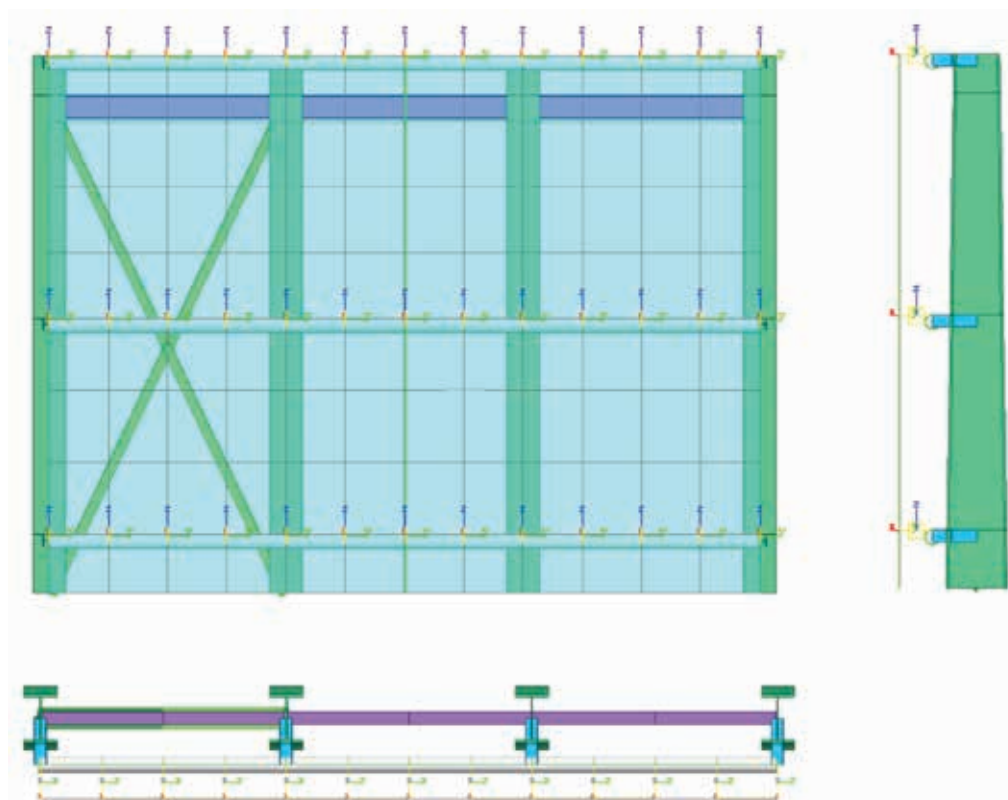


Fig. 7 | Pianta, prospetto e sezione della facciata vetrata implementata in Midas Gen.

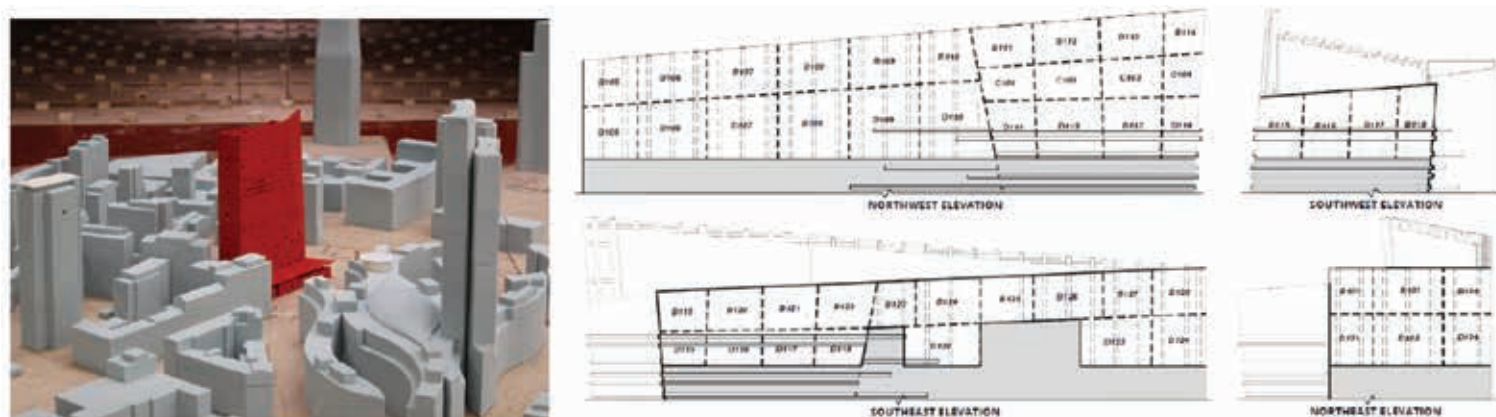


Fig. 8 | Plastico per lo studio in galleria del vento e zonazione delle aree di pressione sulla copertura (immagine tratte dallo studio effettuato da RWDI per conto di Coima SGR nella fase di progettazione esecutiva).

significativa.

Particolare attenzione è stata dedicata alla progettazione dei giunti di dilatazione termica e alla relativa implementazione degli svincoli corrispondenti nel modello. Tale approccio progettuale ha permesso la forte riduzione delle sollecitazioni nei profili, e quindi la loro ottimizzazione. Informazioni sulla modellazione globale della torre sono invece riportati in [1].

4. Analisi ed ottimizzazione strutturale

Partendo dal modello ad elementi finiti implementato in Midas, sono stati applicati i carichi agenti che, come in parte anticipato, sono di 4 tipologie, ovvero i carichi gravitazionali, la pressione del vento, il carico mobile dovuto alla BMU e il gradiente termico. La pressione del vento è stata valutata tramite analisi in galleria del vento da RWDI su commissione di Coima SGR nella fase di progettazione esecutiva sviluppata da MSC Associati. Lo studio ha permesso la determinazione della pressione cinetica del vento

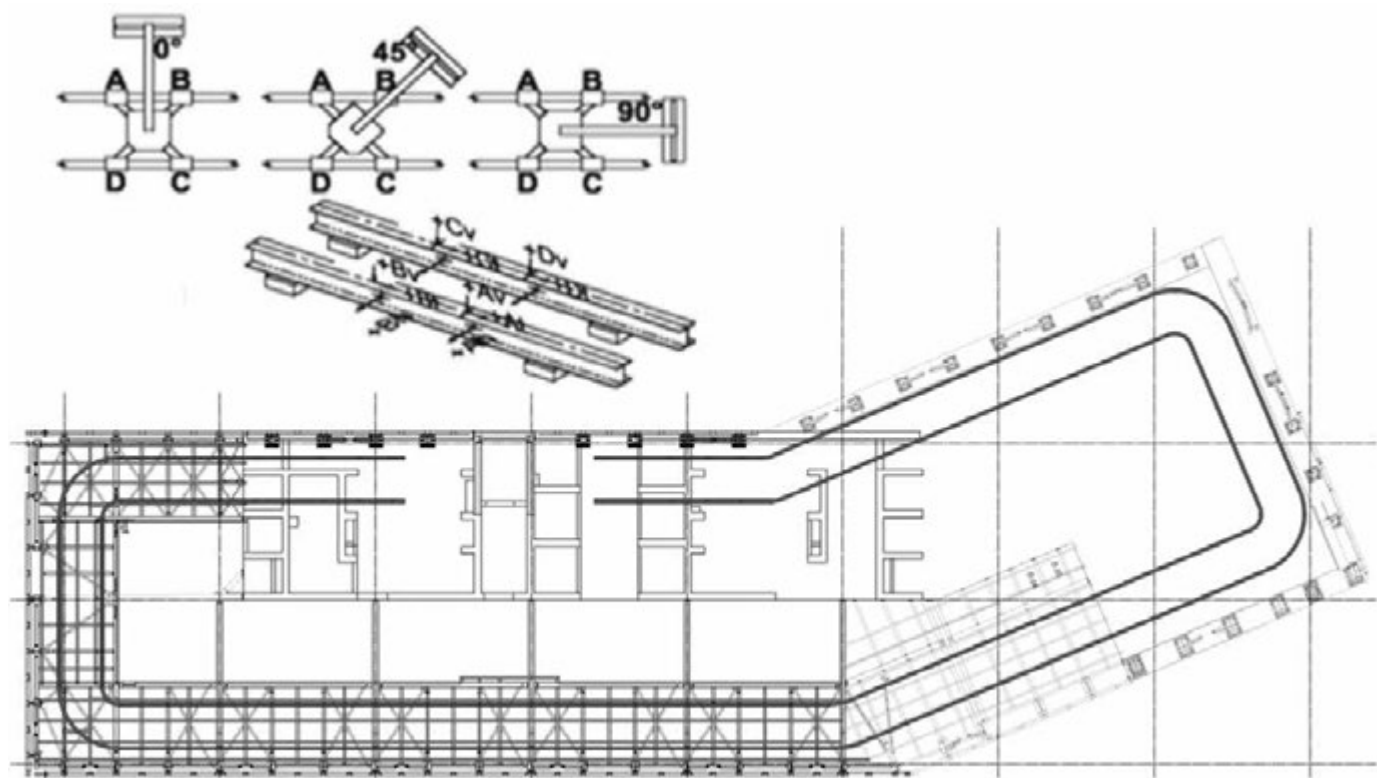


Fig. 9 | Vista in pianta del livello L25 e indicazione dei binari, e codifica appoggi della BMU.

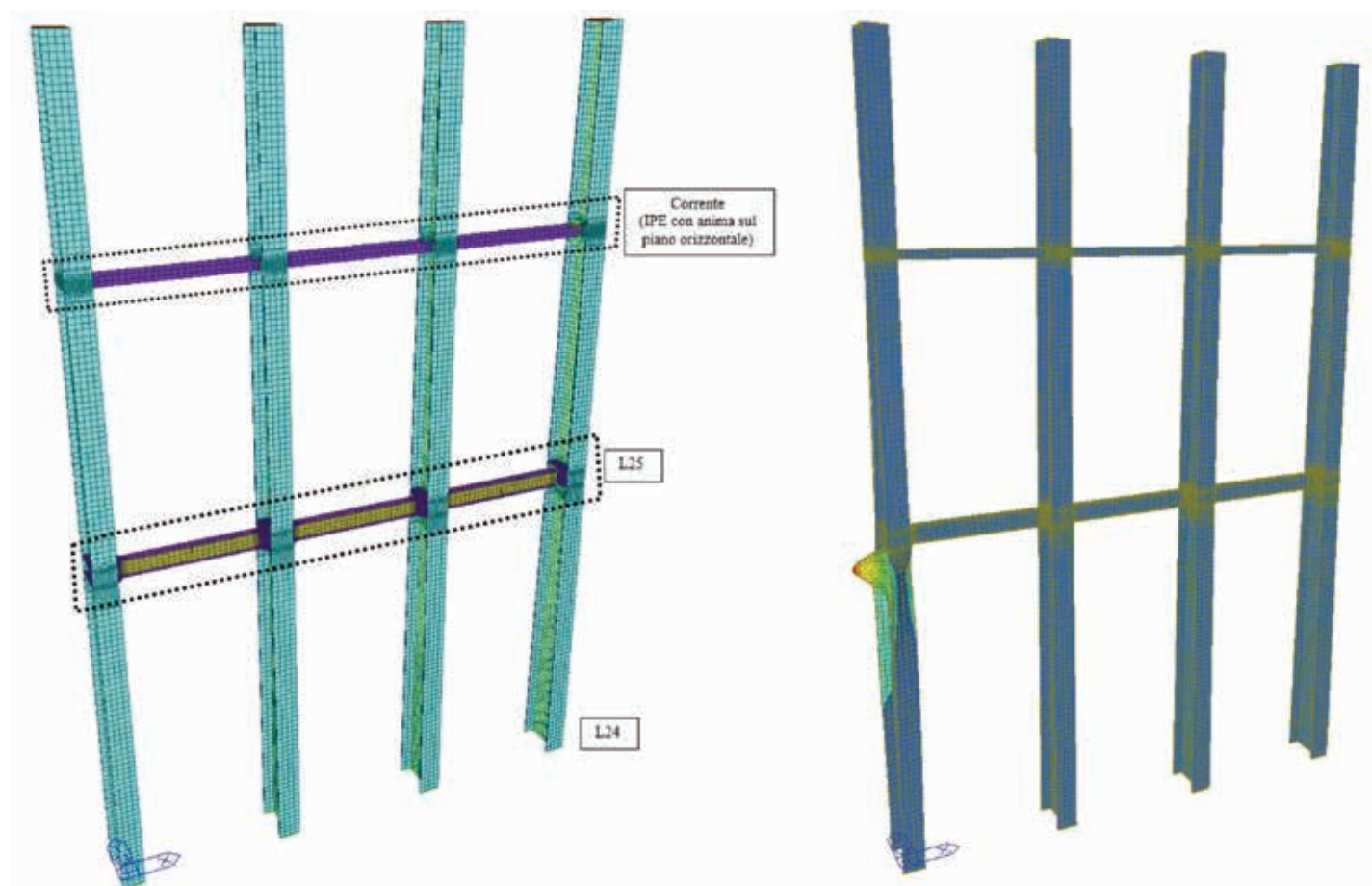


Fig. 10 | Tipico sottosistema per analisi di Buckling.

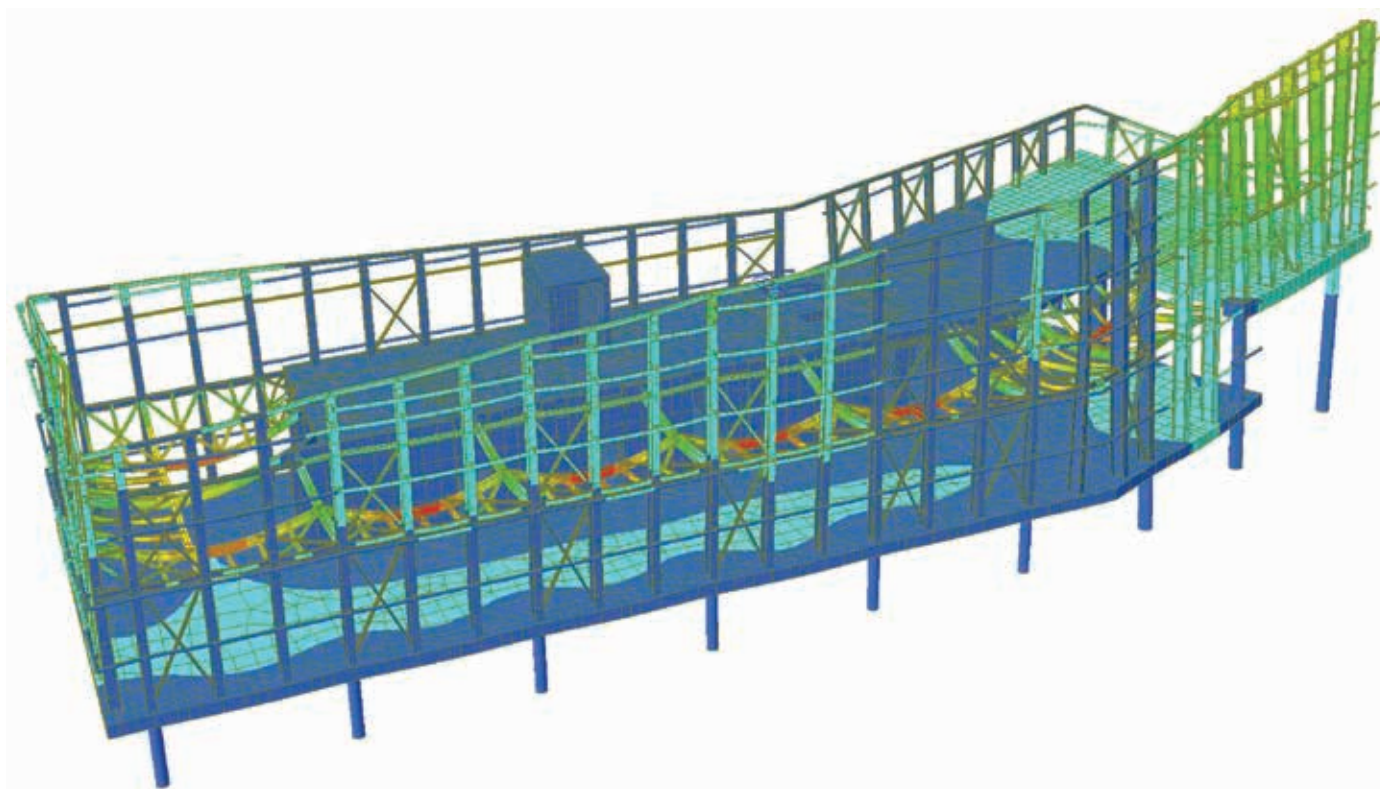


Fig. 11 | Andamento qualitativo della deformata per carichi verticali

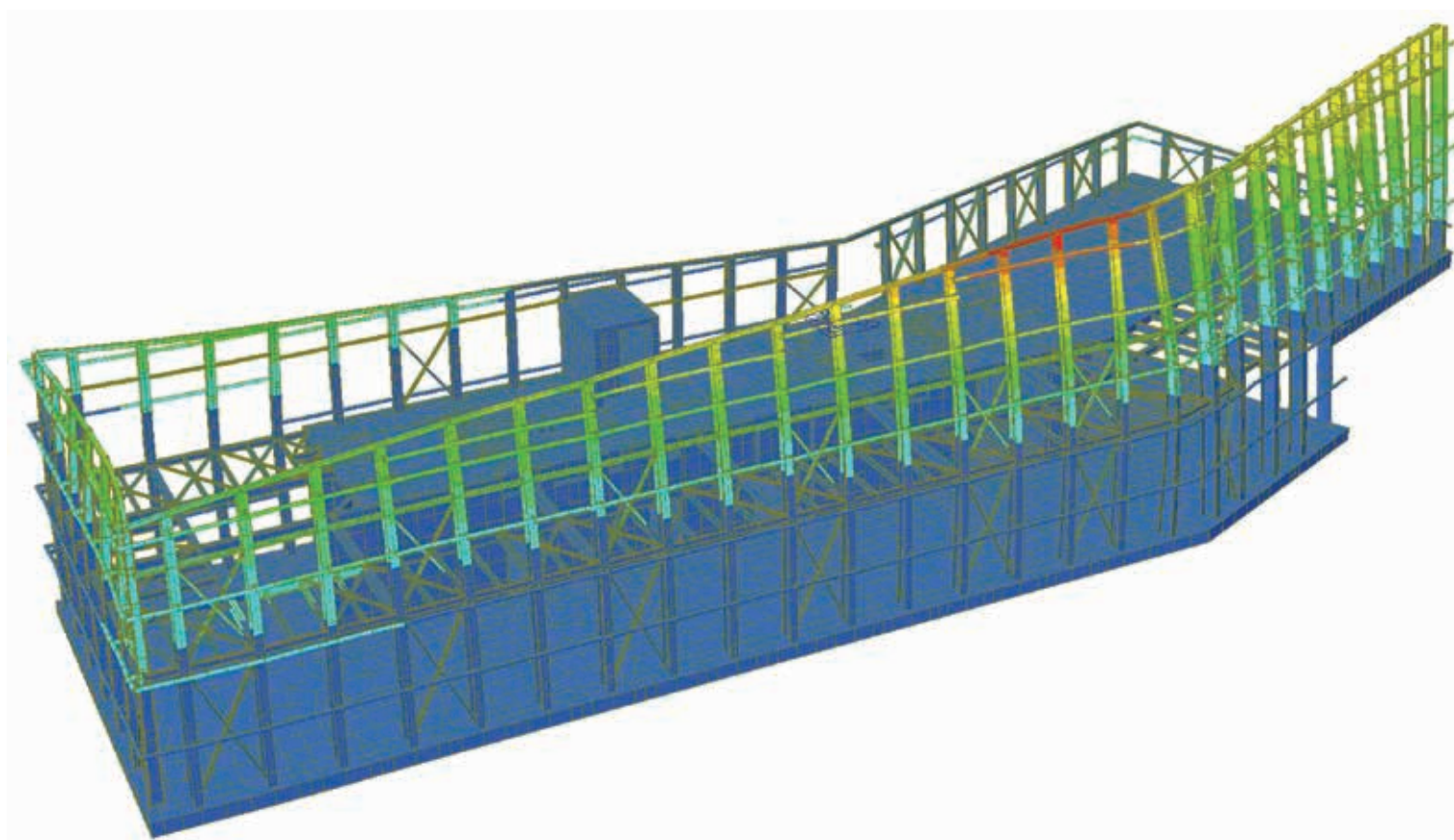


Fig. 12 | Andamento qualitativo della deformata per carico da vento.

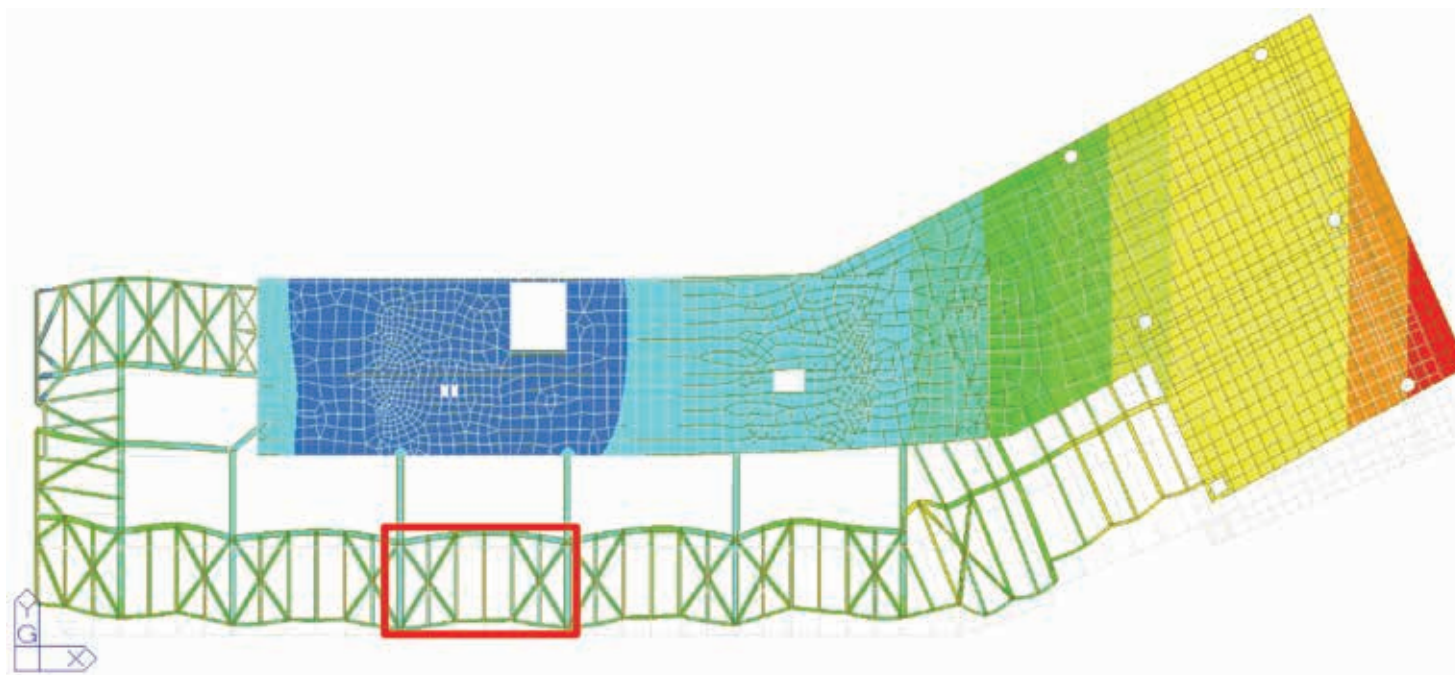


Fig. 13 | Spostamenti orizzontali del livello L25.

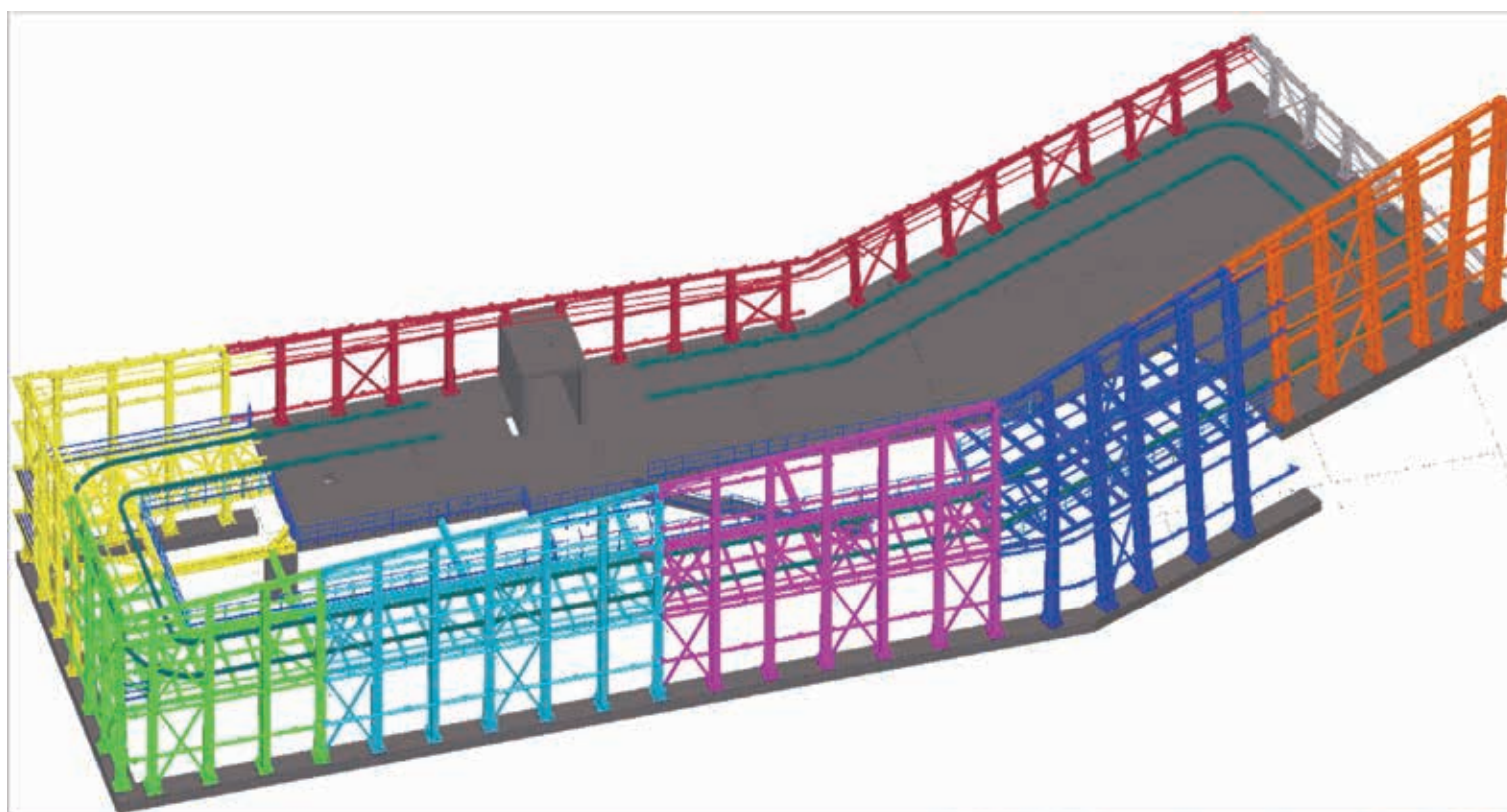


Fig. 14 | Fasi di montaggio

sulla superficie della vela (suddivisa in diverse sotto-regioni al fine da definire in maniera più accurata la variazione delle pressioni), dipendentemente dalla direzione e dalla intensità del vento stesso. L'applicazione di tali pressioni nel modello e la definizione delle relative disposizioni e combinazioni di carico ha permesso la quantificazione delle azioni più severe agenti. D'altra parte, lo studio della BMU ha richiesto lo studio e la progettazione dei binari necessari per la movimentazione e poi l'applicazione dei carichi

trasmessi su di essi e quindi sui profili sottostanti, definendo di volta in volta le condizioni più sfavorevoli dipendentemente dalla posizione in pianta della BMU e dalla posizione del braccio mobile Fig. 13 – Spostamenti orizzontali del livello L25. (dalla quale ovviamente dipende la distribuzione delle azioni alla base della BMU stessa).

Per quanto riguarda l'azione termica, invece, sulla base di quanto definito dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, sono state adot-



Fig. 15 | Montaggio della struttura, fasi 1 e 2.



Fig. 16 | Montaggio della struttura, fasi 1 e 2.



Fig. 17 | Fasi di montaggio della struttura.

tate una temperatura minima di servizio di -15°C ad una massima di 75°C (comprensiva degli effetti dell'irraggiamento solare diretto). Parallelamente al modello ad elementi finiti dell'intera vela, sono stati implementati anche modelli locali al fine di studiare eventuali effetti indotti dalle rigidità dei nodi e dalla presenza degli svincoli relativi ai giunti di dilatazione termica sulla stabilità dei sottosistemi strutturali.

L'aspetto più significativo nella fase di progettazione costruttiva e di ottimizzazione strutturale è stato sicuramente rappresentato dalla già menzionata introduzione di giunti di dilatazione termica, scelta che ha permesso la riduzione della dimensione di tutti i profili ad eccezione delle sole colonne in acciaio (mantenute come da progettazione esecutiva solamente per motivi architettonici).

L'approccio base è consistito nella suddivisione delle strutture sia orizzontali (ovvero della parte di solaio L25 realizzata in acciaio) che verticali (ovvero della facciata vetrata) in sotto-moduli isostatici di limitate dimensioni così da ridurre drasticamente l'introduzione di azioni indirette di compressione.

Tale approccio progettuale è stato di applicazione non banale nel caso dell'orizzontamento L25, in cui si rendeva necessaria la realizzazione di un controventamento di piano atto a contrastare l'azione del vento agente sulla facciata.

In figura 13 si mostra il campo degli spostamenti orizzontali per effetto del vento del livello L25 e si evidenzia il modello elementare isostatico della trave reticolare di piano. Permettendo l'allungamento relativo tra i diversi moduli di trave reticolare di piano tramite la realizzazione di giunti bullonati con fori asolati, è stato raggiunto l'obiettivo prefissato.

Simile approccio è stato adottato per le strutture verticali.

5. La fase di realizzazione

La fase di montaggio delle 320 t di acciaio della vela ha avuto luogo nei primi mesi del 2020 tramite la predisposizione a piè d'opera degli elementi principali, il successivo sollevamento in quota e il finale fissaggio in cima alla torre.

Il montaggio della struttura è avvenuto in 8 fasi successive, ognuna delle quali corrispondente ad una serie di marcatura diversa in modo da differenziare l'approvvigionamento e le lavorazioni delle diverse parti, secondo la logica di montaggio prefissata (figura 14). Nelle figure 15-21 si riportano alcune foto scattate nelle fasi di montaggio, prima del fissaggio dei moduli di facciata.

Ringraziamenti

Si ringrazia tutto il team dello Studio Capè Ingegneria per lo sviluppo della progettazione costruttiva di Torre Gioia 22 e, in particolare per lo studio della vela, gli ingegneri Filippo Conti e Omar Olimpio.

Si ringraziano inoltre Stefano Crespi e Gianluca Arconi di Colombo Costruzioni S.p.A e Alberto Pesatori e Francesco Perotti di Map S.p.A.

Si ringraziano infine Rolando Fiorenza e Stefano Vit di Permasteelisa S.p.A.



Fig. 18 | Montaggio della struttura, fase 6.



Fig. 19 | Fasi di montaggio della struttura.



Fig. 20 | Foto della struttura metallica della vela – lato verso Nord.



Fig. 21 | Foto della struttura metallica della vela – lato verso Nord-Est.

CREDITS

Committente: Coima SGR

Progettista architettonico: Studio Pelli Clark Pelli Associati

Progetto costruttivo architettonico: Strching S.r.l.

Progetto esecutivo delle strutture: MSC Associati S.r.l.

Progetto costruttivo delle strutture: Studio Capè Ingegneria S.r.l.

General Contractor: Colombo Costruzioni S.p.A.

Carpenterie metalliche: MAP S.p.A.

Facciate: Permasteelisa S.p.A.

Bibliografia di riferimento

[1] Michele Capè e Roberto Bertazzolo, “Gioia 22, la “Scheggia di Vetro”: sfida tecnologica ed ingegneristica”, INGENIO-WEB. IT, IMREADY Srl, 2021, <https://www.ingenio-web.it/32263-gioia-22-la-scheggia-di-vetro-sfida-tecnologica-ed-ingegneristica>



Michele Capè

Socio fondatore dello Studio Capè Ingegneria. Laureato in ingegneria strutturale, nel 2000 ha conseguito il Master Internazionale in Ingegneria Strutturale alla Chalmers University of Technology di Göteborg nel 2000. Oltre all'attività di progettista, ricopre importanti incarichi quali lecturer al Master per BIM Managers del Politecnico di Milano, presidente della Commissione Strutture dell'Ordine degli Ingegneri di Milano, delegato del CNI al gruppo di lavoro per la stesura della

norma UNI 11337 sul BIM. È inoltre membro della Commissione Strutture della Consulta Regionale Ordini Lombardia e socio di ATE Associazione Tecnologi per l'Edilizia.



Roberto Bertazzolo

Laureato in ingegneria strutturale, dal 2015 è Socio fondatore dello Studio Capè Ingegneria, Milano. Dal 2008 ha lavorato per lo Studio Capè Ingegneria come responsabile dell'ufficio strutture prima presso il cantiere Colombo Costruzioni delle 3 Torri Unicredit e del Podio (P.za Gae Aulenti) e poi presso il cantiere Colombo Costruzioni della Torre Isozaki e della Piastra di City Life.

Top-down construction using steel plunge columns – General overview and some details from recent projects

Uso di profili metallici in colonne prefondate – Dettagli costruttivi estratti da alcuni progetti recenti

Riccardo ZANON * | Senior Research Engineer, ArcelorMittal R&D Luxembourg

This contribution presents the technique of steel plunge columns applied to some recent underground building applications. Plunge-columns are used in the frame of a Top-Down construction method, a process which minimizes the period of disturbance at the ground level and is therefore highly appreciated for underground infrastructure in urban areas (e.g. metro stations). The focus will be set on the specificities of the steel fabrication of the profiles.

L'articolo tratta della tecnica delle colonne metalliche inglobate in tubi di fondazione provvisori come elementi dell'ossatura definitiva di una struttura ipogea. Questa soluzione appartiene alla tecnica di intervento geotecnico tipo "Top-Down", nella quale gli elementi verticali della struttura sono realizzati a partire da un orizzontamento situato a livello superficiale (Top phase). Si procede in seguito allo scavo al di sotto di questo livello (Down phase) utilizzando gli elementi verticali già costruiti come colonne degli orizzontamenti ipogei. Questa strategia è stata utilizzata di recente in alcuni grandi progetti in ambito urbano in quanto permette di minimizzare la durata dell'intervento in superficie. Infatti una volta che le fondazioni verticali e il primo orizzontamento superficiale sono realizzati, il cantiere si sposta integralmente in ipogeo restituendo la zona orizzontamento ad altri usi. Il presente articolo si concentra sui dettagli costruttivi impiegati per le colonne metalliche ispirati da alcuni progetti recenti.

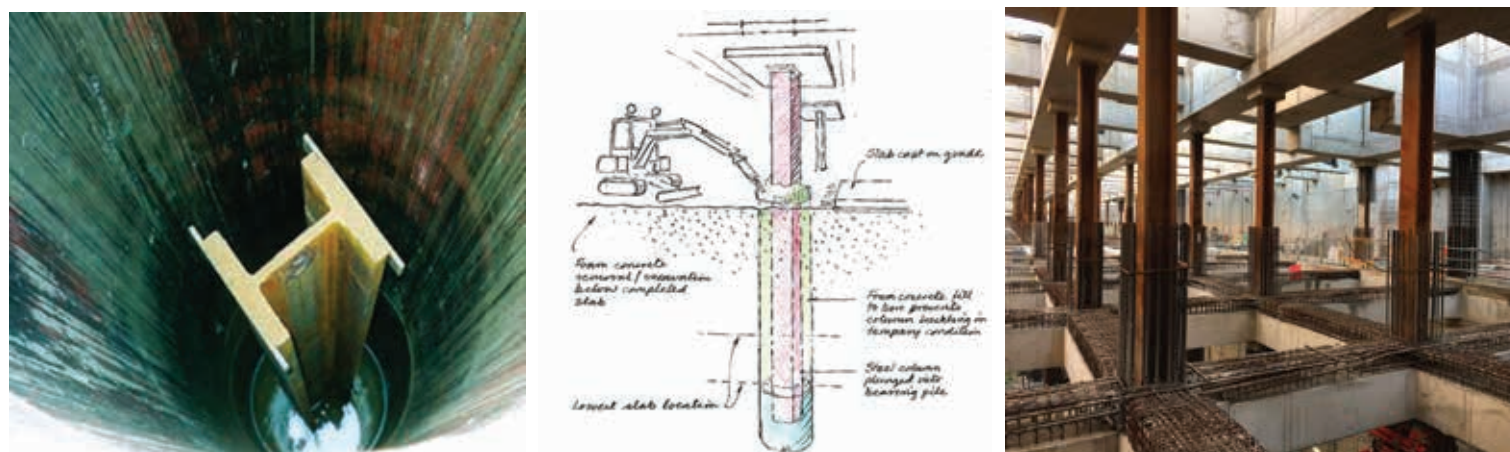


Fig. 1 | View of internal profile (Left) [5]; principle of the plunge column construction method (middle) [3]; View of the columns in the final building (right) [6]

*Corresponding author. Email: riccardo.zanon@arcelormittal.com

1. Introduction

In its definitive stage, the classical form of a “plunge column” is a steel profile used as column in a multi-storey underground structure. The column is founded at its base by embedment of the profile in a larger circular reinforced concrete pile having the same vertical axis as the column. What makes a “column” being “plunge” is being part of a “Top-Down” construction method, where the steel profile is “plunged” from the Top in the early stage of the process before excavation takes place (figure 1).

A key advantage of the Top-Down is to minimize the disturbance due to the construction process by having a rapid first overground phase. For this reason this methodology is often applied in urban areas and below public spaces (roads, squares, etc.) for the realization of underground infrastructure (very often: Metro lines or stations, underground car parks, etc.). In this contribution the author will consider the details used for the Stazione Piazza Duca d'Aosta in Milano (Italy), described in [6], the Victoria Station in Melbourne (Australia), the Suburban Train Station of Massy-Palaiseau (France) and the Metro Station Pleyel in Paris (France).

It is worth recalling that the technique of plunge columns may apply also to cross-sections with different materials, and namely for some projects precast concrete elements have also been used. Nevertheless, steel columns present clear advantages in this application (reduced weight of the elements, increased facility of connection between elements and with on-site concrete, higher resistance under self-weight and therefore easiness of handling, reduced cross-section sizes) which make steel the material of choice for plunge columns.

2. Schematic explanation of the “Top-Down” process:

As its definition suggests, this process can be divided in two phases: the “Top” and the “Down” phase [4]. For sake of clarity, the information related in the following chapters concerns the case of steel plunge columns embedded in circular reinforced concrete pile.

In the “Top” phase of the “Top-Down” process, all the operations are done at open sky level without the need of major excavation or retaining walls (figure 2). The procedure to create the plunge column can be summarized as follows:

1. Boring a circular pile with an external metallic pipe. The depth of the hole corresponds to the final reinforced concrete pile length below the future bottom level, plus the height of the steel column

from the future bottom level up to the current ground level where the boring takes place. This total depth can be considerable (e.g. 43 m at Suburban Train Station of Massy-Palaiseau).

2. Inserting the reinforcement cage at the bottom of the hole on a depth which corresponds to the length of the final reinforced concrete pile.

3. Inserting the steel profile inside the pipe and inside the reinforcement cage. It is embedded in the reinforced concrete pile for a sufficient length to ensure an appropriate force transfer; depending on the column sizing and loads, but this transfer length can also measure 2 m.

4. Concreting of the bottom part of the hole to form the final concrete pile with embedded steel column (comment: step 3 and 4 are actually combined: in many cases a bottom layer of fresh concrete – or special concrete mix are used – is already in place and the steel profile is sunk in it)

5. Creating a top culvert by means of a reinforced concrete slab which will serve as top level. This slab is enough to carry the weight of construction equipment as well as fit for the final loads. Clearly, a similar process is performed contemporaneously for the diaphragm walls at the perimeter of the excavation (sheet piles, bored pile walls or other options are possible) so that the Top-Down method concerns the whole excavation perimeter [9].

In the “Down” phase of the “Top-Down” process, the zone previously used and where the horizontal culvert has been created can be let free since there is no more need of major intervention. In some cases, where this space is a public square or similar use, the finishing works to prepare for the final usage can take place so that the overground zone can be given back to its final usage while the excavation downside continues (figure 3).

In the meantime, below the culvert level, the underground operations take place:

1. By conventional means it is possible to dig below the top culvert with an incremental excavation. Appropriate access ramps shall be foreseen.
2. The plunge columns are set free from the ground, the metallic pipe which encircles them can be cut-off and they work as a steel profile alone.
3. When the excavation has advanced, it is possible to create the horizontal levels (concrete slabs or similar) which constitutes the final. These slabs have of course also a structural function as a horizontal diaphragm, and the plunge columns are linked to it.

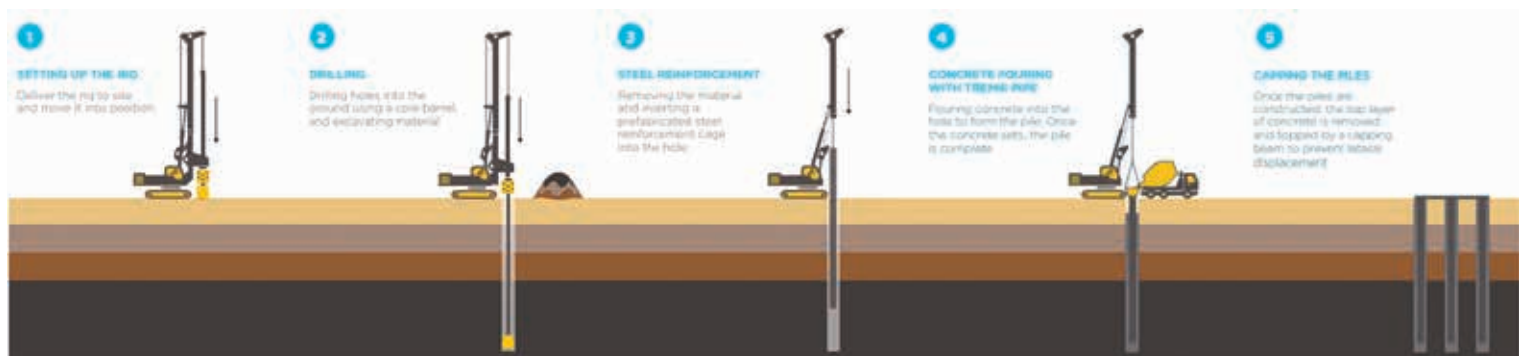


Fig. 2 | Schematic view of operations which take place during the “Top” phase.

4. In the final phase, the steel profiles serve as columns of the final structure. They may be encased in reinforced concrete to ensure their fire resistance.

3. Some design considerations

Once it is installed, the column acts as a vertical cantilever which is blocked only at its base. The embedment in the bottom pile shall consider the soil stiffness; in practical design it is determined at which depth the element can be considered as moment restrained. In this stage the plunge column is supposed to carry the vertical loads of the culvert.

Since the length of the plunge column is high, lateral forces shall be stabilized rather by the walls or other elements and the plunge column shall be designed mainly to carry vertical forces. Thanks

to the diaphragm action of the top culvert, the plunge columns can be therefore considered blocked (hinged or with moment restraint) also at their top. This feature is important. For the further stages during excavation the columns can be linked with the horizontal slabs and therefore the design is less critical, even if the vertical load may be increased.

For the projects mentioned in the introduction, it is important to mention that the construction phases were not governing the design of the steel sections. Final stage conditions were decisive, since these underground columns were supposed to carry important loads in service life (up to 60 MN for some elements).

For the lift shaft cores it is common to keep the plunge columns slender to fit within the solid concrete walls which will be executed after excavation. During excavation these elements may be temporarily braced to ensure the lateral load stability.



Fig. 3: View of the underground excavation (Left); Plunge columns after excavation (middle); steel column after removal of the temporary pipe and realization of the concrete slabs (Right) [7].

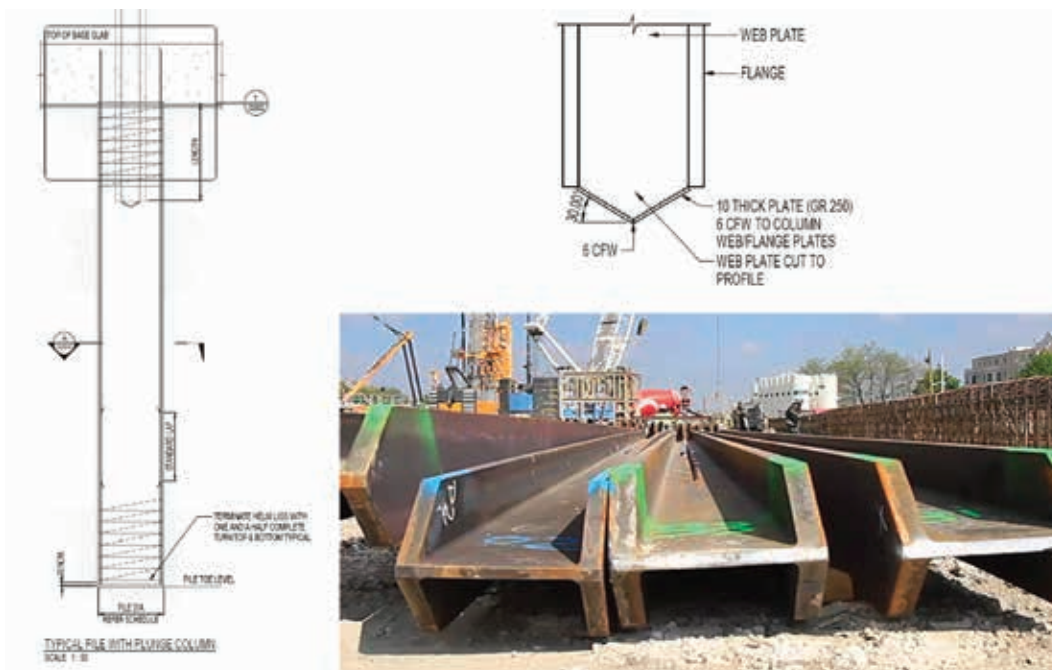


Fig. 4 | Preparation of the plunge column end to penetrate into the fresh concrete at the bottom of the pile, Gare Pleyel in Paris (France)

The design of the steel cross-sections therefore must consider three main drivers:

1. Sufficient section properties to ensure mechanical resistance and avoid instability also for considerable buckling lengths during the construction phase;
2. Compact dimensions to fit inside the reinforcement cages, which are themselves inside the metallic pipe, and between the elements there shall be enough space to allow the pouring of the concrete;
3. Realization of steel detailing specific of plunge columns.

As a best fit to these requirements, H cross-sections are often preferred to other cross-section shapes. Whereas for small elements usual HE sections

are common, for larger projects wide flange beams of the family of HD400 section are the solution of choice as they answer to the points above in the following way:

1. Wide range of thickness available on the same section family (flange thickness from 24 mm up to 140 mm) linked to availability of high-strength steel (S460 and S500). The squash load (without considering instability) ranges from 7 to 76 MN, ensuring a very broad range of use. In term of stability high-strength rolled sections benefit also of the most favourable behaviour (curve a0 and according EN1993-1-1 [1]) compared to other cross-section types.
2. Compact dimensions (circumscriptive outer diameter between 600 and 850 mm) which permit to fit well in the 1000 / 1200 / 1500 bored piles with reinforcement cages.
3. Easiness to realize constructive details (splicing, steel-concrete shear connection, connection with the slab, handling, etc.).

Point 1 corresponds to design rules from the Eurocode [1] known by designers. Point 2 corresponds to geometric considerations. In the following chapter the focus will be set on Point 3 where specific details of steel plunge columns will be highlighted.

4. Steel profile constructive detailing

The steel profile detailing is similar to conventional columns for multi-storey buildings but has some specific features linked with the construction method.

Prior to other operations, it is advised to perform an additional member straightening by means of a cold gag-press. This permits to reduce the tolerances of EN1090-2 [2] in term of straightness and out-of-squareness of about 30 - 50%. This additional operation has a moderate cost and can be performed by the producing mill; it will benefit both for the column installation as well as for keeping close alignment tolerance for the splicing.

At the end of the element, the columns feet receive a special cut (figure 4) so to have a better penetration into the liquid concrete.

This cut can be obtained by oxy-cutting and does not need special strict tolerances.

At the other end, the top of the plunge column must accommodate for the lifting devices. For the shorter and lighter piles a hole in the web or a conventional lifting hook is enough (see figure 5, left). For larger elements it is needed to achieve higher tolerances and better driving control, therefore a specific lifting device is used (see figure 5, centre and right). It is typically bolted on the top of the profile via a header plate. The header plate is at the top of the column where the lifting device ensure some rotation, at this level therefore normal steel construction tolerances are sufficient.

In several cases the depth foreseen for the steel columns requires to deliver several elements which are joined to achieve the continuity. For the Gare de Pleyel (France) for example the total profile length was close to 25 m. There are several choices for executing this splice.

Classical bolted splice by cover plates or welded splice are of course possible (figure 6). These solutions are usually implemented in plunge columns only for light sections or for cases where a significant bending moment resistance is required. For heavy sections they may become very expensive, time consuming and shall be considered only if required by bending moment resistance.

Two main alternatives can be considered: a direct contact profile-on profile connection with small cover plates (figure 7), or an end plate to header plate bolted connection (figure 9). In the first case the surface must be milled so to ensure a perfect planarity and contact among the surfaces (figure 8). Small cover plates are foreseen so to ensure a certain grade of bending moment resistance both for construction phase as well as for robustness reasons. These cover plates may be bolted or welded; this latter option, not common for other configurations, present some advantages for plunge columns. In fact, it permits to reduce the splice outer dimensions (there is no outstanding head of the bolts which take place for the reinforcement). The fillet welds to secure in place this

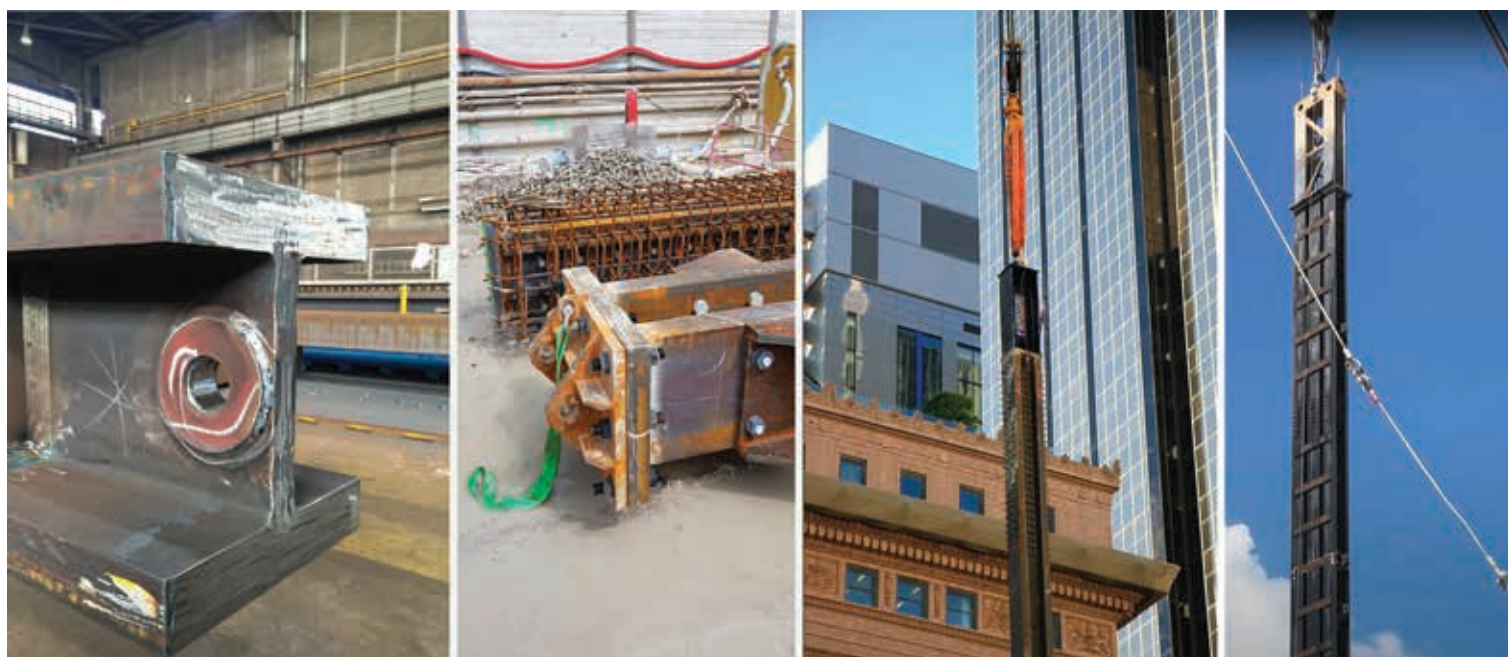


Fig. 5 | Preparation of the plunge column on the top for the handling and sinking in the bore pile; different options.

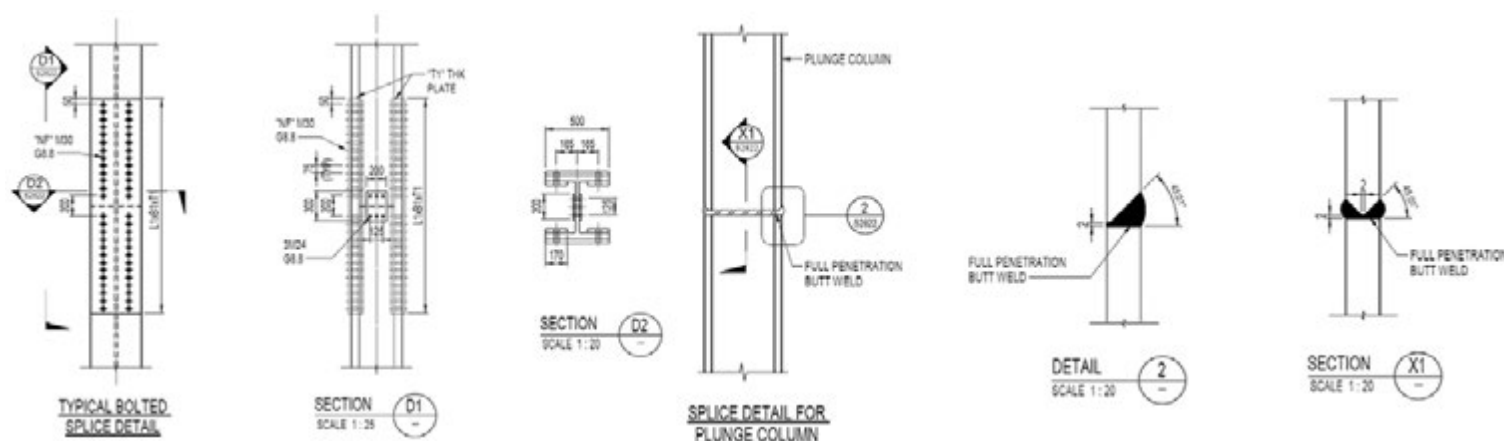


Fig. 6 | Traditional splice detailing for columns: Bolted splice (left), welded splice (right)

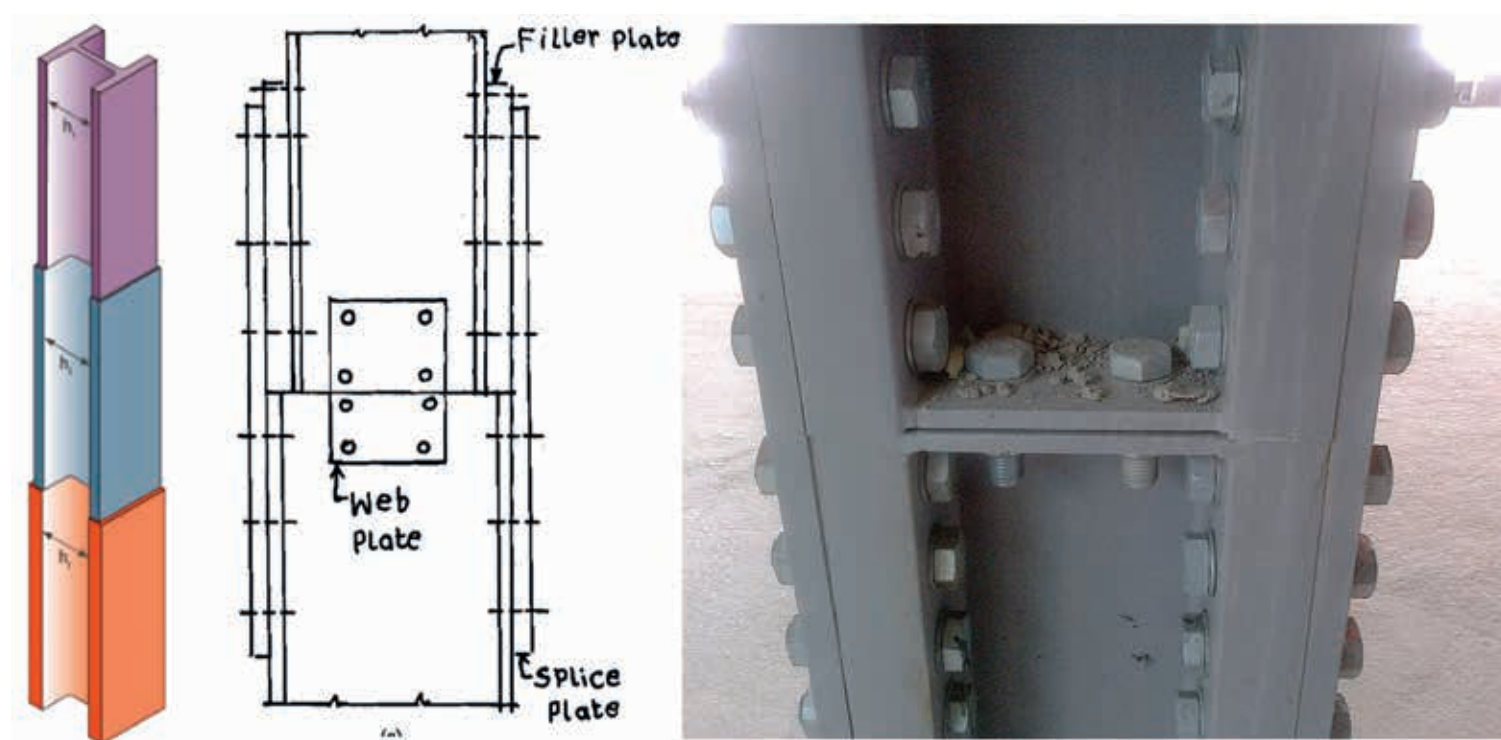


Fig. 7 | Scheme of a direct contact profile on profile splice with cover plates to ensure some bending resistance

cover plate require way less efforts than a partial or full penetration profile weld. An example can be seen on figure 10.

The second option is to have a conventional end plate with outstanding bolts. Also, in this case it is advised to mill the end plates to ensure planarity and appropriate contact.

This solution is probably the easier in term of construction if the splice has to be realized in vertical position. The main disadvantage may be the limited bending capacity since the number and size of bolts which can be foreseen do not allow to overtake a significant percentage of the bending resistance. For the placement of the reinforcement and of the concrete it may be also problematic the fact to have this horizontal plate who take a considerable space. The columns foot must of course be efficiently linked with the concrete pile in order to create a sufficient rigid encasement. In most cases shear connection is achieved by means of ductile head

ded studs commonly used in concrete construction. On H sections these shear connectors may be easily placed on the flanges or on the webs (figure 11). There are also rare cases where rigid stiffeners have come to application, mainly with the purpose to transfer higher forces on a shorter length; in this case the design cannot consider ductile redistribution and the detailing shall be made with care. Recent researches have investigated the use of connection means alternative to shear connectors, mainly by use of reinforcement bars [7].

Another important detail is the connection with the different slab level. In some cases (and mainly where a very thick concrete slab was foreseen) it is sufficient to place an adequate number of shear connectors. In most cases nevertheless the slab is thinner and it is therefore advised to have some support structure welded or bolted to the steel profile. For both cases an adequate reinforcement must



Fig. 8 | Example of quality control put in place after milling for a splice with direct contact



Fig. 9 | Splice by means of a headed plate foreseen at the slab level (left); erection on the construction site (right). Metro Line 18, Station of Massy-Palaiseau. Foundation at 43 m of depth, length of the plunge columns: 25 m. (Copyright: Spie Batignolle Fondations)

be foreseen to ensure resistance and robustness, since the punching of the slab is a fragile phenomenon which must be avoided (figure 12).

5. Specificities of the steel profile installation

As explained before, the steel profile is sunk inside the steel tube by means of a crane. The gravity ensures the verticality of the element, so for short plunge columns there is no need of complex equipment. Once it is inserted, the column head is blocked to proceed for the further operations (figure 13). For longer elements it is common to foresee some guiding devices on the pipe head, which can become more complex for longer elements where stricter tolerances at the top are needed.

Concerning installation there are mainly two kinds of tolerances: the vertical position of the element, and the verticality of the element. The tolerance on the vertical level can be measured easily since the axial elongation of the column is minor as well as the tolerances on the splices; tolerance in height level of ± 5 mm can be commonly achieved.

In term of verticality the problem is more complex as many factors contribute to it (element straightness, splicing angle tolerance, installation process). If for short elements the topic is not an issue, for longer elements it may become critical since the error adds up on the length. To improve the tolerances, it is common to fix by point welding a tube along the steel profile axis and a laser inclinometer is inserted in it to check the position with high precision.



Fig. 10 | Example of a bolted end-plate-connection (up); example of a contact surface connection with small welded cover plates to ensure bending moment resistance (down)

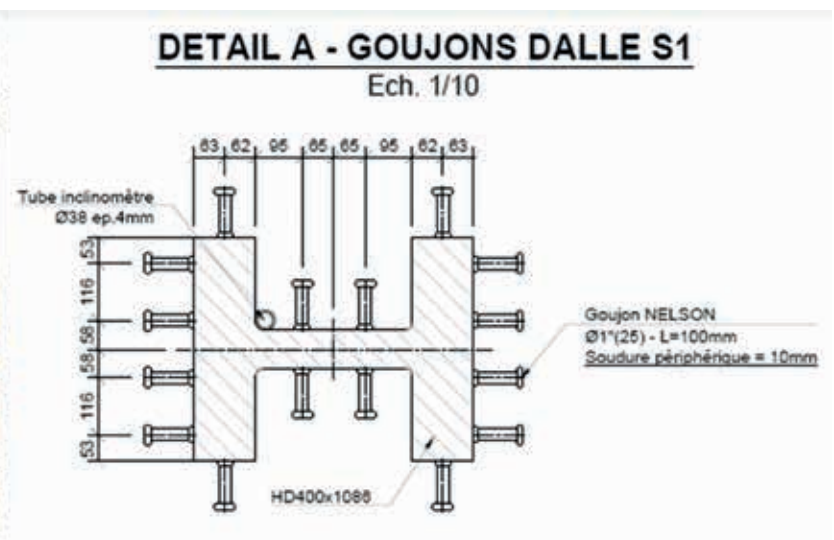


Fig. 11 | Shear connection by means of headed studs



Fig. 12 | Slab or beam support elements fixed on the plunge column



Fig. 13 | Example of guiding device fixed on the pipe head

If these means are put in place, a verticality of $L/1000$ can be achieved even for length of 25 m, whereas usually $L/500$ or $L/666$ is considered acceptable (figure 14). This may lead to a tolerance concerning the in-plan position of the column of ± 20 mm in the bottom point for a steel profile length of 25 m (an adjustment between the top positioning and the bottom positioning is possible).

6. Conclusions

The Top-Down construction method is gaining a renewed interest thanks to the benefits that it ensures, in particular for specific underground operations in urban public spaces. Plunge column

constitutes a cornerstone of this system, where the use of steel elements ensures an optimized solution both for the construction as well as for the final stage. Recent construction sites have set new scales for this technique, employing compact high-strength steel sections with length up to 25 m.

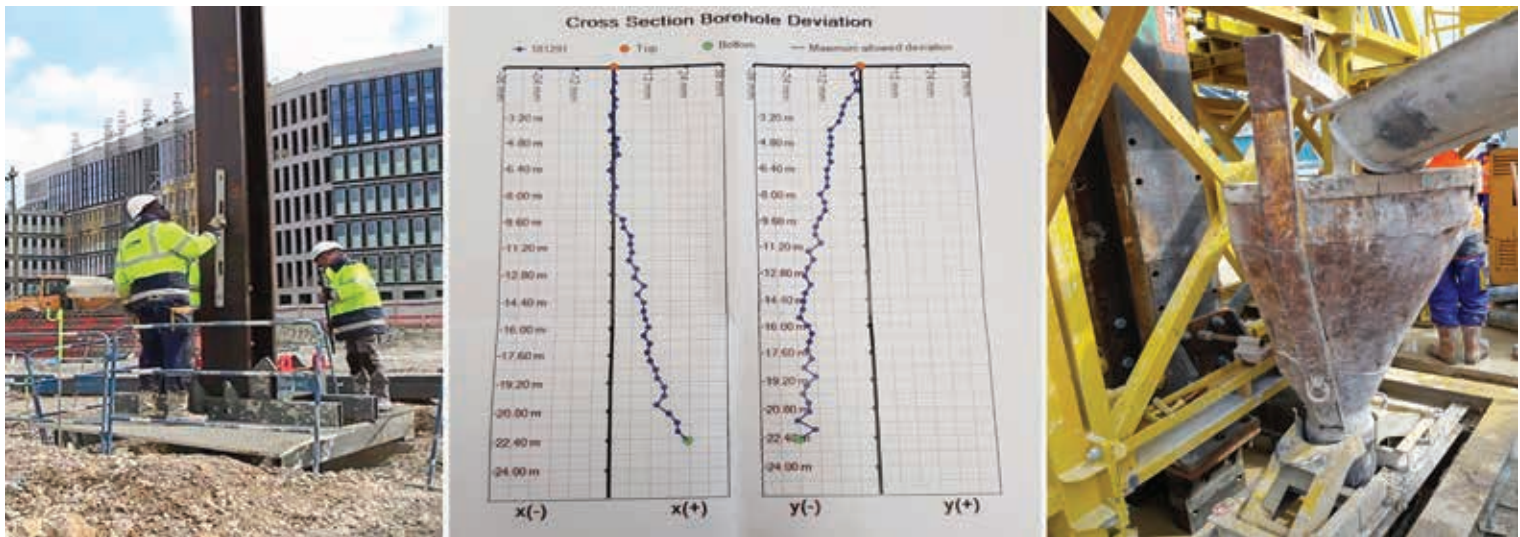


Fig. 14 | Check of the verticality of the column and concreting



Fig. 15 | Blocking of the column top for the concrete phase

7. Literature references:

- [1] EN1993-1-1 Design of steel structures – General rules and rules for buildings, (2005).
- [2] EN1090-2 Execution of steel structures (2012).
- [3] K. Moazami, J. Parker, R. Giannini, Steel-concrete-steel: Unique Hybrids at London Tallest, Proceedings of CTBUH 2008 8th World congress (2008).
- [4] J. Sze “Deep foundation for high rise buildings in Hong-Kong, International Journal of high-rise buildings, (2015).
- [5] Balfour Beatty Ground Engineering, Plunge Columns Technical sheet (2018).
- [6] Cementation SKANSKA, Cemloc® for Embedded columns, (2019).
- [7] M. Chrzanowski, Shear Transfer in Heavy Steel-Concrete Composite Columns with Multiple Encased Steel Profiles, PhD Thesis (2019).
- [8] N. Agrawal, V. Hame, J. Chouhan, L. Gagwani, Construction of Plunge Column by using Top Down Construction Method, Helix (2020)
- [9] C. Cerra, A. Vintani, Usi speciali di colonne in acciaio Dalla Stazione della MM Centrale FS alla Torre Giax, Costruzioni Metalliche 4 – 2021 (2021).
- [10] J. Endicott, Digging deeper and smarter, AECOM Technical communication <https://aecom.com/without-limits/article/digging-deeper-smarter/>



Riccardo ZANON

Senior Research Engineer, ArcelorMittal
R&D Luxembourg.
Focus on design of steel composite
bridges and building structures.

Usi speciali di colonne in acciaio dalla Stazione della MM “Centrale FS” alla Torre Gias

Special uses of steel columns from “Centrale FS” underground station to Gias Tower

G. Claudio Cerra, Alberto Vintani* | BCV progetti Srl

In questo articolo è riassunto l'intervento degli Autori tenuto il 17 giugno 2021 al webinar “Edifici Alti: Nuovi materiali, nuove soluzioni, nuove prospettive”, organizzato dal CTA e dallo IABSE. Nell'editoriale della prof.ssa Elena Mele e dell'ing. Riccardo Zanon che apre questo numero di Costruzioni Metalliche viene presentato un breve sunto degli argomenti trattati dai vari relatori presenti al webinar.

Negli interventi del Webinar citato sono state esposte molte problematiche relative ai Materiali, a Nuove soluzioni, a Nuove metodologie e prospettive nella costruzione di Edifici Alti.

Qui di seguito si espongono i vantaggi dell'uso di colonne in acciaio nella costruzione di edifici ad uso civile e particolari applicazioni nella realizzazione di infrastrutture.



Fig. 1 | Pirelli Headquarter – Milano



Fig. 2 | Pirelli Headquarter – Milano, in costruzione

Le colonne in acciaio, ovviamente, si impiegano in tutte le costruzioni civili e/o industriali con prevalente impiego di strutture metalliche, ma quanto ora andiamo ad esaminare riguarda l'impiego di colonne in acciaio per realizzare particolari tecniche costruttive e/o per limitare gli ingombri in pianta negli edifici civili, soprattutto negli edifici alti o negli edifici con maglie strutturali significative e quindi carichi verticali elevati da “portare” in

fondazione.

L'impiego del materiale acciaio concretizza un grande vantaggio nella realizzazione degli elementi verticali di sostegno di una costruzione quando i carichi ad essi affidati sono significativi, quando si vogliono contenere le dimensioni della sezione degli stessi, quando si vuole realizzare una significativa riduzione dei tempi di costruzione.

*Corresponding Author. Email: vint@bcv.it

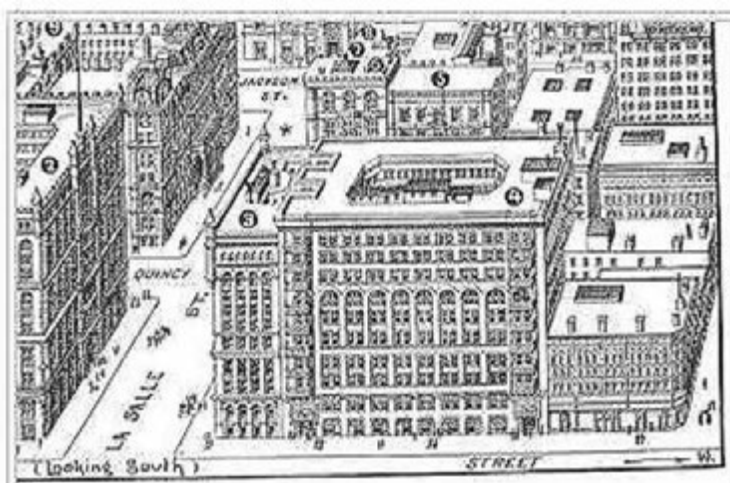


Fig. 3 | Rand McNally Building

Questo impiego trova origine già alla fine dell'800 e ai primi del '900 quando, soprattutto negli Stati Uniti, si iniziarono a costruire edifici alti e quindi con carichi da portare in fondazione significativi e incompatibili con le risorse resistenziali delle murature in mattoni e con i conseguenti ingombri dimensionali. Forse il primo esempio di impiego di strutture in acciaio e di pilastri in acciaio fu il The Rand McNally Building di Chicago (figura 3).

Numerosi Edifici Alti furono poi costruiti nei primi decenni del '900. Uno dei più rappresentativi è il Chrysler Building (figura 4), che con la sua altezza di 319,0 m, superò la più alta costruzione in acciaio allora esistente: la Tour Eiffel.

I costruttori di profili in acciaio già da allora realizzarono profili in acciaio sempre più compatti e prestazionali con un significativo incremento delle capacità portanti di queste sezioni, tipici i Jumbo Profile di Arbed ora di Arcelor Mittal (figura 5).

Da queste considerazioni nascono anche soluzioni strutturali ibride che utilizzano materiali diversi, ma fra loro complementari (per esempio c.a. e acciaio) tese ad ottimizzare spazi, tempi e infine costi di realizzazione, perché anche il tempo è un parametro molto importante nel processo costruttivo.

Allo scopo di illustrare la realizzazione di questi obiettivi vengono esposte qui di seguito alcune esperienze professionali.

Realizzazione delle strutture della Stazione MM “Fs Centrale” in Milano (1966-67)

La partecipazione di Alberto Vintani a questo progetto fu nell'ambito delle attività dello Studio Finzi e Nova presso il quale prestava la sua collaborazione, insieme a Giulio Ballio.

Erano gli anni nei quali si costruiva la Seconda linea della Metropolitana Milanese – la linea verde – che, dopo un percorso in galleria realizzato con una prima versione delle “talpe”, raggiungeva la Piazza Duca D'Aosta davanti alla Stazione Centrale FS (figura 6). Le stazioni della MM fino allora erano state realizzate con un procedimento chiamato “a cielo aperto” che consisteva nel fare uno scavo (un gran buco delimitato perimetralmente da diaframmi in c.a.) sul fondo del quale venivano realizzate le strutture fondazionali e poi erette le strutture in elevazione del manufatto. Un gran buco che richiedeva significative opere di contrasto delle paratie



Fig. 4 | Chrysler Building



Fig. 5 | Profili Jumbo

(diaframmi) che lo delimitavano perimetralmente e pesanti limitazioni alla viabilità delle strade o piazze sovrastanti.

Fu allora proposto dal prof. Leo Finzi, anche per minimizzare l'impatto con la viabilità esistente, una metodologia costruttiva differente, quella che ora viene chiamata Top-Down.

Il corpo centrale della Stazione consta di 3 orizzontamenti: il piano

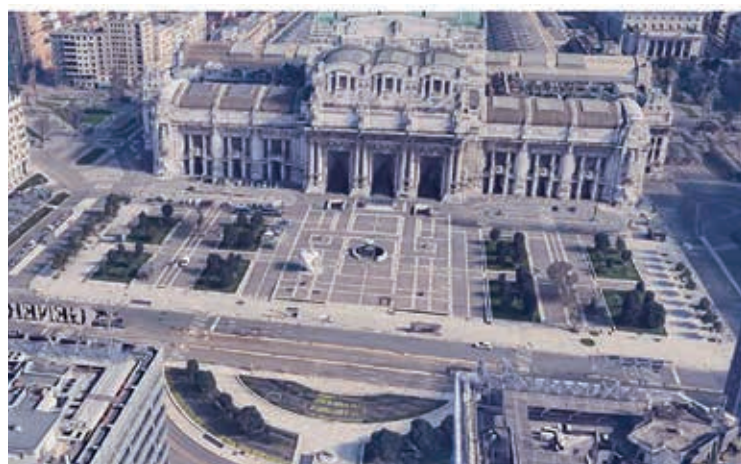


Fig. 6 | Stazione Centrale FS in Milano

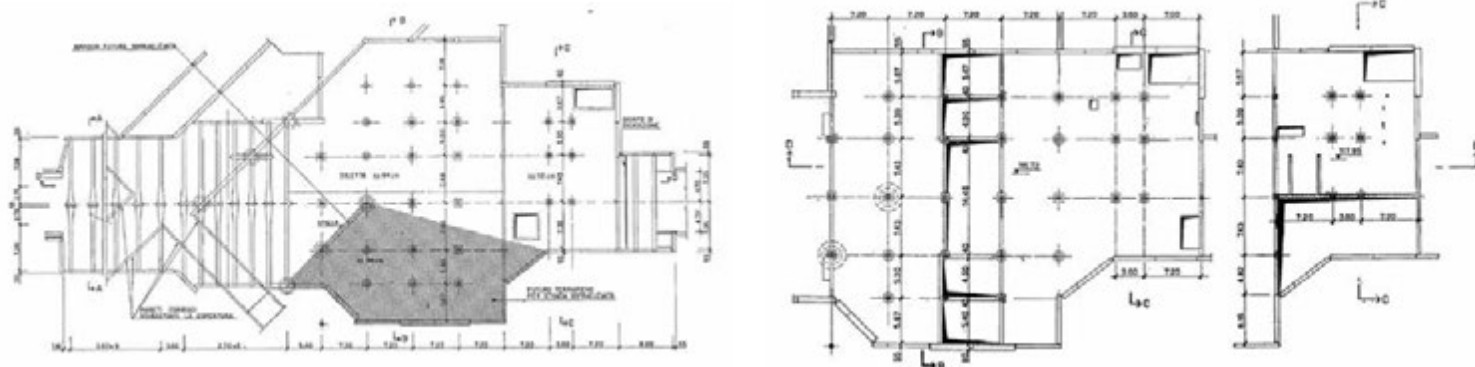


Fig. 7 | Pianta del manufatto della Stazione Fs Centrale della MM in Milano

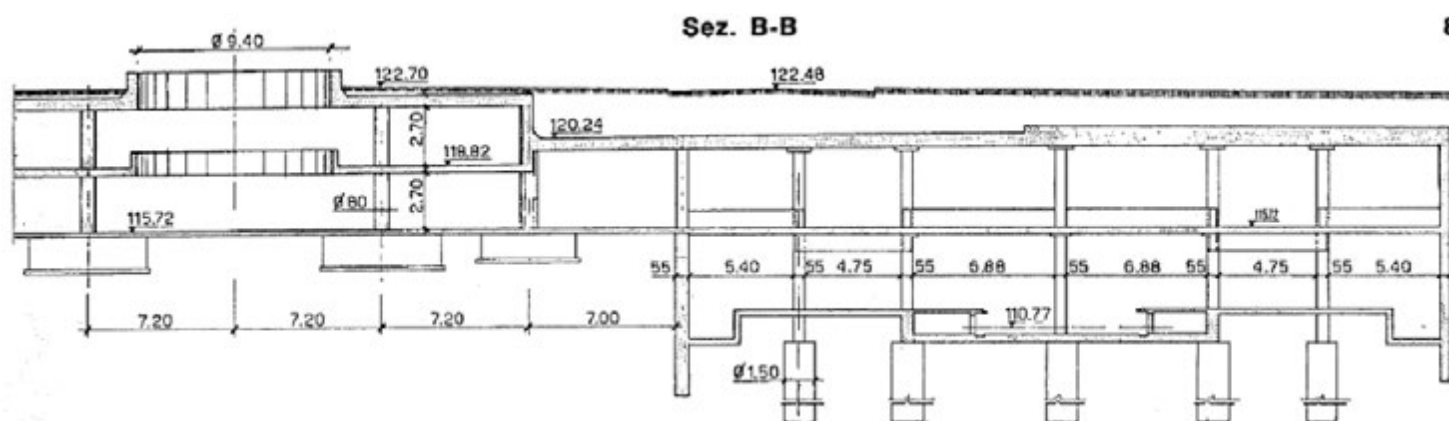


Fig. 8 | Sezione del manufatto della Stazione Fs Centrale della MM in Milano

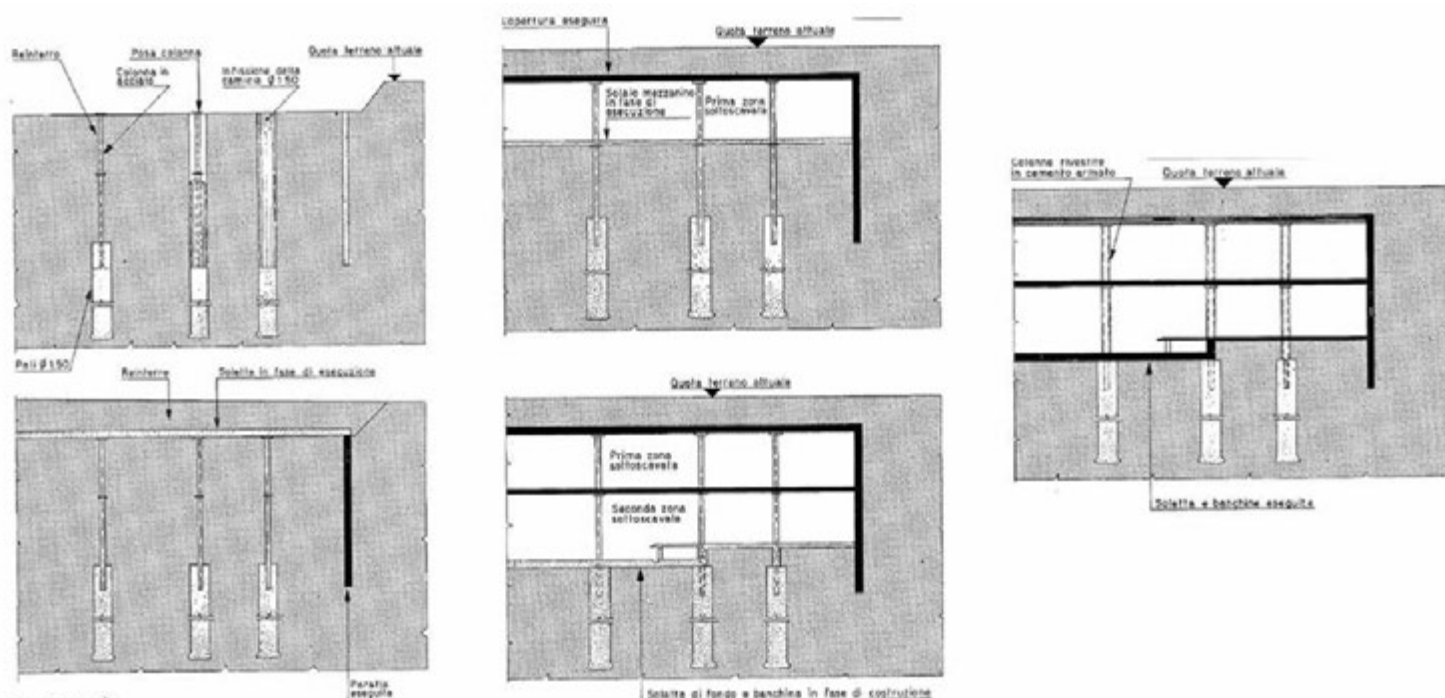


Fig. 9 | Fasi costruttive

banchine, il mezzanino piano di accesso alle FS e la copertura, e raggiunge i 12,0 m di profondità dal livello del suolo (figure 7-8). Realizzata la perimetrazione della stazione con paratie (diaframmi) scavate e gettate con fanghi bentonitici, occorre realizzare gli orizzontamenti. Si propose e si realizzò il seguente schema opera-

tivo (figura 9):

- scavo del foro incamiciato (diam 150 cm) per la realizzazione di pali di grosso diametro per la fondazione delle colonne di sostegno degli orizzontamenti;
- messa in opera di colonne in acciaio (profilati a doppio T) anco-

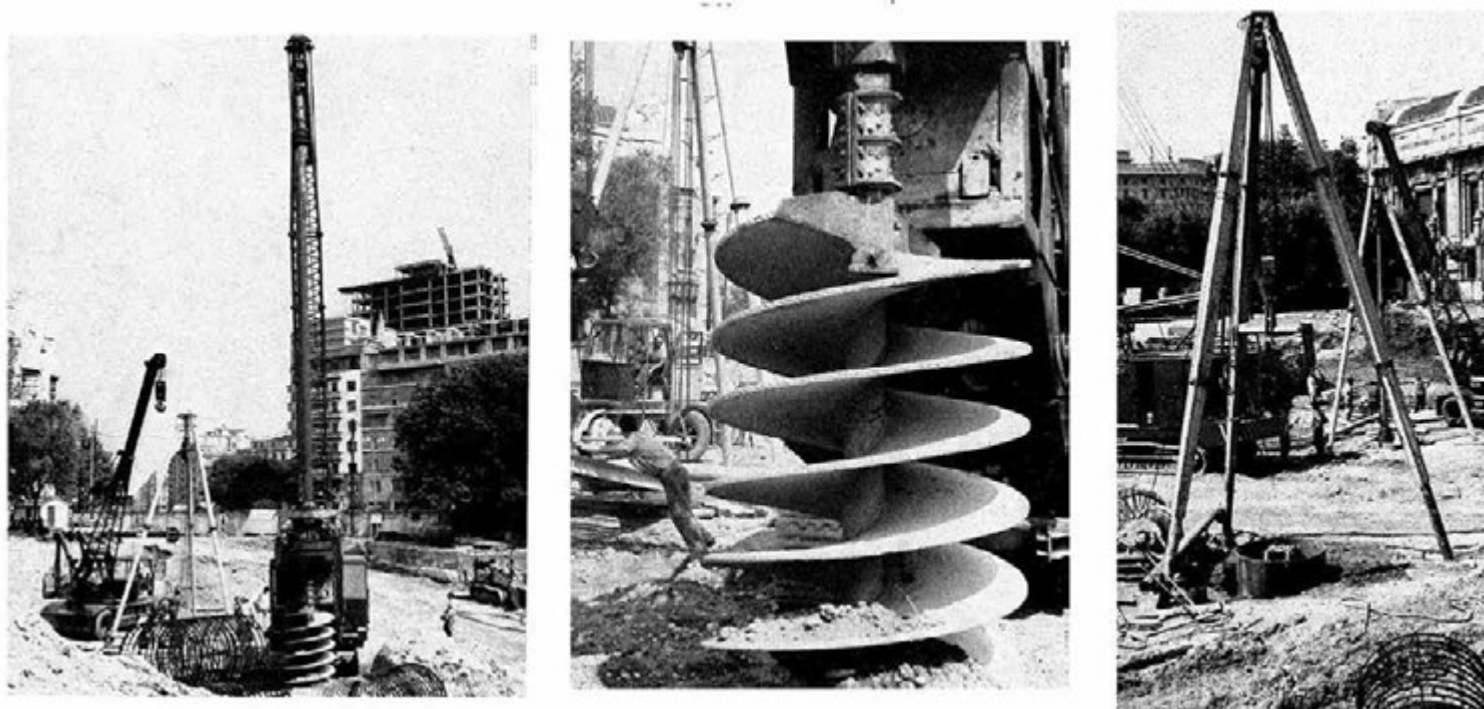


Fig. 10 | Realizzazione dei pali e messa in opera delle colonne

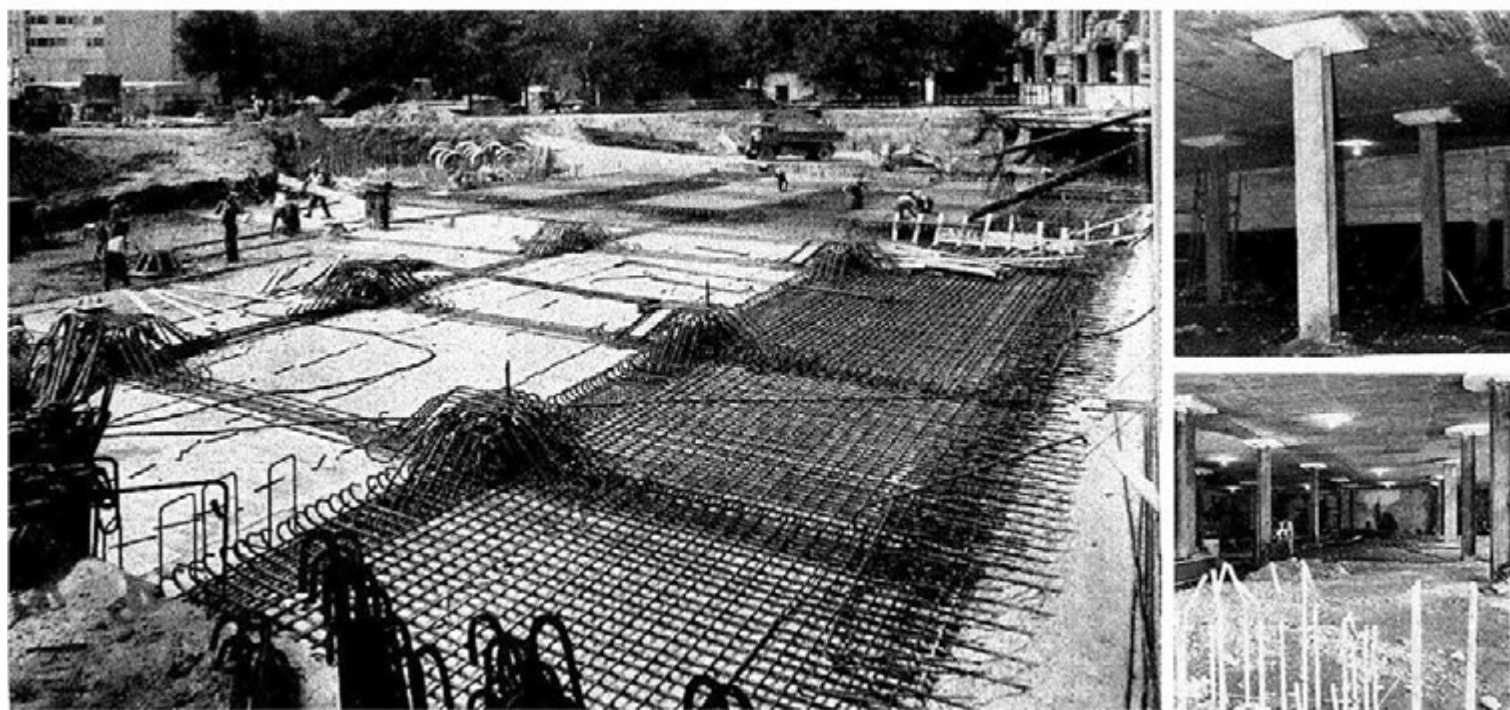


Fig. 11 | Armatura del solaio di copertura e scavo sotto lo stesso

rate nel getto dei pali di fondazione e già dotate di capitelli (piastre metalliche) per il sostegno del solaio di orizzontamento realizzato in calcestruzzo a piastra con armatura incrociata (figura 10);

- getto del solaio di copertura utilizzando il terreno esistente come cassero dopo averlo convenientemente preparato;
- dopo aver completato il solaio di copertura e ripristinato la viabilità superficiale, si è proceduto ad asportare il terreno sottostante la copertura, fino alla quota di imposta del solaio di mezzanino (figura 11);
- si è proceduto quindi al getto del solaio di mezzanino, sempre in calcestruzzo armato a piastra, che si vincola sulle piastre predispo-

ste sulle colonne in acciaio, utilizzando ancora una volta il terreno, convenientemente preparato, come cassero;

- completata anche questa fase di procedette allo scavo del terreno sottostante fino al piano banchine che furono realizzate anch'esse sul terreno, utilizzato ancora una volta come cassero di fondazione (figura 12).

Terminata l'esecuzione del manufatto, si procedette a rivestire le colonne in acciaio con calcestruzzo per una efficace protezione al fuoco e a eseguire le altre opere complementari: scale e opere interne (figura 13).

Il ruolo delle colonne in acciaio fu in questa circostanza determi-

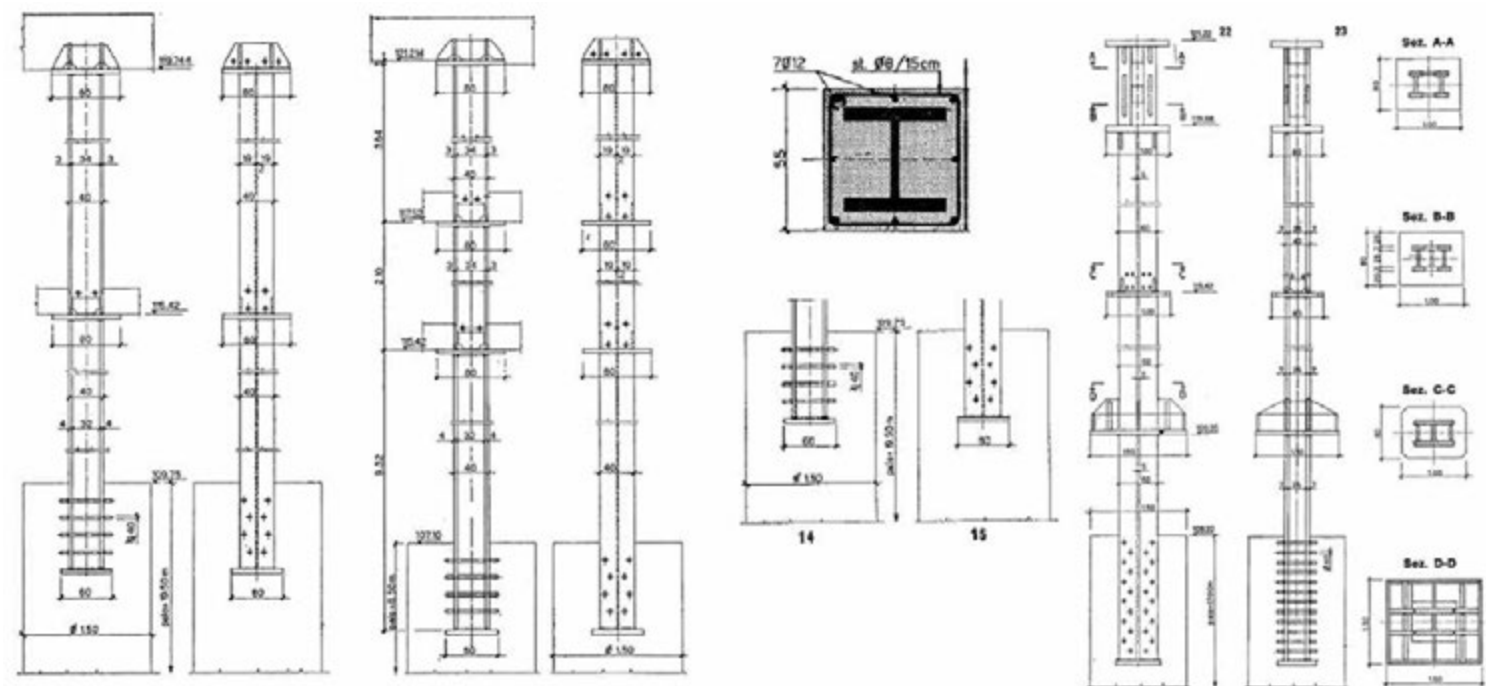


Fig. 14 | Immagini tipiche delle colonne in acciaio

nante ed unico per la realizzazione di questo manufatto e di questa metodologia operativa.

Le colonne in acciaio (figura 14) avevano sezione a doppio T compatta, realizzate in piatti composti (in Fe 37 B – come si usava allora) di sezione adeguata (circa 700 cm²) ai significativi carichi di due o tre orizzontamenti (in alcuni punti queste colonne furono

predisposte per supportare una strada di scorrimento sopraelevata che avrebbe dovuto attraversare la piazza Duca d'Aosta) da trasferire al palo di fondazione. I carichi erano significativi (circa 700 t) ed in alcuni elementi superavano le 1.000 t. La sezione della colonna standard è realizzata da un'anima di 400 mm di altezza costante per tutta la lunghezza della colonna e da ali che misurano

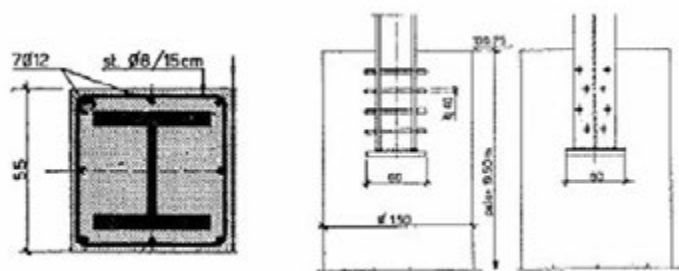


Fig. 15 | Sezione colonna rivestita e ancoraggio della colonna al palo di fondazione

anch'esse 400 mm; gli spessori usati sono 70 mm per le ali e 60 mm per le anime. Diverse e più significative le dimensioni e gli spessori delle colonne destinate in un futuro a sostenere l'immaginata sopraelevata. L'ingombro è quindi particolarmente contenuto e anche con il rivestimento in calcestruzzo la sezione corrente è risultata di circa 55 x 55 cm.

Particolare importanza hanno anche i particolari di attacco della colonna agli altri elementi strutturali.

Il primo: l'ancoraggio al palo di fondazione è costituito da due elementi distinti: una piastra di base di ridotte dimensioni (600 x 600 mm - in pianta - e 50 mm di spessore) e una serie di barrotti Φ 40 mm disposti a quinconce fra le due ali della colonna per una lunghezza variabile a seconda del carico agente sulla colonna e da trasferire al calcestruzzo del palo (figura 15).

Il secondo: Le piastre di capitello destinate a supportare il solaio intermedio di mezzanino e quello di copertura sono state unificate per tutte le colonne. Il carico massimo agente su di esse è di circa 100 t, hanno spessore di 50 mm e misurano in pianta 800x800 mm. Questa dimensione è stata dettata dalla verifica a punzonamento del solaio a piastra ad essa vincolato.

Una particolarità: queste colonne in acciaio non avevano giunti e furono costruite e poste in opera in un solo pezzo.

Questa è una testimonianza dell'indispensabilità dell'impiego delle colonne in acciaio, senza le quali la procedura costruttiva proposta, che minimizzava i tempi e l'impatto con la viabilità esterna, non si sarebbe potuto realizzare.

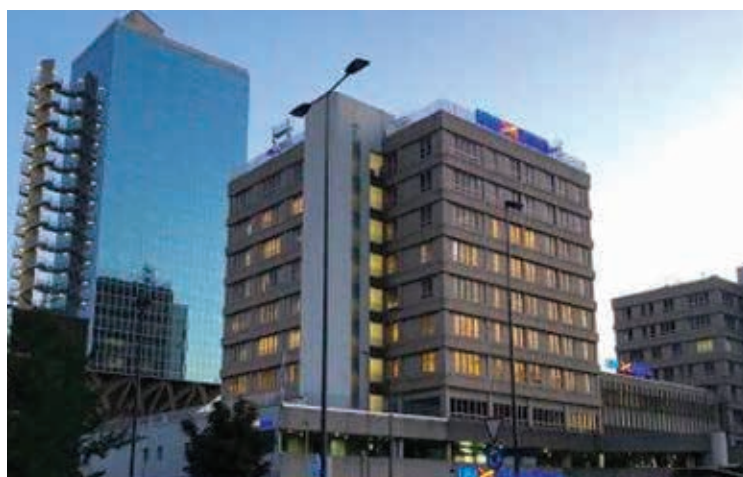


Fig. 16 | Edificio civile con tre corpi fabbrica in via Cefalonia, 62 - Brescia

Realizzazione di strutture di edifici civili con colonne in acciaio e solai a piastra in calcestruzzo

Un diverso campo di impiego di colonne in acciaio è quello di edifici civili con un significativo numero di piani, dimensioni delle aree tributarie importanti e quindi carichi verticali elevati da trasferire in fondazione.

Nella pratica professionale abbiamo alcune volte incontrato schemi funzionali e distributivi di edifici, prevalentemente destinati ad attività economiche, piuttosto che abitative, che prevedevano gli elementi verticali di sostegno su maglie quadrate con dimensioni significative di circa 7,0 / 8,0 m di lato.

L'approccio strutturale degli esempi, che qui di seguito sono riportati, è quello di edifici con vano scala-ascensori in c.a. con funzione di elemento strutturale che assicura la stabilità globale dell'edificio, solai a piastra (o a fungo) in c.a. e colonne (pendolari) in acciaio.

Questa tipologia strutturale permette di realizzare su maglie significative (~7,5x7,5 m) spessori strutturali di solaio contenuti e piani (~ 24/26 cm), permettendo così la fruizione di significativi spazi per l'installazione di impianti di vario genere. Permette inoltre di realizzare una completa compartimentazione fra un piano ed il sovrastante.

Qui di seguito alcuni esempi:

- Brescia Via Cefalonia 62 ex San Giovanni Bosco Brescia (1975)

Con l'esperienza fatta precedentemente, sempre nell'ambito dello Studio Finzi e Nova, per la realizzazione della Sede dell'Alfa Romeo ad Arese e della vecchia sede della 3M Minnesota a Milano San Felice, quando nel 1975 si presentò l'occasione di progettare le strutture di Sede della Camera di Commercio di Brescia e del Banco di Brescia, si pensò di utilizzare lo stesso impianto strutturale (figura 16). Nuclei controventanti in c.a., solai a piastra in c.a. su maglia 6 x 6 m e 8,5 x 8,5 m e colonne pendolari in acciaio.

In figura 18 è rappresentata una vista del corpo di fabbrica più alto e in figura 17 la pianta delle colonne dei 3 corpi di fabbrica. Le colonne sono disposte nei vertici di una maglia progettuale di 6,0 x 6,0 m e nel corpo centrale nei vertici delle diagonali in modo da realizzare una maglia 8,50 x 8,50 m, più consona alla destinazione a parcheggio a disposizione degli occupanti dei due corpi di fab-



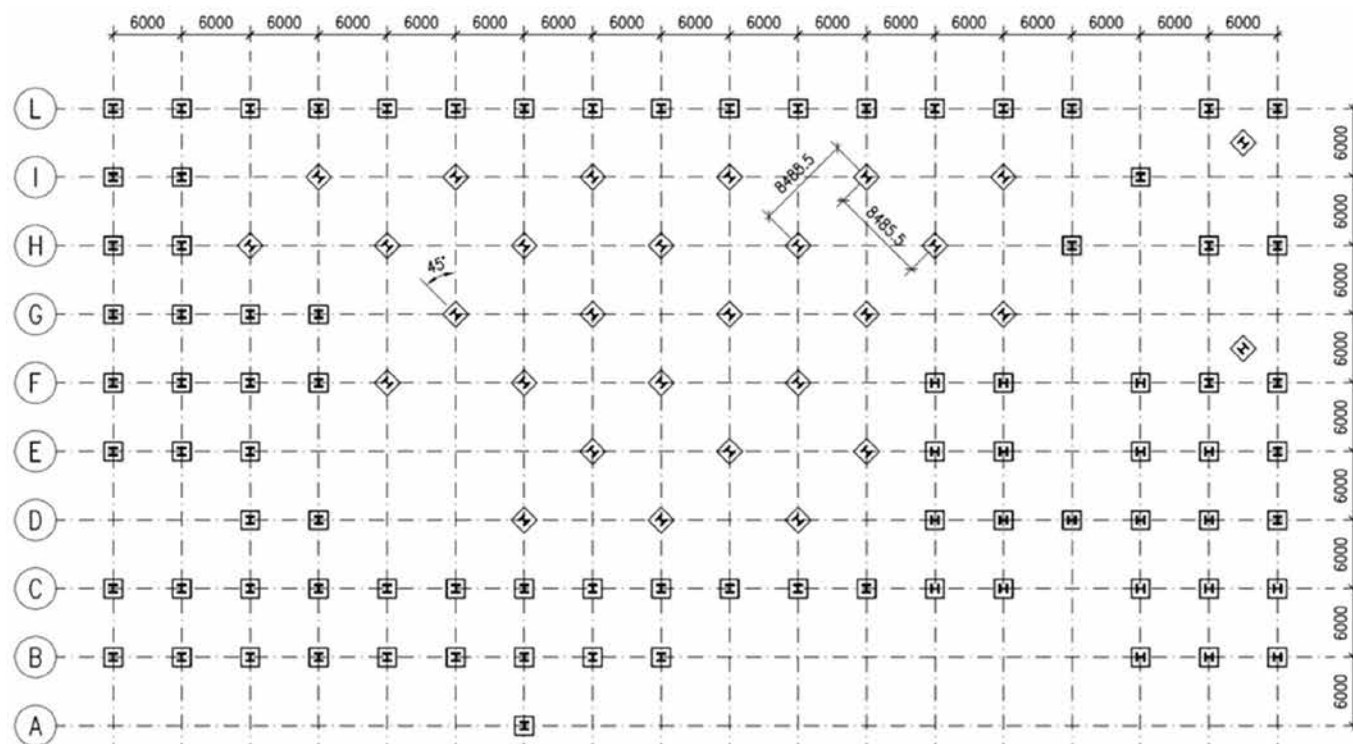


Fig. 17 | Pianta colonne



Fig. 18 | Edificio più alto

brica in elevazione.

I dettagli di queste colonne (sezioni, giunti, capitelli di solaio, basi di fondazione etc.) sono abbastanza tipici. I tronchi di colonne messe in opera furono in questa soluzione sono pari a 2 interpiani.

- Edificio U10 Università della Bicocca – progetto - (2003-2008)

Questo interessante progetto, impostato e portato a livello di progetto definitivo dal ns studio (è ora in fase di realizzazione - proprio nei giorni scorsi sono apparse notizie di stampa in tal senso) è

costituito da due corpi di fabbrica (uno destinato ad aule di didattica, l'altro (in elevazione) ad uffici (figura 19).

Una pianta tipica (figura 20) rappresenta chiaramente la disposizione delle colonne e le maglie quadrate del solaio con dimensioni non trascurabili sono di circa 7,5x7,5 m.

Questo schema strutturale permette in questo caso, come negli altri esposti di avere aree fruibili senza il condizionamento della presenza di elementi verticali. Infatti in genere le colonne sono disposte perimetralmente e/o lungo gli allineamenti dei corpi scala, con significativi interessi, lasciando ampi spazi alla fruizione delle aree.

Le colonne sono realizzate in piatti saldati in acciaio S355 con un perimetro esterno quadrato di 350 x 350 mm costante per tutta la lunghezza della colonna (e l'altezza del fabbricato) (figura 21). Le aree resistenti sono proporzionali ai carichi ai vari livelli e sono decrescenti con l'altezza. Sono aree significative anche dell'ordine dei 500,0 cm² per delle azioni verticali dell'ordine dei 10.000 kN alla base, che decrescono fino ad oltre la metà in sommità. Queste colonne sono elementi verticali che, rivestimento anti fuoco com-



Fig. 19 | Edificio U10 – Univ. Bicocca, Milano

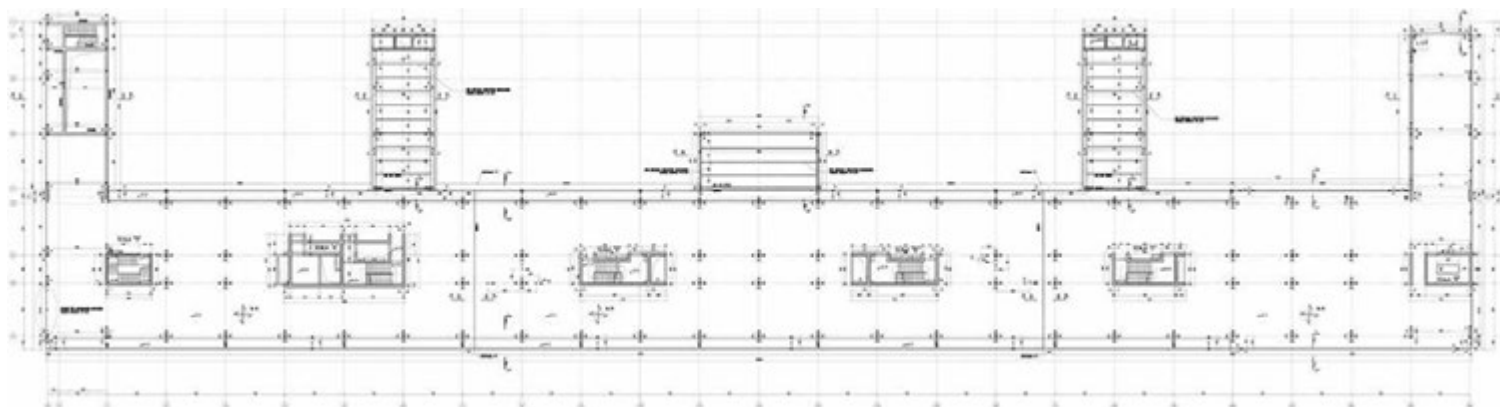


Fig. 20 | Edificio U10 Bicocca – Pianta solaio +8.80

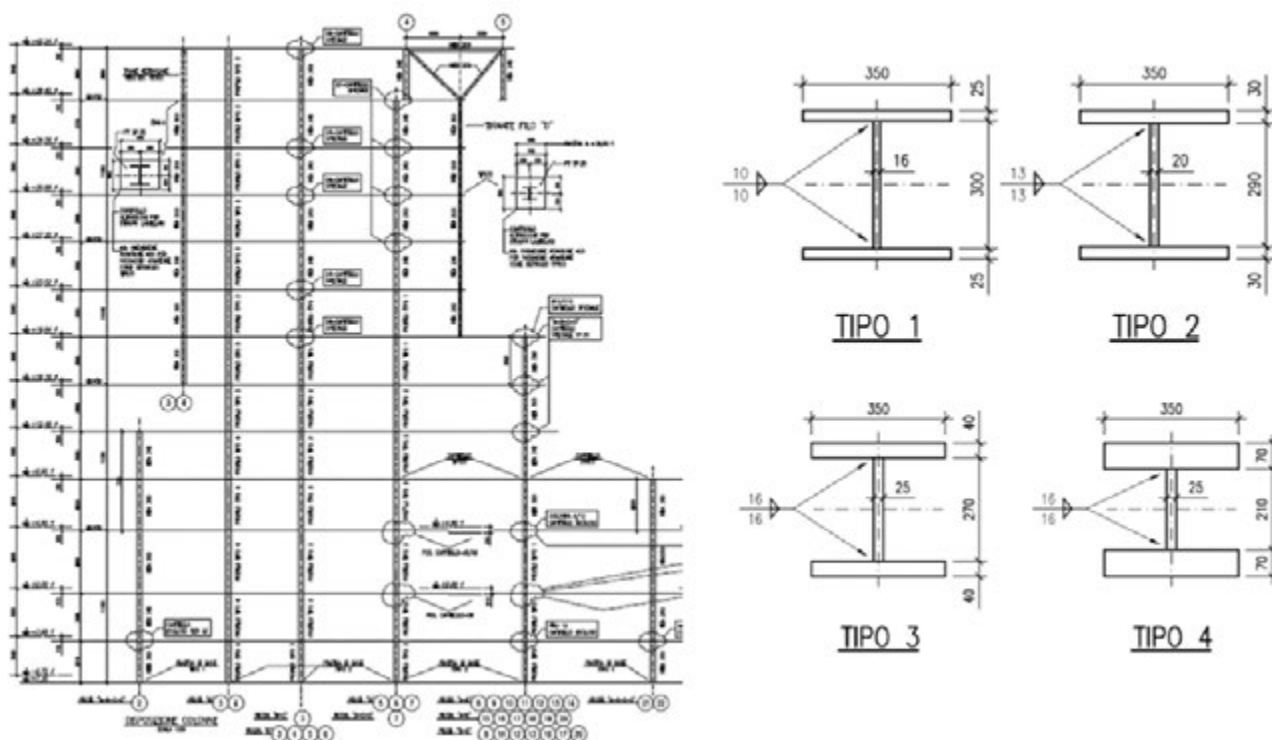


Fig. 21 | Edificio U10 Bicocca – Colonne metalliche

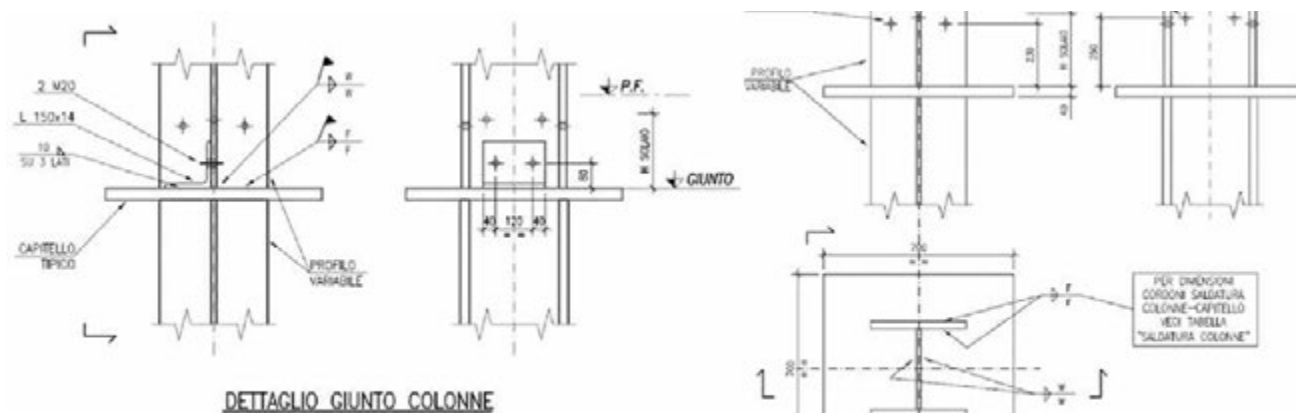


Fig. 22 | Edificio U10 Bicocca – Dettaglio giunto colonne

preso, hanno una impronta in pianta di poco oltre la metà di un equivalente pilastro in cls ad alte prestazioni resistenziali, che richiede però una particolare accuratezza e criticità di realizzazione. Il collegamento di queste colonne con i solai in calcestruzzo avviene tramite una piastra di capitello delle dimensioni di 700x700 mm con spessori dell'ordine dei 40/50 mm. In questo punto di collegamento occorre fare particolare attenzione all'effetto di punzonamento sul solaio in cls. Furono a suo tempo condotte sperimentazioni presso il Politecnico di Milano (all'epoca della realizzazione della stazione Centrale FS di Milano) che permisero di adottare criteri di progetto per contrastare efficacemente queste azioni taglianti (figura 22).

- Edificio Zip Padova – concorso – (2008)

La figura 23 testimonia che lo schema strutturale che impiega le colonne in acciaio ed i solai in c.a. può essere utilmente impiegato anche in edifici con morfologia architettonica complicata e affascinante.



Fig. 23 | Edificio Zip Padova - Rendering

In questo edificio oltre ai nuclei scala-ascensori in c.a. furono previste anche controventature perimetrali in acciaio che ben si collegano alle colonne in acciaio (figura 24).

Purtroppo il committente non diede seguito alla realizzazione dell'edificio vincente il concorso internazionale.



Fig. 25 | Edifici di via Tortona 37, Milano – Vista d'insieme

- Edifici di via Tortona 37 – Milano (2005)

Un'altra occasione progettuale e realizzativa dell'impiego di colonne in acciaio è stata quella relativa alla costruzione del complesso edificatorio di via Tortona, 37 in Milano, costituito da 5 corpi di fabbrica indipendenti fra di loro, simili ma non perfettamente uguali (figura 25).

Anche in questo caso le maglie strutturali erano significative (8,40 x 8,40 m) e l'interpiano era di oltre 7,0 m, perché la soluzione funzionale e architettonica prevedeva, nelle varie unità immobiliari, la realizzazione di ammezzati che movimentavano la fruizione delle superfici e permettevano una globale utilizzazione del volume a disposizione.

E anche in questo caso si propose e si realizzò lo schema strutturale: colonne in acciaio e solaio in c.a. a piastra di contenuto spessore (~32 cm) in rapporto alle dimensioni della maglia (figura 26). Le sezioni delle colonne in questa applicazione sono più contenute (con un max di circa 330 cm²), in quanto i carichi massimi sono dell'ordine di 5.000 kN, però la snellezza è più significativa.

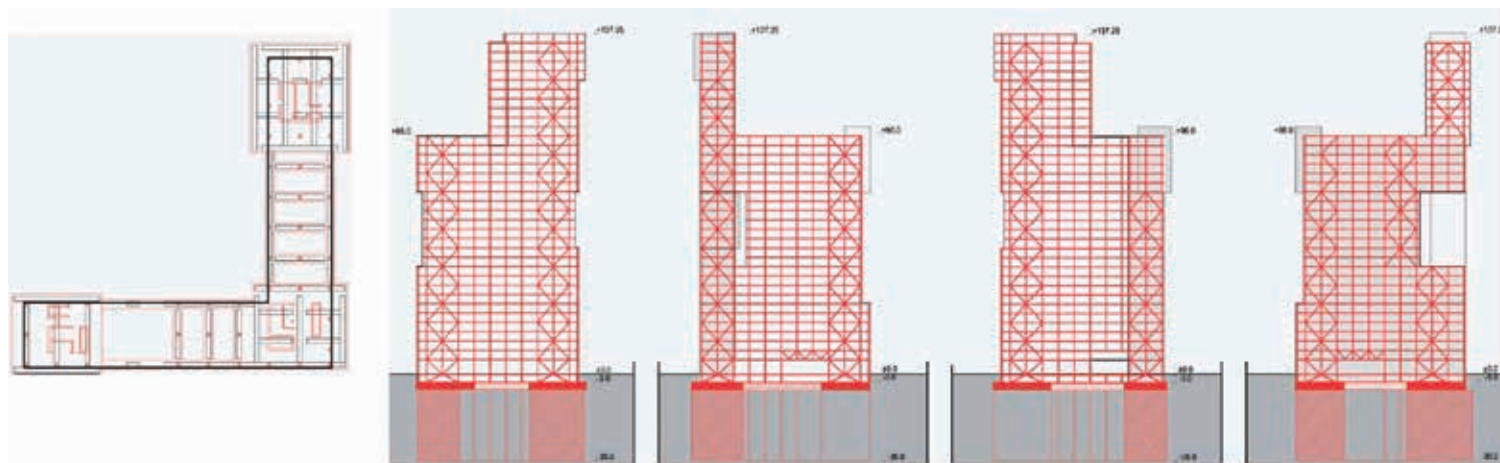


Fig. 24 | Edificio Zip Padova – Pianta e schema controventature

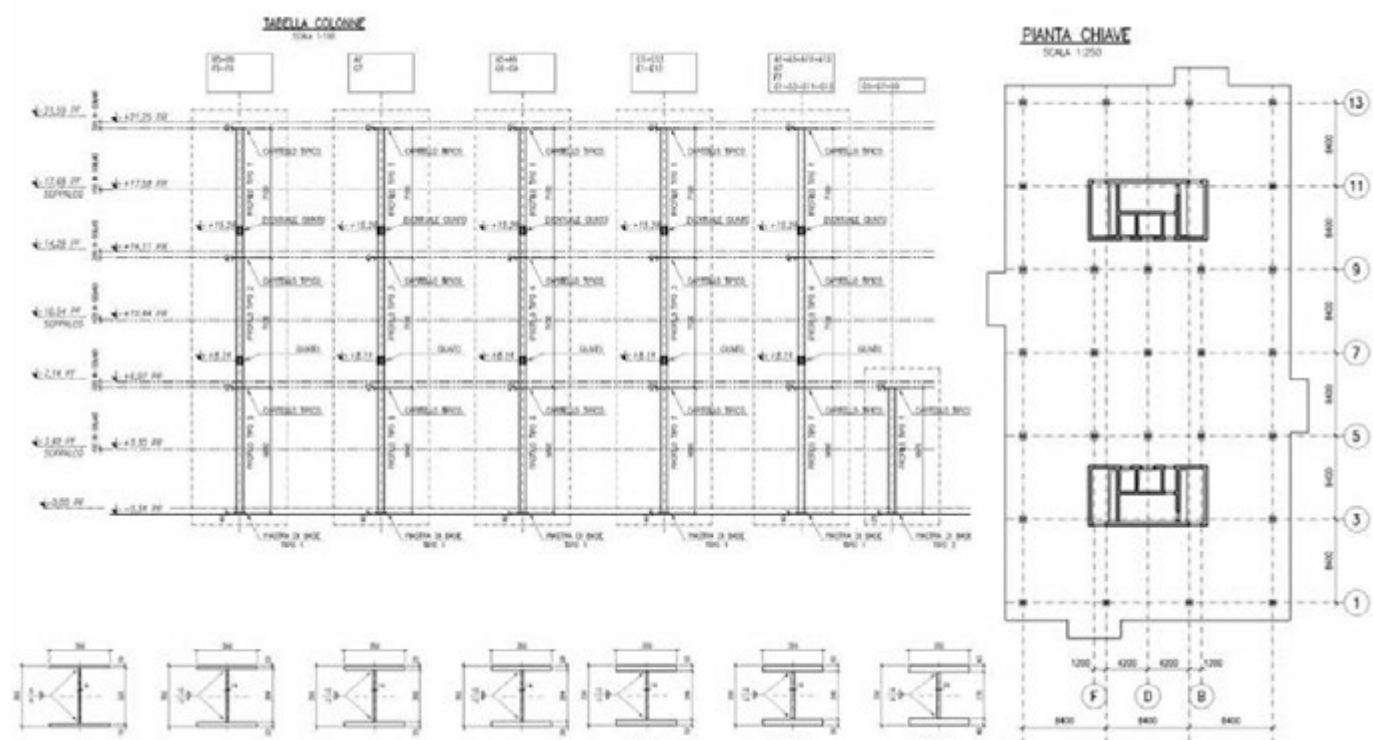


Fig. 26 | Edifici di via Tortona 37, Milano – Colonne metalliche

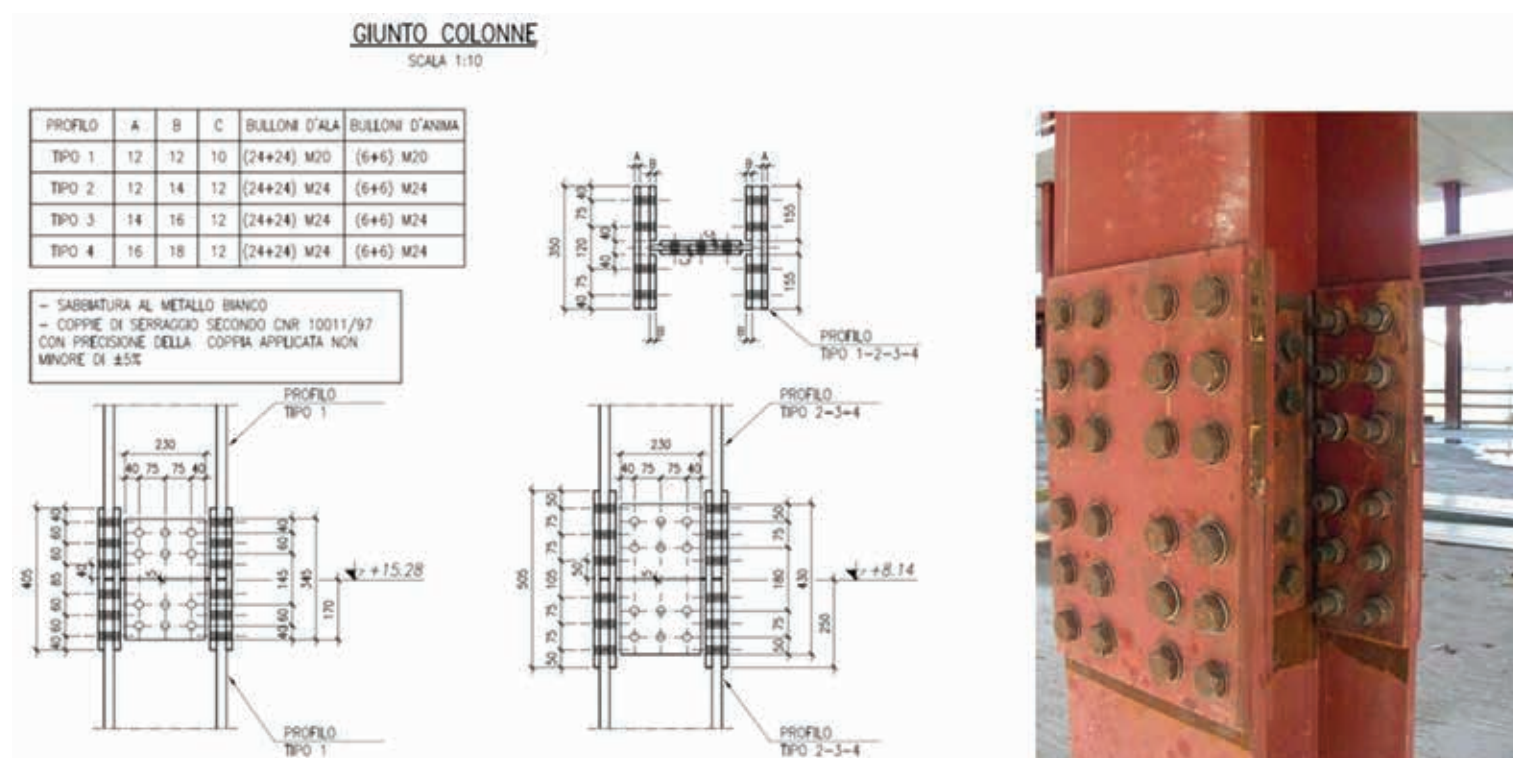


Fig. 27 | Edifici di via Tortona 37, Milano – Giunto colonne

Differente invece la lunghezza dei tronchi di colonna prefabbricati, più contenuta stante la dimensione dell'interpiano, e differente la configurazione del giunto di colonna qui realizzato con bulloni ad attrito e coprigiunti (figure 27-28). La sostanziale ripetitività delle colonne, dei casseri di solaio e delle armature dello stesso, permettono una semi-industrializzazione del cantiere tradizionale, come si può percepire dalle immagini sopra riportate.



Fig. 28 – Edifici di via Tortona 37, Milano – Dettagli strutturali



Fig. 29 | Torre Giax, Milano.

- Edificio di via Imbonati, 62 - Torre Giax - Milano (2009-2014)

La più recente nostra esperienza di impiego di colonne in acciaio è quella relativa ad un Edificio Alto (circa 100 m), nella dimensione italiana del termine, anche se le recenti realizzazioni in Milano hanno fatto rientrare l'Italia nella dimensione europea degli edifici alti (circa 200 m): la Torre Giax in via Imbonati, a Milano (figura 29).

Anche in questo caso si adottò lo schema strutturale: nucleo scale-ascensori come elemento di stabilità globale, solai in c.a. a piastra (sp. 24 cm) e colonne in acciaio (figura 30). Pur essendo la maglia strutturale, (7,7 x 6,9 m) più contenuta rispetto al precedente

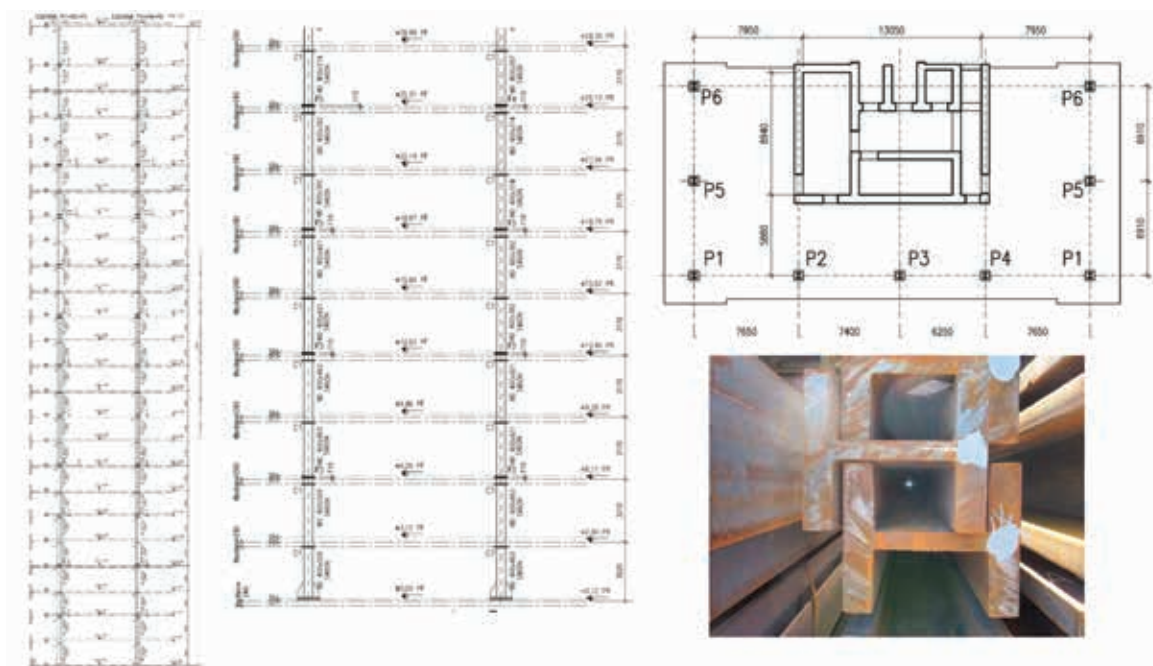


Fig. 30 | Torre Giax, Milano – Colonne metalliche e pianta piano tipo

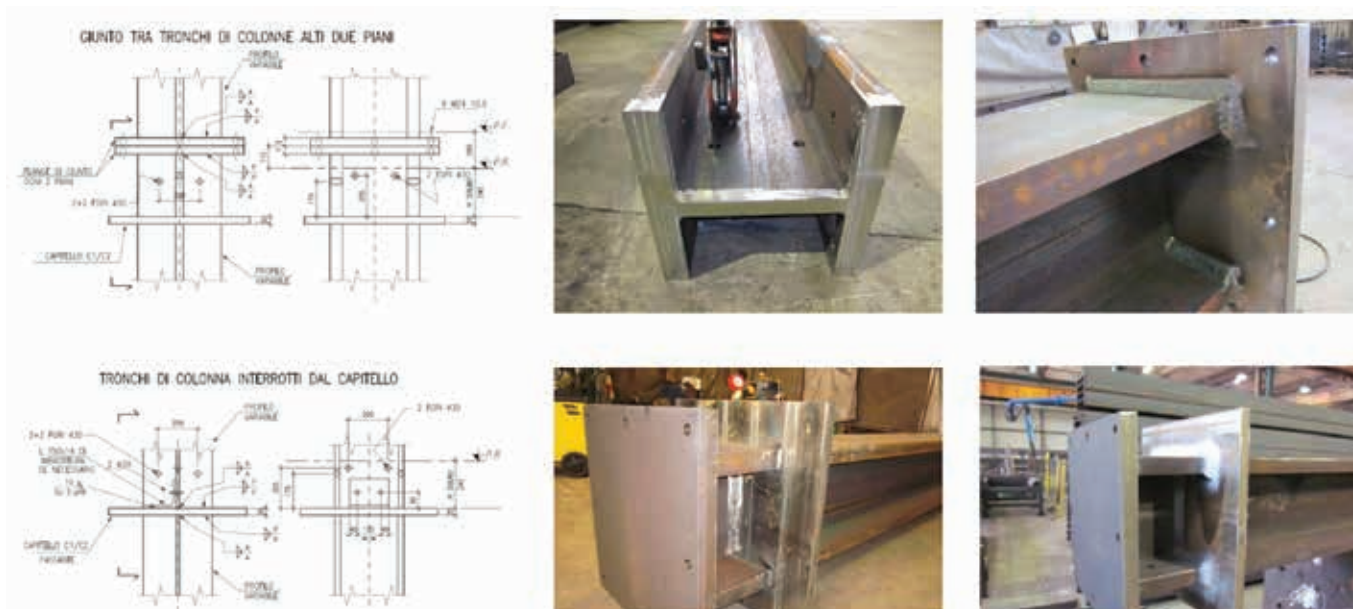


Fig. 31 | Torre Giax, Milano – Dettagli tipici colonne

esempio citato, il numero di orizzontamenti (26) ha determinato azioni nelle colonne di ~ 21.000 kN e una area di sezione di $\sim 550,0$ cm², in acciaio alto resistente S460N. Si utilizzarono pertanto nei tratti più impegnati profilati Arcelor Mittal HD 400x463 S460N Histar. La disponibilità di questo materiale alto resistente, di questi profili laminati compatti di sezione significativa, unita ad una bassa snellezza delle colonne, ha incentivato e reso vantaggioso l'uso delle colonne in acciaio anche in questa realizzazione. La sezione adottata è quella che si vede in figura 30. Ovviamente non è stata utilizzata questa sezione per tutta l'altezza del fabbricato, ma sezioni più contenute, proporzionali ai carichi da sopportare, sempre della stessa serie di profilati e sempre con la stessa natura del materiale alto resistente e di alta qualità, come è stato riscontrato nelle prove di accettazione e controllo. In questa esperienza è stato mutato il disegno del dispositivo di giunto dei tronchi delle colon-

ne (sempre relativi a due interpiani – anche per contenerne il peso da movimentare con le gru di cantiere), realizzando una piastra di giunto ad una quota superiore a quella della soletta al rustico; questa piastra fu spianata e lavorata di macchina, per la realizzazione di un giunto a contatto per trasmettere le azioni verticali. Le azioni interne in questi elementi verticali sono sostanzialmente assiali e le azioni secondarie di flessione e di taglio sono di valore trascurabile; una bullonatura perimetrale nelle sezioni di giunto ne permette l'assorbimento.

Anche il trasferimento dell'azione verticale attraverso la piastra di capitello, destinata a sostenere la soletta in c.a. avviene sostanzialmente per contatto su superfici lavorate di macchina e quindi senza le usuali imperfezioni di planarità delle superfici grezze o lavorate solamente con operazioni di taglio. Ovviamente adeguati cordoni d'angolo di dimensioni proporzionate agli spessori in gio-

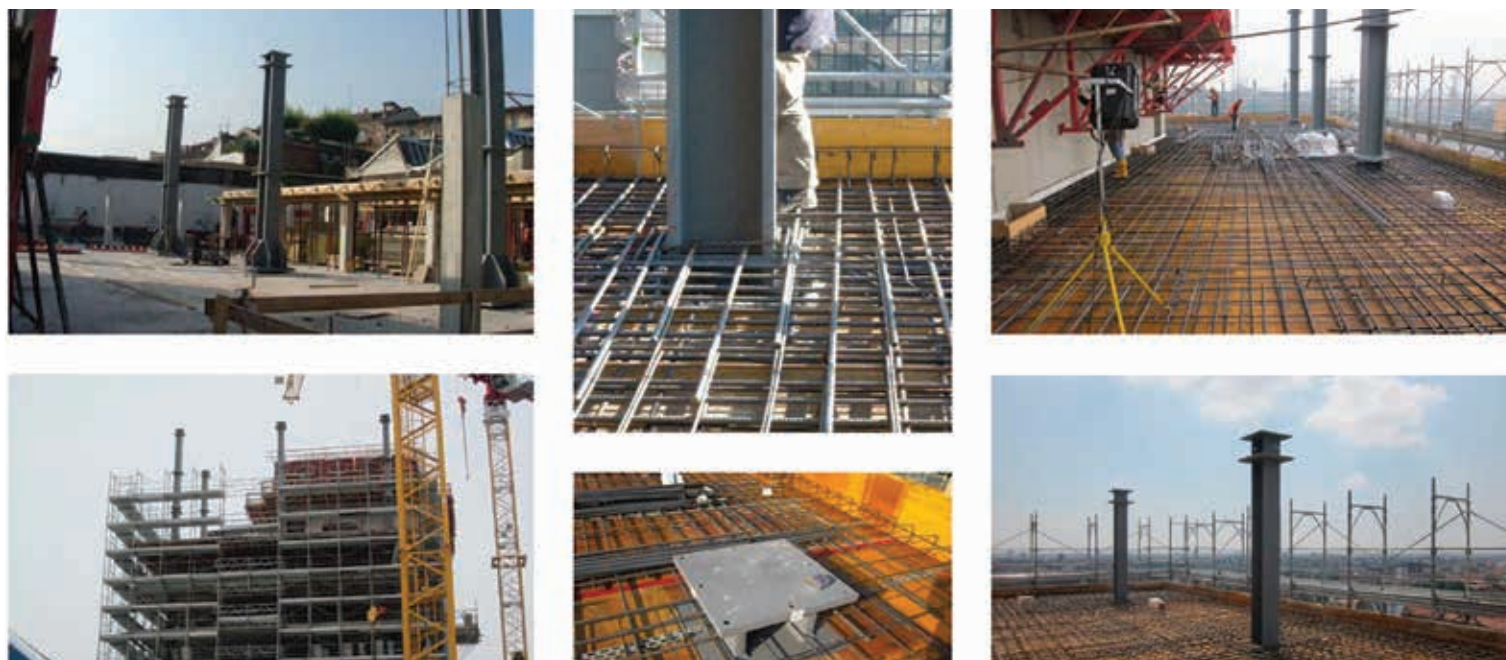


Fig. 32 | Torre Giax, Milano – Fasi costruttive

co, assicurano il collegamento del profilo verticale alla piastra di capitello (figura 31).

Le piastre di base degli elementi verticali hanno dimensioni compatibili con la trasmissione delle azioni verticali al calcestruzzo sottostante e sono vincolate con tirafondi (posizionati con dima) nei pilastri in c.a. sottostanti.

Anche in questa esperienza l'adozione di colonne in acciaio ha permesso di velocizzare la realizzazione degli elementi verticali e della costruzione in genere, che si è sviluppata in elevazione al ritmo di un interpiano alla settimana (figura 32).

Conessioni profili Jumbo e/o di grosso spessore per saldatura e/o per bullonatura

Un utile riferimento per la realizzazione delle connessioni saldate e/o bullonate nei profili con elementi (ali o anime) di grosso spessore è sicuramente costituito dal documento "Practical guide" di Arcelor Mittal (rev. maggio 2021), che suggeriamo di consultare in occasione di utilizzo di questi profili.

Conclusioni

Con questa presentazione speriamo di aver esposto alcuni esempi di utilizzo di colonne in acciaio nella realizzazione di Edifici Alti o in particolari costruzioni, come è stata l'esperienza della costruzione della Stazione FS della Metropolitana Milanese. La disponibilità di profili di grossa sezione e di materiale alto resistente permette infatti di realizzare elementi strutturali verticali (colonne) che convogliano i carichi in fondazione, con dimensioni di contenuta area, anche dopo il rivestimento di protezione al fuoco.

I parametri che giustificano questo utilizzo sono:

- Limitato ingombro – maggiori aree fruibili a disposizione ai piani bassi degli edifici;
- Costruzione al di fuori delle aree di cantiere (officine di carpenteria);
- Facilità e rapidità di messa in opera;
- Miglioramento significativo dei tempi di realizzazione di edifici alti, qualunque sia la natura degli orizzontamenti (sia in acciaio che in c.a.);
- Possibilità di realizzazione di maglie strutturali ampie (maggiori interassi fra le colonne) e quindi migliore fruibilità delle superfici costruite.



ALBERTO VINTANI

Ingegnere strutturista, da oltre 55 anni svolge la propria attività nel settore dell'ingegneria strutturale, come consulente, progettista, direttore dei lavori, collaudatore. Ha fondato nel 1973 con Giulio Ballio e Giovanni Colombo la BCV progetti in Milano. Per oltre 15 anni è stato Direttore Tecnico di progettazione e di produzione della Soc. NOVA S.p.A. di Nova Milanese. Ha partecipato e partecipa a Commissioni dell'UNI e del CEN nel settore delle Costruzioni Metalliche. Dal 1967 è socio del CTA, presidente nel biennio 1988-90. Direttore dal 2007 al 2015 della rivista "Costruzioni Metalliche". Membro dell'Executive Board della ECCS-CECM dal 1998 al 2012 e Presidente dal 2000 al 2002.



G. CLAUDIO CERRA

Ingegnere strutturista, collabora dal 1987 con la BCV progetti di Milano di cui è socio. Si occupa di progettazione e direzione lavori di strutture in acciaio e cemento armato in ambito civile, industriale e infrastrutturale, sia pubbliche che private, realizzate in Italia e all'estero.

RIUTILIZZO DEI CONTAINER INDUSTRIALI

REUSE OF INDUSTRIAL CONTAINERS

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



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.

Il tema del ciclo vita delle costruzioni e dei manufatti prodotti dall'uomo è quanto mai attuale oggi, particolarmente in edilizia. Le costruzioni in acciaio a secco si inseriscono molto bene in questo dibattito (riciclo e controllo del fine vita) a partire dalla costruzione e assemblaggio che avviene a secco con un cantiere pulito in totale prefabbricazione e per finire alla possibilità di riutilizzo del materiale o del riutilizzo delle sue parti.



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



Fig. 1 | Abitazione a Casola Valserio - vista 1



Fig. 2 | Abitazione a Casola Valserio - vista 2

In questo ambito si inserisce il tema del riciclo dei container industriali marittimi e del loro fine vita che permette di poterli riutilizzare in costruzioni modulari e assemblabili proprio come un

cantiere prefabbricato moderno prevederebbe. Il costo del container ricalato può variare dai 2000 ai 2500 Euro a seconda dello stato di conservazione e il prodotto finito per una abitazione o negozio/ufficio utilizzando questi prodotti può abbassarsi fino a 1200-1400 Euro/mq con il valore aggiunto di utilizzare e abitare in un oggetto riciclato, leggero e quindi antisismico con un basso impatto ambientale anche per quello che riguarda le strutture di fondazioni che possono essere realizzate anch'esse a secco (per esempio utilizzando i pali a vite in acciaio) oppure utilizzando elementi prefabbricati in cemento.

Il problema purtroppo, in Italia, riguarda le normative che ancora non agevolano questo tipo di costruzioni. Prima tra tutte la norma che riguarda l'altezza interna minima dei locali abitati che è fissata rigidamente a 270 cm e non consente deroghe. Il container nasce con una altezza leggermente inferiore (263 cm) per cui sono necessarie operazioni di taglio di lamiera che alla fine sono dispendiose in termini di soldi e risorse sfruttate.

Per il resto la capacità di assemblaggio e la componibilità di questi manufatti permette di ottenere le architetture più svariate anche su più piani con parti a sbalzo come vediamo negli esempi che si espongono in queste pagine. L'accostamento di più elementi tra loro (che hanno in genere dimensioni in pianta di 2,40 x 12 m, misure interne) può richiedere l'eliminazione di una delle due pareti di lamiera interne, e la parte di coperto che scaricava prima in corrispondenza di queste può essere sostenuta agganciata a travi trasversali superiori come abbiamo fatto nel caso degli uffici HPE-COXA a Modena (azienda tecnologia in capo a Piero Ferrari per la fabbricazione di parti di motori in 3D). Nel caso particolare di questi uffici, alla fine dei lavori pubblicizzati con un grande evento pubblico per fare risaltare l'aspetto green della costruzione, si sono sostenuti i piani mediante doppie travi trasversali in HEB100 che scaricavano ai lati dei container su ulteriori colonne verticali HEB100.

In altre situazioni abbiamo eliminato la parete rinforzando l'elemento di bordo con profili scatolari saldati di rinforzo e colonne intermedie, come per il centro riuso di Montecassiano oppure quando è necessario impilare i container l'uno sull'altro. In caso di sbalzi si inseriscono dei tiranti diagonali in acciaio con tenditore che vengono poi nascosti nel pacchetto dell'isolamento interno.

A livello di fondazioni abbiamo spesso posato i piedi del container (che ricordiamo si appoggiano sui quattro spigoli di bordo) su dei pozzetti prefabbricati in cemento delle dimensioni di 60x60x60 cm riempiti di cemento e posati a secco nel terreno. In altri casi, soprattutto dove abbiamo container accatastati su più piani, abbiamo optato per una fondazione a platea di spessore comunque contenuto (circa 20 cm).

Per lasciare a vista la lamiera esterna del container in modo da dichiarare la costruzione già a prima vista senza "cammuffare" quella che è la caratteristica principale di queste costruzioni, gli strati coibenti è meglio siano posti all'interno togliendo spazio (circa 10 cm per parte) all'abitabilità ma consentendo il passaggio degli impianti tecnologici nel rispetto di un vero e proprio progetto "a secco".

In conclusione, il sapore industriale di questi manufatti dà certamente una personalità a questi edifici che, come abbiamo visto, non sono solo utilizzati per esigenze temporanee ma spesso per



Fig. 3 – Uffici HPE Coxa – Vista di assieme

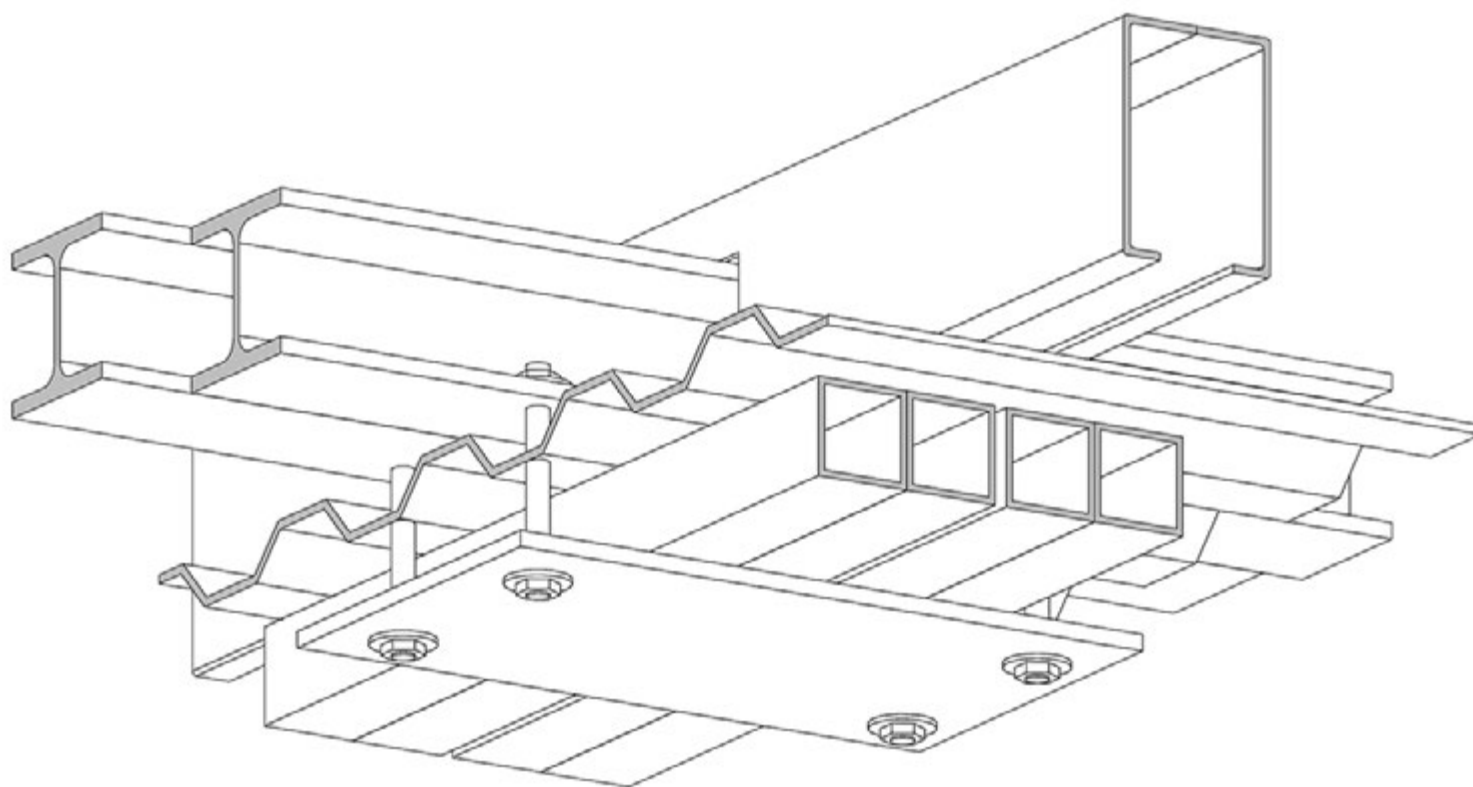


Fig. 4 | Uffici HPE Coxa - Piastra di sostegno della struttura longitudinale del container inferiore appesa ai profili trasversali in HEA100 che stanno nello spessore del piano superiore del container

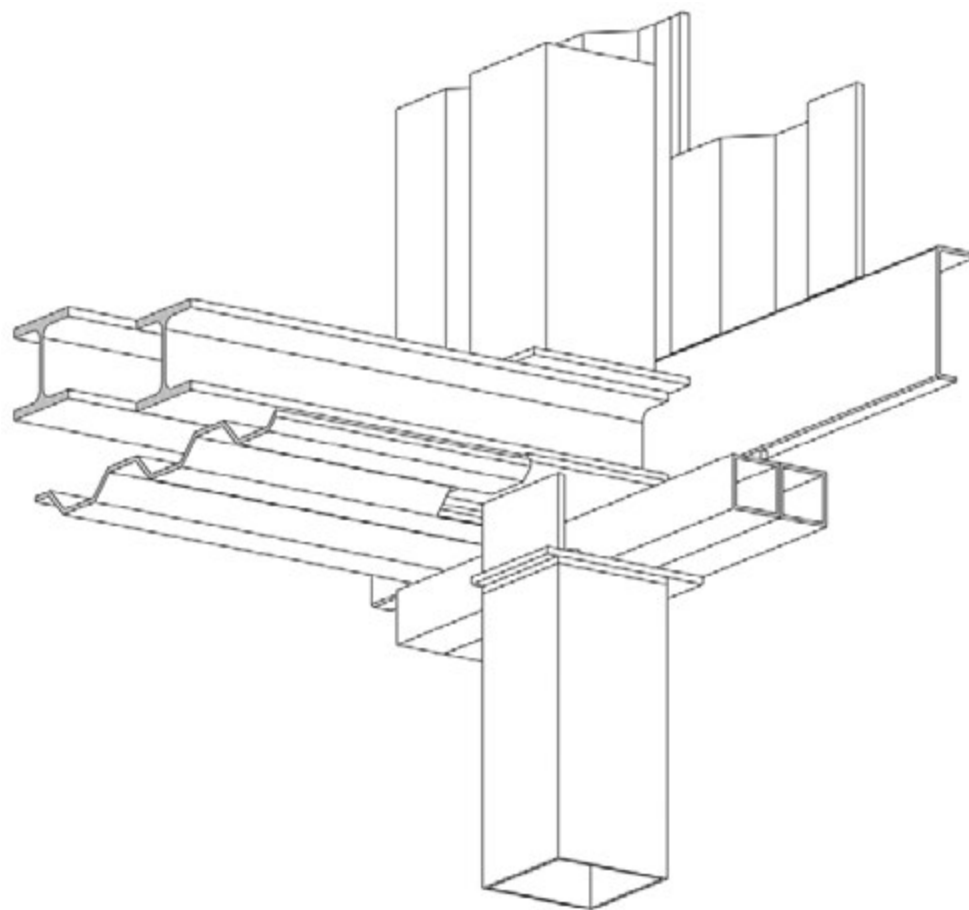


Fig. 5 | Uffici HPE Coxa - Appoggio dei profili HEA100 trasversali su scatolari ai lati del container (si inseriscono nell'intercapedine dell'isolamento)



Fig. 6 | Centro del riuso di Montecassiano - Vista esterna



Fig. 7 | Centro del riuso di Montecassiano - Vista interna

uffici e anche per abitazioni previo l'adattamento alle altezze interne che comporta purtroppo, come abbiamo detto, alcune lavorazioni di saldatura e taglio onerose dal punto di vista dell'energia impiegata.

Il riutilizzo dei container è quindi una opzione che può essere valutata per l'impiego in architettura per mettere "in pensione" di-

gnitosamente queste grandi scatole in lamiera che hanno nella loro vita lavorativa letteralmente girato il mondo!

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.

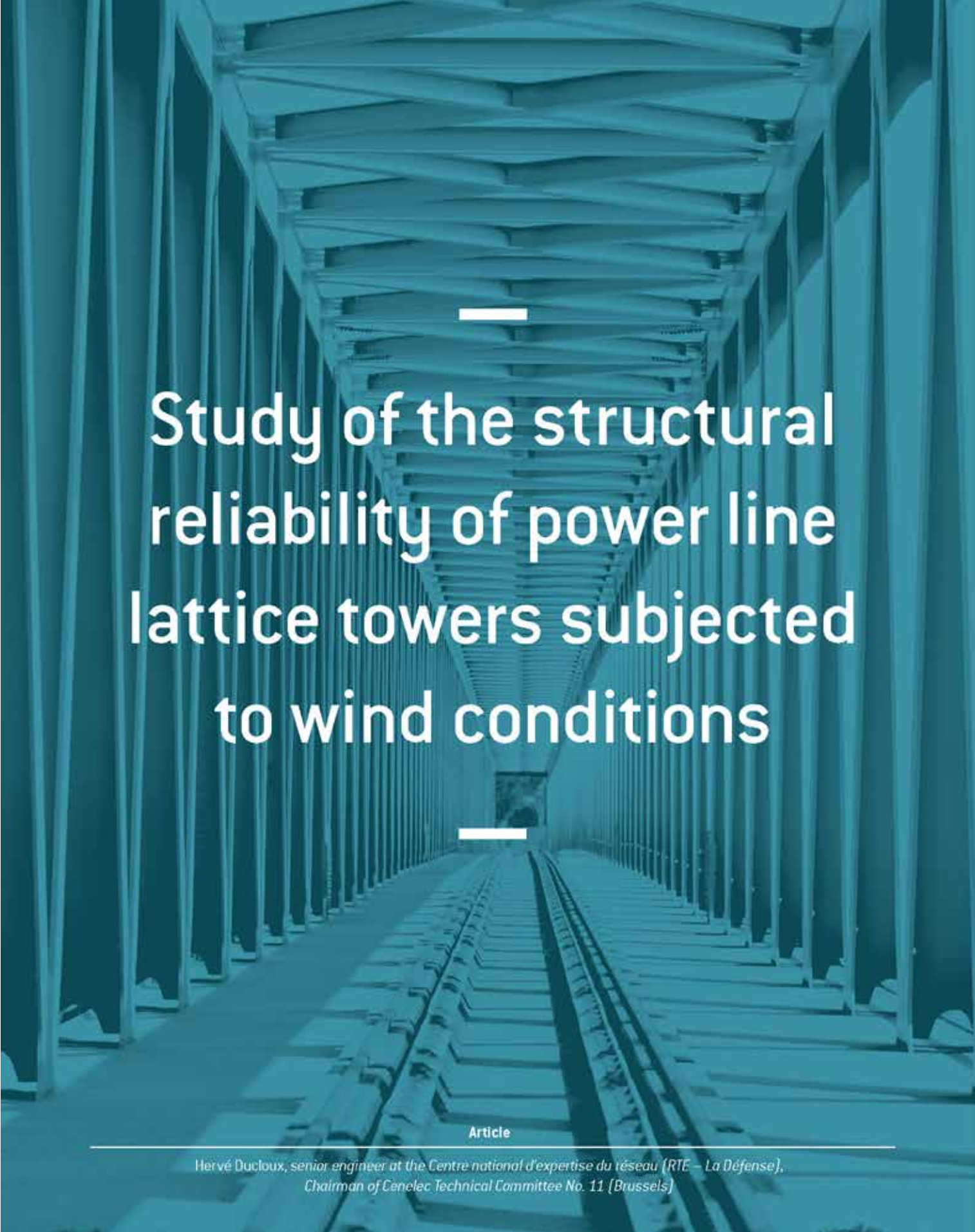
Iniziamo da questo numero una collaborazione con la *Revue construction métallique*, organo ufficiale dell'ente francese CTICM (*Centre technique industriel de la construction métallique*). La rivista *Revue construction métallique* è una pubblicazione trimestrale peer-reviewed pubblicata dal 1964. Attualmente pubblicata in forma bilingue francese-inglese, offre ad oggi principalmente articoli scientifici relativi alla ricerca in cui il CTICM è coinvolto. Compaiono anche esempi e note di calcolo di strutture semplici o complesse, spiegazioni di punti particolarmente complicati degli Eurocodici, analisi di errori di progettazione dovuti ad inesperienza che si dovrebbe cercare di evitare. La rivista infatti raccoglie la grande esperienza del CTICM, organo di diritto privato, operante sotto la vigilanza del Ministero Francese dell'industria che per statuto vuole contribuire allo sviluppo tecnologico dell'uso dell'acciaio nelle costruzioni, nel rispetto dei vincoli normativi e ambientali.

L'attività del CTICM è molto estesa e comprende:

- Ricerche nel campo del comportamento - freddo e caldo - delle costruzioni metalliche, per migliorarne le prestazioni strutturali e ambientali;
- Partecipazione ad attività normativa nel settore;
- Trasmissione della conoscenza attraverso la formazione, la pubblicazione di libri e manuali, la fornitura di software;
- Sviluppo di azioni di supporto e consulenza su progetti strutturali.

La nostra rivista in passato aveva pubblicato articoli significativi ed utili tratti da altre riviste europee. Si riprende ora con questa collaborazione che ci si augura possa raccogliere il consenso dei nostri lettori.





Study of the structural reliability of power line lattice towers subjected to wind conditions

Article

Hervé Ducloux, senior engineer at the Centre national d'expertise du réseau (RTE – La Défense),
Chairman of Cenelec Technical Committee No. 11 (Brussels)

1 | Introduction

The Eurocodes are a family of standards dedicated to the dimensioning of civil engineering structures. They group together a set of calculation rules whose respect makes it possible to guarantee a certain level of reliability, which is expressed in the probability of structural failure P_f .

This probability of failure P_f is associated with a reliability index β via the relation $P_f = \Phi(-\beta)$, where Φ is the cumulative standard Normal distribution. The interest of having such an index is explained in the following.

The use of the Eurocode rules does not require any probabilistic reliability calculation: it is a semi-probabilistic method that uses characteristic values of stresses and resistances, coupled with partial factors. The pre-calibration of the latter makes it possible to implicitly guarantee that the structures calculated with the Eurocode rules will exhibit a probability of structural failure below a threshold value, considered as admissible.

The EN 1990 [1] standard, sometimes called Eurocode 0, associates the structural failure of buildings with classes of consequences: the more important the consequence of the failure is in terms of loss of human life, economic, social or environmental consequences, the higher the reliability index must be. The medium consequence class (residential or office buildings) is associated with a reliability index β of 4,7 for a reference period of 1 year, i.e. an annual probability of failure $P_{f,1\text{year}} \sim 1,3 \times 10^{-6}$.

For a different reference period, it is possible to calculate a different reliability index β . For example, for a reference period of 50 years, $P_{f,50\text{years}} = 1 - [1 - P_{f,1\text{year}}]^{50} \sim 6,5 \times 10^{-5}$ and $\beta \sim 3,8$.

A note in Annex B of EN 1990 explains the link between the Eurocode calculation rules and the expected reliability index β :

« A design using EN 1990 with the partial factors given in Annex A1 [Application for Buildings] and EN 1991 to 1999 [Eurocodes 1 to 9] is considered generally to lead to a structure with a β value greater than 3,8 for a reference period of 50 years. »

Lattice towers are not buildings that house people: the potential consequences of a structural failure in terms of loss of human life are therefore much lower than in the case of residential or office buildings.

The loads on telecommunication towers and the associated partial factors are given in standard EN 1993-3-1 [2]. New consequence classes are also proposed, more adapted to this particular type of structure.

The loads on power line towers and the associated partial factors are given in EN 50341-1 [3], as recalled in the foreword to EN 1993-3-1. In fact, most of the wind or ice loads acting on this type of structure come from the cables they support. Method to calculate those loads is not provided for in standard EN 1993-3-1, whose informative annexes B and C are clearly dedicated to wind or ice loads on telecommunication towers. Standard EN 50341-1 proposes partial factors associated with three levels of reliability, essentially linked to the needs of the electrical system. It naturally reminds that the consequence class of the structural failure of a power line tower is low in the sense of standard EN 1990.

The strength of metallic structural elements of telecommunication towers and power line towers is calculated using the common rules of EN 1993-3-1 and other parts of Eurocode 3.

Unlike EN 1990, EN 1993-3-1 and EN 50341-1 do not give any indication of the reliability index associated with their calculation rules. This study attempts to explain how to estimate this reliability index in the general case using the First Order Reliability Method (FORM), before performing a generic calculation adapted to power line towers.

2 | FORM Method - A first overview with a simple case

The fundamental principle of reliability calculation is to compare two random variables: the effect E of the actions on the structure at the level of a structural element and the resistance R of this element. In the case of a lattice tower, a structural element is a metal profile such as an angle.

The effect E comes from a structural analysis of the tower subjected to all the actions considered at the time of its design. In the context of this study, for reasons of simplification, it only concerns the actions due to wind and weight. For the sake of simplification, this effect E is translated into a simple compression force in the profile studied.

The compressive strength R of the profile, usually the buckling resistance in the case of slender lattice tower members, counters the effect E and as long as $R \geq E$, there is no failure of the structural member. If E and R are two unbounded random variables, there is a non-zero probability such that $R < E$: this is the probability of structural failure P_f .

First, it is considered that E and R follow Normal distributions, with means μ_E and μ_R and standard deviations σ_E and σ_R respectively. The origins of E , wind and weight, are considered as already integrated in this single random variable.

The comparison of E and R is done using another random variable $g = R - E$, called the performance function in EN 1990. The limit between failure and non-failure corresponds to $g = 0$. Since this new variable g is the sum of two Normally distributed random variables, its mean and standard deviation are written: $\mu_g = \mu_R - \mu_E$ et $\sigma_g = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_R^2}$

Writing $g = 0$ means looking for the number of standard deviations α_g that separates 0 from the mean μ_g . This number, which is equal to (μ_g / σ_g) ou $[(\mu_R - \mu_E) / \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_R^2}]$, directly gives the probability of structural failure: $P_f = \Phi(-\mu_g / \sigma_g)$.

This number of standard deviations is in fact the reliability index β mentioned in the introduction.

However, this intermediate step is not sufficient to introduce the FORM method.

E and R must now be expressed as a function of two random variables U_E and U_R distributed according to the standard Normal distribution (zero mean and unit standard deviation). Since E and R follow Normal distributions, this expression is trivial: $E = \mu_E + \sigma_E \times U_E$ et $R = \mu_R + \sigma_R \times U_R$

The function $g = R - E$ can now be written $g = \sigma_R \times U_R - \sigma_E \times U_E + (\mu_R - \mu_E)$

Finally, the failure limit defined by $g = 0$ can be written as: $0 = \sigma_R \times U_R - \sigma_E \times U_E + (\mu_R - \mu_E)$

This is the equation of a straight line in the plane $(U_R; U_E)$ which takes the following standard form:

$$0 = \left(\frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_R^2}} \right) \times U_R - \left(\frac{\sigma_E}{\sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_R^2}} \right) \times U_E + \left(\frac{\mu_R - \mu_E}{\sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_R^2}} \right)$$

Or:

$$0 = \alpha_R \times U_R - \alpha_E \times U_E + \beta$$

The two factors α_E and α_R are called sensitivity factors of the FORM method. They are linked by the relation: $\alpha_E^2 + \alpha_R^2 = 1$

The following example illustrates this approach:

- the effect E of the actions in the bar (compression) has a mean value of 100 kN and a standard deviation of 35 kN,
- the resistance R of the bar has a mean value of 400 kN and a standard deviation of 60 kN.

The values of the sensitivity factors α_E and α_R are then 0,50 and 0,86 respectively.

The reliability index β is 4,3 which gives a probability of failure P_f of about $8,5 \times 10^{-6}$.

The line $g = 0$ has the following equation: $0 = 0,86 \times U_R - 0,5 \times U_E + 4,3$

The representation of this line in the plan $(U_R; U_E)$ is given in Figure 1. The reliability index β corresponds to the distance between this line and the origin of the plane. The point on the line closest to the origin, i.e. at the distance β from the origin, has the coordinates $(U_R = -\alpha_R \times \beta; U_E = \alpha_E \times \beta)$. Of all the limit points on the line $g = 0$, this point is the most likely failure limit point.

This limit point corresponds to two particular values of E and R on the line $g = 0$, which will first be called E^* and R^* : $E^* = \mu_E + (\alpha_E \times \beta) \times \sigma_E$ et $R^* = \mu_R - (\alpha_R \times \beta) \times \sigma_R$. These expressions of E^* and R^* allow us to write that the probabilities $P(E \geq E^*)$ and $P(R \leq R^*)$ are respectively $\Phi(-\alpha_E \times \beta)$ and $\Phi(-\alpha_R \times \beta)$.

This chapter introduces the notion of reliability index as a number of standard deviations, and the fundamental notion of sensitivity factors.

The following chapter really shows the interest of the FORM method when E is replaced by the combined effects of the weight G and the wind W , and when all the random variables are no longer distributed according to Normal distributions.

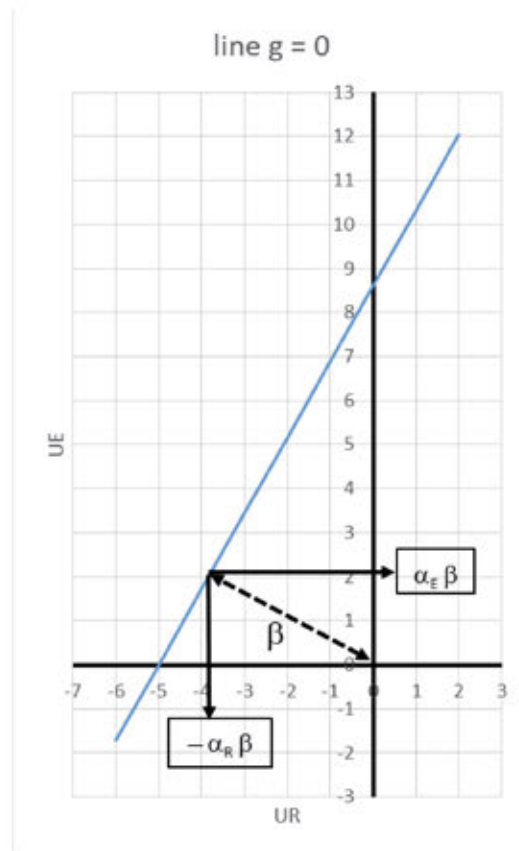


Figure 1: Representation of the line $g = 0$ for the example of chapter 2

3 | FORM Method - A resolution algorithm for a more complex case

EN 1990 proposes, in a note to Annex C, to use the following distributions to assess the structural reliability index β :

- for resistance R : a Weibul distribution or a Lognormal distribution,
- for weight effects G : a Normal distribution,
- for the effects of variable actions such as wind W : a distribution of extreme values.

Since Annex D of EN 1990 uses only the Lognormal distribution to determine design values of resistances from experimental results, it is quite naturally this type of distribution that will be used in the following for the resistance R .

In EN 1990, as in EN 1991-1-4 [4], the only extreme value distribution used is the Gumbel distribution (type I extreme value distribution), which is therefore used in the following for the distribution of the wind effect W .

The particular structural element of the tower, the subject of the remainder of this study, is commonly referred to as a leg member (Figure 2). It is, according to the very definition of EN 1993-3-1, the main load-bearing element of the tower.

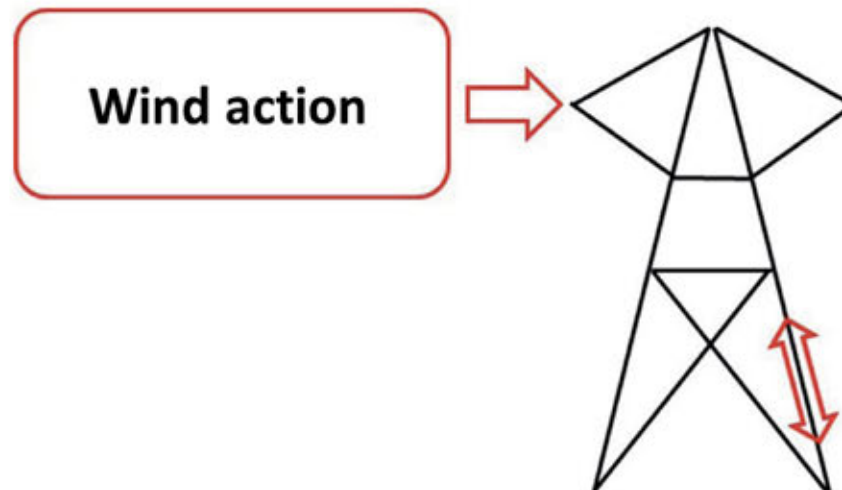


Figure 2: Schematic representation of a tower subjected to wind action; the wind generates a compressive force (double arrow) in the leg member opposite to the wind direction.

The structural analysis shows that the leg members support practically all the weights acting on the structure: the own weight of the structure itself and the weight of the objects it supports. For a four-leg self-supporting tower, each bottom leg member of the tower is put under compression by a quarter of these weights: it is this compression force that is named G in the following.

The action of the wind, which is assumed to be perfectly perpendicular to one of the faces of the four-leg tower, will generate a tensile force in the two leg members of the windward face and a compressive force in the two members of the leeward face: it is this compressive force that is named W in the following.

The two effects G and W add up to form a single force E in the two leg members subjected to the greatest compression. The resistance R of each of these members resists $E = G + W$ and the performance function g is now written: $g = R - (G + W)$.

G , W and R must be expressed, as in the [previous chapter](#), as a function of U_c , U_w and U_R , three random variables distributed according to a standard Normal distribution. To do this, simply use the inverse cumulative distribution functions F^{-1} of each variable and write: $G = F_G^{-1}(\Phi(U_c))$, $W = F_W^{-1}(\Phi(U_w))$ and finally $R = F_R^{-1}(\Phi(U_R))$.

Since the choice here is to remain as close as possible to the spirit of EN 1990, the simplifications proposed in Annex C (Table C.3) for the three distributions mentioned above are used directly:

$$G(U_G) = \mu_G + \sigma_G \times U_G$$

$$W(U_W) = \mu_W - 0,45 \times \sigma_W - 0,78 \times \sigma_W \times \ln(-\ln[\Phi(U_W)])$$

$$R(U_R) = \mu_R \times \exp(CV_R \times U_R) \quad \text{with } CV_R = \sigma_R / \mu_R \text{ (coefficient of variation of R)}$$

Given all the assumptions that will be made about the coefficients of variation of each of the variables G, W and R, using simplified models is not absurd. Nevertheless, the results that will be obtained will be compared in the following to those that would have been achieved with strictly exact expressions.

These expressions of G, W and R now allow us to express $g = 0$ as a function of U_G , U_W or U_R :

$$0 = \{\mu_R \times \exp(CV_R \times U_R)\} - \{\mu_G + \sigma_G \times U_G\} - \{\mu_W - 0,45 \times \sigma_W - 0,78 \times \sigma_W \times \ln(-\ln[\Phi(U_W)])\}$$

In this state, even with the simplified expressions, it is practically impossible to find the triplet $(-\alpha_R \times \beta, \alpha_G \times \beta, \alpha_W \times \beta)$ that would correspond to the nearest limit point of the origin, and thus determine the reliability index β .

This is where the notion of "first order" contained in the acronym FORM (FO stands for "First Order") comes into play. In the three-dimensional space defined by (U_R, U_G, U_W) , $g = 0$ depicts a failure limit surface. The idea is to assimilate this surface to a plane by performing a first-order limited development around a particular point and thus return to an expression of $g = 0$ of the type:

$$0 = \alpha_R \times U_R - \alpha_G \times U_G - \alpha_W \times U_W + \text{constant}$$

For this, the partial derivatives of g as a function of U_G , U_W and U_R must be used:

$$\frac{\partial g}{\partial U_G} = \sigma_G$$

$$\frac{\partial g}{\partial U_W} = \frac{W(U_W + \varepsilon) - W(U_W)}{\varepsilon} \quad \text{with } \varepsilon \text{ very small}$$

$$\frac{\partial g}{\partial U_R} = CV_R \times R$$

For W, the calculation of the derivative being too complex, it is preferred to calculate the rate of increase, which reasonably tends towards the desired result as soon as ε is lower than 10^{-3} .

All that remains to be done is to introduce the intermediate calculation of Δ to be able to express α_R , α_G and α_W .

$$\Delta = \sqrt{(\sigma_G)^2 + \left(\frac{W(U_W + \varepsilon) - W(U_W)}{\varepsilon}\right)^2 + (CV_R \times R)^2}$$

$$\alpha_G = \sigma_G / \Delta$$

$$\alpha_W = \left(\frac{W(U_W + \varepsilon) - W(U_W)}{\varepsilon}\right) / \Delta$$

$$\alpha_R = CV_R \times R / \Delta$$

For the time being, the means and standard deviations of the three variables G, W and R are assumed to be known. From these values, a simple algorithm has to be constructed to refine the values of the sensitivity factors and the reliability index at each iteration. Here is this algorithm in 7 steps:

Initialization with $\beta = 3$, $\alpha_R = 1$, $\alpha_G = \alpha_W = 0$

Step 1: calculation of $U_G = \beta \times \alpha_G$, $U_W = \beta \times \alpha_W$ et $U_R = -\beta \times \alpha_R$

Step 2: calculation of $G(U_G)$ et $W(U_W)$

Step 3: calculation of $R = G(U_G) + W(U_W)$

Step 4: calculation of the value $\mu = R / \exp (CV_R \times U_R)$

Step 5: calculation of α_R , α_G and α_W

Step 6: increment of $\beta : \ln (\mu_R / \mu) + \beta \Rightarrow \beta$

Step 7: Return to step 1 as long as the value of the second decimal of β is not stable.

The second decimal of β is stable in a dozen iterations. The coordinates (G^* ; W^* ; R^*) of the most probable failure limit point are thus quickly established.

The increment of β proposed in step 6 allows for a fast convergence to the solution, without algorithm instability, regardless of the input data.

It remains to illustrate by an example how the algorithm works.

With $\mu_G = 100$ kN, $\mu_W = 100$ kN, $\mu_R = 600$ kN, $CV_G = 10\%$, $CV_W = 40\%$ and $CV_R = 20\%$, the calculations stabilize after a few iterations. The results, with the simplified formulas and with the exact formulas, are given in the following table which shows that the simplified formulas are more than sufficient:

Formulas	Number of iterations	α_G	α_W	α_R	β
simplified	10	0,08	0,79	0,60	3,70
exact	9	0,08	0,79	0,60	3,65

The EN 1990 standard does not recommend the use of such an algorithm, which is considered too complex, to calculate sensitivity factors. It proposes in its Annex C to use empirical factors which are supposed to correspond to a wide variety of structural elements, as explained in chapter 11.4.2 of the reference [5]. Thus, the factor α_R is set at 0,8, the factor of the dominant action (here α_W) is set at 0,7 and the factor of the non-dominant action (here α_G) is set at $0,7 \times 0,4 = 0,28$. These empirical factors are assumed to be safe because the sum of their squares is greater than unity. Thus, EN 1990 does not use the previously defined values G^* , W^* and R^* , but substitutes them with so-called design values G_D , W_D and R_D (D stands for "design" in EN 1990), determined from the empirical sensitivity factors. In practice, these design values are calculated from the characteristic values G_k , W_k and R_k and the partial factors γ_G , γ_W and γ_R , the latter being calibrated with the empirical sensitivity factors.

Since the reliability index in EN 1990 for "average" reliability over a 50-year reference period is set at 3,8, the value of $\alpha_R \times \beta = 0,8 \times 3,8$ is also set at 3,04. It is indeed this value that is used in Annex D of EN 1990 for the determination of the design values R_D obtained from experimental data. In principle, all the rules proposed in Eurocodes 2 to 9 enable R_D calculation values such that the probability $P(R \leq R_D) = \Phi(-3,04)$. Put another way, there is only about a 1 in 1000 chance that a resistance value is less than a design value R_D .

This aspect must be taken into account in the rest of the study, as the resistance R of the structural elements of the lattice towers of power lines is calculated, in accordance with the prescriptions of the standard EN 50341-1, following the rules of Eurocode 3 dedicated to metallic structures. The following chapter explains how to use this information. It also proposes, for application to power line towers, realistic values for the coefficients of variation of the variables G , W and R , and a calculation method for estimating the mean values, which are essential input data for using the proposed algorithm.

4 | Coefficients of variation and means of the variables G, W and R for power line towers

There are two types of power line towers:

- suspension towers, often in pure alignment, which support the conductors above the ground while maintaining an electrical safety distance adapted to each voltage level,
- so-called tension towers, which have the same function related to electrical safety, but on which the conductors are anchored. They are often associated with places where power lines change direction.

The EN 50341-1 standard recommends a fairly simple principle of mechanical coordination between towers: the tension towers, the real backbone of overhead power lines, must be more resistant, via an additional safety factor, than suspension towers which are easier to repair. The case studied in the following is therefore a suspension tower, as it is this type of tower which, by its nature, has the lowest reliability index.

The tower chosen is one of the structures that have the silhouette of the towers in the foreground of Figure 3.



Figure 3: example of suspension towers for 400 kV overhead lines

A suspension tower of this type generally weighs 250 kN for a total height of 50 m. It is designed to support 550 m spans of two 400 kV circuits (three phases for one circuit) of conductors in double bundles (two cables for one phase). To this must be added two earth wires, which provide protection against lightning strikes. These bundles and earth wires are shown in Figure 3. The conductor cables, made of aluminum alloy, are 3 cm in diameter and weigh 17 N per linear meter. The earth wires, a mixture of steel and aluminum alloy, are 2 cm in diameter and weigh 10 N per linear meter. On a flat terrain as shown in Figure 3, each tower supports the weight of two half-spans of cables. Chains of insulators, each weighing about 5000 N, keep the live conductors away from the metal masses of the tower.

The bottom leg members of the body of such a tower each support one quarter of the total weight, i.e. $[250 \text{ kN} + 550 \text{ m} \times (2 \times 3 \times 2 \times 17 \text{ N/m} + 2 \times 10 \text{ N/m}) + 6 \times 5000 \text{ N}] / 4 = 100 \text{ kN}$. This is the characteristic effect G_k of the weights on a compression leg member at the bottom of the tower.

The tower withstands the wind that blows on its angles and on two half cable spans. The effect of the wind on the insulator chains is considered negligible. The wind is always considered to blow in the most unfavorable direction, i.e. perpendicular to all cables and to two sides of the tower. As proposed in EN 50341-1, no masking effect is taken into account, i.e. the wind blows on the pylon angles as if they were all upwind. In the same way, the wind blows on the two cables of a bundle as if they were both upwind.

The total area S_c of cables affected by wind is: $550 \text{ m} \times [2 \times 3 \times 2 \times 3 \text{ cm} + 2 \times 2 \text{ cm}] = 220 \text{ m}^2$.

The total surface area S_p of the angles affected by the wind is, after projection on a vertical plane perpendicular to the direction of the wind, approximately 50 m^2 .

The reference height of the cables and angles used for the pressure calculations is two thirds of the height of the tower, i.e. $33,3 \text{ m}$, which is rounded to 35 m for the calculations. Explanations for the choice of this reference height can be found in reference [6].

The tower is assumed to be located in a countryside area (roughness II) in a region of France where the reference wind speed V_{ref} , associated with a return period of 50 years, is 24 m/s .

The two wind actions acting at 35 m above the ground are, without partial factor:

$$F_c = \left(\frac{1}{2} \times \rho \times V_{ref}^2\right) \times Cr \times Cg \times CsCd_c \times Cf_c \times S_c = 165 \text{ kN}$$

$$F_p = \left(\frac{1}{2} \times \rho \times V_{ref}^2\right) \times Cr \times Cg \times CsCd_p \times Cf_p \times S_p = 83 \text{ kN}$$

- With:
- ρ the air density set at $1,25 \text{ kg/m}^3$ [4]
 - Cr the roughness coefficient, corresponding to $Cr(z)^2$ in [4], here $1,55$
 - Cg the gust coefficient, corresponding to $[1+7 \times Iv(z)]$ in [4], here $2,07$
 - $CsCd_c$ the structural coefficient of the cables [3, 4] here $0,65$
 - Cf_c the force coefficient of the cables [3, 4] here 1
 - $CsCd_p$ the structural coefficient of the tower [3, 4] here $0,9$
 - Cf_p the force coefficient of the angles [3, 4] here $1,6$

The combined effect of these two actions creates tensile (windward leg member) and compressive (leeward leg member) forces of 400 kN at the bottom leg member level, due to the tower wheelbase at this location. This is the characteristic effect W_k of the wind on a compression leg member at the bottom of the tower.

Two ratios should be noted in these initial calculations: the effect of wind on the cables is twice as great as the effect of wind on the tower itself, and the total characteristic effect of wind W_k associated with a 50-year period is four times greater than the characteristic effect of the weights G_k . These ratios are valid, to within a few percent, for all power line towers: this makes the calculations in the rest of the study fairly representative of all towers of this type.

These first results are insufficient to feed the algorithm of the [previous chapter](#). It is now necessary to provide values for the coefficients of variation and the means of G , W and R . This is done using the probabilistic models associated with these three variables.

The first official source of information is to be found in the so-called "background documents" of the Eurocodes, in particular the "Handbook 2: reliability backgrounds" [7], available online on the European website of the JRC (Joint Research Centre). Its Annex C, written by Haig Gulvanessian and Milan Holicky, proposes the only probabilistic models in the document, of which the following is a summary for variables G , W and R :

Variable	Distribution	CV	Mean
G	Normal	10 %	$\mu_G = G_k$
W (reference duration = 1 year)	Gumbel	50 %	$\mu_W = 0,3 \times W_k$
R	Lognormal	15 %	$\mu_R = R_k + 1,65 s_R$

These models must be adapted for use with the special characteristics of power line towers. It should be noted that the link between μ_R and R_k is quite surprising for a Lognormal distribution. Reference [8], written by Milan Holicky, explains the construction of these models and indicates that the fundamental reference used [9] is the one provided by the JCSS (joint committee on structural safety), available online.

The weights supported by the members of the lattice structures are derived from the product of a length (angle length or cable length) and a linear weight, whose coefficients of variation are negligible (less than 1%) compared to the coefficient of variation of the model allowing to translate the actions into the effects of the actions. For axial forces in the angles of lattice structures such as towers, [9] proposes to use a coefficient of variation of 5%.

Thus for G : $CV_G = 5\%$ and $\mu_G = G_k$

The probabilistic model of W shows five random variables: pressure ($\frac{1}{2} \times \rho \times V^2$) and the four non time-dependent variables Cr, Cg, CsCd and Cf. Ranges are proposed in [9] for each variable, [20 % ; 30 %] for pressure and [10 % ; 20 %], [10 % ; 15 %], [10 % ; 20 %] and [10 % ; 15 %] for the other four variables, respectively.

The 50% value used in model [7, 8] uses a pressure coefficient of 43 %, which is outside the range of [9]. References [10] and [11] use a coefficient of 25 %, respectively calculated from 40 weather stations in France or 5 weather stations in Norway. This more realistic value, within the range of [9], is used in this study.

According to [9], the overall coefficient of variation can be calculated using the root of the sum of the squares of each of the 5 coefficients of variation and the 5% model uncertainty coefficient of variation already used for variable G. Thus, by changing the coefficient associated with the pressure (the other 4 coefficients of variation selected from [7, 8] are within the ranges of [9]) and adding the 5% model uncertainty, the calculation gives $CV_W = (0,5^2 + 0,43^2 + 0,25^2 + 0,05^2)^{0,5} = 36\%$.

The ratio between the characteristic pressure and the mean pressure is calculated with a Gumbel distribution and the coefficient of variation of 25 % : $P_{50years} / \mu_P = 1 - 0,25 \times [0,45 + 0,78 \ln(-\ln(0,98))] = 1,65$

According to [9], the true mean pressure is 80% of the mean value calculated from the characteristic pressure. This value of 80% corresponds to the product of two values: a value of 85 % related to the effect of the wind direction [12] and a value of 94% related to the decrease of the air density with altitude, calculated according to [3] from the average altitude of France which is 342 m. Indeed, in the calculations, the wind is always considered as blowing in the most unfavorable direction and the density used is always a conservative value of 1,25 kg/m³.

Finally, [9] considers that 80% of the value of the Cr coefficient calculated according to [4] must be taken to obtain its mean value. References [7, 8] use these two 80 % values in the calculations of μ_W . They will also be used in this study.

Thus, for W : $CV_W = 36\%$ et $\mu_W = W_k / 1,65 \times 0,8^2 = 0,39 \times W_k$

Finally, the coefficient of variation of R is taken as the root of the sum of the squares of two coefficients of variation: a material coefficient of variation of 7% for the yield strength of steel according to [9] and a model coefficient of variation of 5 % for the strength of metal bars according to [9]. Thus $CV_R = 8,6\%$

Taking into account the Lognormal distribution with this coefficient of variation and the product $\alpha_R \times \beta = 3,04$ already mentioned in chapter 3, it is possible to calculate $\mu_R : \mu_R = R_d / \exp(-3,04 \times 0,086) = R_d \times 1,3$

Thus, for R : $CV_R = 8,6\%$ et $\mu_R = R_d \times 1,3$

It remains to write that: $W_d = W_k \times \gamma_W$, $G_d = G_k \times \gamma_G$ et $R_d = W_d + G_d$ in the worst case of dimensioning (no margin) to obtain enough to feed the algorithm of chapter 3.

The resulting probabilistic models can be summarized in the following table:

Variable	Distribution	CV	Mean	Design value
G	Normal	5 %	$\mu_G = G_k$	$G_d = G_k \times \gamma_G$
W	Lognormal	36 %	$\mu_W = 0,39 \times W_k$	$W_d = W_k \times \gamma_W$
R	Gumbel	8,6 %	$\mu_R = 1,3 \times R_d$	$R_d = W_d + G_d$

The results of the calculation, carried out using the FORM method and the proposed probabilistic models, are given in the table below for the three levels of reliability of standard EN 50341-1: these are the sensitivity factors and the reliability index associated with a reference period of 1 year.

Reliability	γ_G	γ_W	α_G	α_W	α_R	β
Level 1	1	1	0,03	0,95	0,30	3,6
Level 2	1	1,2	0,03	0,95	0,30	4,2
Level 3	1	1,4	0,02	0,95	0,31	4,6

Before concluding, it should already be noted that the sensitivity factors, obtained for data compatible with the tower under study, are far different than the empirical factors in Appendix C of EN 1990, which clearly cannot be used in this case.

It should also be noted that α_c is very small, which supports the choice of a unitary partial factor γ_c in EN 50341-1.

5 | Interpretation of results and conclusion

These first calculations were made with $C_k = 100$ kN and $W_k = 400$ kN as input data. Given the way of constructing the three means necessary for the algorithm to work, the results would have been identical by choosing 1 kN and 4 kN for C_k and W_k respectively. Indeed, all other things being equal, only the ratio W_k / G_k could make the results vary.

To embrace all types of lattice towers and make the result as generic as possible, simply vary this ratio in a range of 3 to 5. The following table shows the results obtained.

Reliability EN 50341-1	Report W_k / G_k	β [reference duration 1 year]
Level 1	3	3,7
	4	3,6
	5	3,6
Level 2	3	4,2
	4	4,2
	5	4,1
Level 3	3	4,6
	4	4,6
	5	4,6

Thus, the method developed previously makes it possible to associate a very stable reliability index to each level of reliability, regardless of the lattice tower dimensioned according to the specifications of standard EN 50341-1.

The range of reliability index obtained [3,6; 4,6] contains the index $\beta = 4,2$ of the lowest reliability class of EN 1990 (RC1), which was expected since EN 50341-1 considers that its three reliability classes, from level 1 to 3, are subclasses of the RC1 class.

JCSS reference [9] proposes other target reliability indexes for a 1-year reference, which are shown in the table below:

Relative cost of reliability enhancement measures	Consequence of structural failure		
	Minor	Medium	Major
Important	$\beta = 3,1$	$\beta = 3,3$	$\beta = 3,7$
Medium	$\beta = 3,7$	$\beta = 4,2$	$\beta = 4,4$
Low	$\beta = 4,2$	$\beta = 4,4$	$\beta = 4,7$

Taking the relative cost of measures to increase reliability as medium, there is substantial equivalence between the reliability index of levels 1 to 3 of standard EN 50341-1 and the reliability index of minor to major consequences proposed by the JCSS (shaded line in the table).

According to [9], the class of minor consequences includes structures where the risk of loss of life in the event of failure is negligible and where the economic consequences are low. This class includes agricultural structures, silos and masts.

The class of medium consequences includes structures for which the risk of loss of life in the event of failure is real and for which the economic consequences may be significant. This class includes industrial, office and residential buildings.

The class of major consequences includes other structures such as bridges, cinemas, hospitals, etc.

It is clear from the examples associated with the different classes that power line towers should be classified as minor consequences (negligible risk) in terms of the risk of loss of human life in the event of failure. It is for this reason that standard EN 50341-1 specifies, for its level 1 reliability:

"The probability of failure is acceptable in respect of public safety, because the combined probability resulting in human injury is very low. »

The choice of the level of reliability of the EN 50341-1 standard is generally made according to the importance of the line in the stability of the overall power system and according to the possibilities of rapid repair of the structures. In the case of crossings of important communication routes, such as main roads or electrified railways, level 2 is nevertheless generally chosen.

This study has therefore made it possible to propose a complete method for estimating the structural reliability of lattice towers for overhead power lines, based on the FORM method, compatible with the spirit of the Eurocodes and relatively simple to implement. Its use has directly enabled the calculation of reliability indexes associated with the three reliability levels of the European standard EN 50341-1, dedicated to the dimensioning of overhead power lines. However, it is quite conceivable to adapt the method to calculate the structural reliability of another type of structure.

6 | Acknowledgements

The author would like to thank the National Network Expertise Centre of the RTE Network for the time given to the experts of this entity to write publications such as this study. Many thanks also to Anne-Marie and Georges Gilliéron for tracking down any typos that need to be removed before sending the project to the journal. Finally, the author would like to quote Romain Kirschstetter (RTE), author of the great photo in [Figure 3](#).

7 | Bibliography

- [1] EN 1990, 2002: Structural Eurocodes - Eurocodes: Bases for structural calculations
- [2] EN 1993-3-1, 2006: Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 3-1: Towers, masts and chimneys - Towers and guyed masts
- [3] EN 50341-1, 2012: Overhead electrical lines exceeding 1 kV a.c. - Part 1: General requirements - Common specifications
- [4] EN 1991-1-4, 2005: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions
- [5] Palle Thoft-Christensen and Michael J. Baker, 1982: Structural Reliability Theory and its Applications, Springer-Verlag.
- [6] Hervé Ducloux and Lionel Figueroa, 2016: Background information about the wind action model of CENELEC EN 50341-1 (2012) and associated expected reliability of electrical overhead lines. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 157, p. 104-117.
- [7] Handbook 2 - Reliability backgrounds, 2005, Leonardo da Vinci Pilot Project, document CZ/02/B/F/PP-134007 <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/showpage.php?id=BD>
- [8] Holicky M., 2009: Reliability analysis for structural design, SUN MeDIA Stellenbosch.
- [9] JCSS, 2001: Probabilistic model code, Joint Committee on Structural Safety. <https://www.jcss-lc.org/jcss-probabilistic-model-code/>
- [10] Christian Sacré, Maeva Sabre and Jean-Paul Flori, 2003 : Cartography of extreme winds in Metropolitan France, CSTB report n° EN-CAPE 05.180 C (V2)
- [11] Michele Baravalle and Jochen Köhler, 2018: On the probabilistic representation of the wind climate for calibration of structural design standards, *Structural safety*, 70, p. 115-127.
- [12] Bruce R. Ellingwood and Paulos Beraki Tekie, 1999: Wind load statistics for probability-based structural design. *Journal of Structural Engineering*, vol. 125, no 4, p. 453-463.

Applicazione dei nuovi standard normativi BIM – ricadute operative

New BIM regulatory standards - operational implications

Ing. Paolo Odorizzi*, Ing. Ugo Piccinno | *Harpaceas, Milano*

Introduzione al panorama normativo BIM

L'emergenza sanitaria conseguenza della pandemia da Covid-19 ha parzialmente interessato anche le commissioni e i gruppi di lavoro degli Organismi di Normazione. Queste organizzazioni hanno dovuto di conseguenza approvare proroghe temporali nelle scadenze programmate e hanno differenziato le modalità operative nella collaborazione professionale e negli incontri ufficiali degli esperti e dei delegati, promuovendo incontri virtuali piuttosto che attraverso le tradizionali riunioni e sedute plenarie in "presenza". Ciò nonostante e a onore del vero, l'anno 2020 è stato particolarmente produttivo e ricco di nuove pubblicazioni sul tema del Building Information Modelling, sia nell'ambito del Comitato Europeo di Normazione (CEN Technical Committee 442), sia in seno all'Organizzazione Internazionale per la Normazione (ISO Technical Committee 59). Si è potuto approfittare della situazione per consolidare il significativo lavoro pregresso concludendolo talvolta con approvazioni e riunioni virtuali. Sono state rilasciate nel corso del 2020 ben 10 nuove norme tecniche per professionisti e rappresentanti della filiera, 4 delle quali a cura CEN. Le nuove norme divengono immediatamente applicabili in tutti gli Stati membri in territorio europeo e, laddove si è potuto applicare l'accordo di Vienna, anche su scala internazionale dopo le specifiche approvazioni.

Gli argomenti affrontati e regolamentati sono stati molteplici: la strutturazione dei dati, i linguaggi interoperabili e machine-readable, le logiche di classificazione, la gestione informativa, i dizionari di dati, la digitalizzazione dei dati afferenti agli oggetti per le costruzioni e le applicazioni di linguaggi semantici ai contenitori informativi degli ambienti di condivisione dei dati. Fattore comune appare innegabilmente il dato, oramai fulcro del processo data-driven del settore edilizio digitalizzato, in linea con avanzamenti simili registrati in molti altri settori produttivi investiti dalla quarta rivoluzione industriale.

L'Italia ha definitivamente intrapreso un percorso ben delineato nel quale la legislazione cogente si è favorevolmente espressa recependo le direttive europee già dal 2016. Ha impostato una serie di logiche premianti per facilitare prima l'adozione, e successivamente e progressivamente l'applicazione obbligatoria, di strumenti elettronici e metodologie digitali per molte tipologie di opera pubblica. Analogamente il comparto tecnico, rappresentato

dalle più importanti realtà del settore (eterogeneamente e non esaustivamente le possiamo differenziare in pubbliche amministrazioni, imprese/contractor, società di servizi, società di ingegneria/architettura, società di consulenza/affiancamento, sviluppatori di software, produttori, associazioni di categoria, conferenti/esercenti, rappresentanze del mondo accademico, società di manutenzione/facility management, società di real estate, etc.), sta procedendo attivamente alla contestualizzazione dei vari standard internazionali, recependoli e contribuendo nella loro stesura con il contributo di professionisti ed esperti in rappresentanza di tutto il settore edilizio italiano, presso i vari tavoli di lavoro nazionale ed internazionali e, talvolta, anche in qualità di "project leaders".

Proviamo a passare in rassegna i principali avanzamenti normativi relativi alla metodologia BIM cercando di analizzarli criticamente e proponendo spunti applicativi pratici per gli addetti ai lavori e per chi desideri anche soltanto acquisire una linea guida riepilogativa.

Il contesto italiano: cogenza e normativa tecnica volontaria

L'Italia, al momento della stesura di questo articolo, ha da poco pubblicato il D.M. 312/2021 contenente le modifiche al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 1° dicembre 2017, n. 560 (attuativo del D.Lgs. n° 50 del 2016, Codice dei Contratti pubblici), sterzando nettamente verso la corretta interpretazione dei requisiti di cogenza e verso la risoluzione delle principali difficoltà interpretative riscontrate in questi primi anni di avvicinamento alle metodologie innovative. Si sono infatti di recente riscontrate differenze in termini di maturità digitale e ritardi delle Pubbliche Amministrazioni in merito all'attuazione dei piani formativi per il personale, carenza di linee guida che contestualizzino i capisaldi della metodologia BIM come le documentazioni di commessa (Capitolato Informativo in primis) e carenze nell'adozione di efficienti e sicuri Ambienti di Condivisione Dati.

La prima evidente miglioria inserita dal recente Decreto Ministeriale ha come oggetto la definizione del nuovo contesto terminologico della metodologia BIM, sempre più conforme alle traduzioni ufficiali degli standard normativi internazionali pubblicati negli ultimi anni. Sono stati pertanto ufficialmente introdotti i concetti di modello informativo ("insieme di contenitori di informazione

*Corresponding author. Email: odorizzi@harpaceas.it

strutturata, semi strutturata e non strutturata”), di capitolato informativo (in sostituzione del capitolato non meglio contestualizzato) e di punteggi premiali in virtù di adozioni di metodi e strumenti elettronici specifici per la gestione e la modellazione informative, la cantierizzazione, l’interoperabilità informativa, la tracciabilità di processi e forniture, la sostenibilità ambientale, la verifica di avanzamenti e il monitoraggio automatizzato delle prestazioni. L’introduzione della premialità rappresenta un importante test per l’intero comparto edilizio perché introduce logiche meritocratiche pur mantenendo la libera concorrenza e il libero accesso a bandi e incarichi gestiti dalle Amministrazioni Pubbliche e dai Conferenti. Non appare così distante il consolidato concetto del ritorno sull’investimento che, spostandoci momentaneamente verso le logiche economiche di bilancio, rappresenta la resa del capitale investito, in questo caso indice di miglioramento della propria maturità digitale. Appaiono in tal senso ben accreditate le realtà che hanno scelto di adottare, o che decideranno di proporre, nuovi processi operativi digitali, consolidandoli all’interno del proprio portfolio progetti. Volendo richiamare alcuni esempi pratici, potrebbero ricadere in tale casistica i fornitori di servizi che in maniera interoperabile riescano a gestire i dati dei propri database informativi, che operino in ambienti di condivisione sicura in cloud la gestione delle informazioni di commessa, che accedano e dialoghino con i propri dati e i propri modelli informativi direttamente dal cantiere produttivo o che riescano a gestire, senza supporti cartacei, i requisiti informativi e gli aspetti manutentivi degli asset che contribuiscono a far progredire.

Verificato che il rinnovamento digitale (maturità digitale) non ha trovato piena applicazione nei tempi ipotizzati, il decreto ha correttamente ridefinito in avanti le soglie di applicabilità obbligatoria di metodi e strumenti elettronici per Stazioni Appaltanti. Il programma temporale predisposto nel 2019 è stato modificato

anche, ma non solo, per sopperire proprio ai ritardi delle Stazioni Appaltanti in relazione ai previsti adempimenti preliminari: formazione, strumentazione e organizzazione. Nel corso del 2022 la metodologia sarà obbligatoria per tutte le opere con importo lavori maggiore di 15 milioni di euro ad esclusione delle opere di ordinaria manutenzione. Seguirà, nel 2023 prima e nel 2025 dopo, un abbassamento della soglia di importo a base gara a 5,2 milioni prima e a 1 milione di euro poi, escludendo però le tipologie di opere di ordinaria e straordinaria manutenzione (figura 1).

A livello pratico, inoltre, il nuovo D.M. 312/2021 apporta una seconda miglioria in grado di regolamentare totalmente qualsiasi direttiva o requisito tecnico relativo alla metodologia BIM e contenuto all’interno dei Capitolati Informativi. In tal senso infatti, il Decreto precisa che ogni specifica tecnica richiamata dei documenti di progetto sarà validata da norme tecniche volontarie in accordo al Regolamento UE n.1025/2012. Con un preciso ordine di priorità entrano finalmente a completamento della normativa cogente anche le “norme tecniche europee di recepimento obbligatorio in tutti i Paesi dell’Unione Europea, pubblicate in Italia quali UNI EN oppure UNI EN ISO”, nonché le “norme tecniche internazionali ad adozione volontaria pubblicate in Italia quali UNI ISO” e infine le “norme tecniche nazionali negli ambiti non coperti dalle UNI EN ed UNI ISO, pubblicate in Italia quali UNI”.

Quest’ultimo fondamentale aspetto rimanda direttamente al principale tavolo tecnico normativo che in Italia vanta la collaborazione dei principali attori della filiera delle costruzioni, ossia al Comitato Tecnico 033 (CT 033) di UNI, l’Ente Italiano di Normazione, presso il quale è stata recentemente riorganizzata la sottocommissione 05 (SC 05) su “BIM e gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni”. Sono stati creati molteplici gruppi di lavoro incaricati sia di redigere nuove parti della ormai consolidata UNI 11337 sia di revisionare quelle esistenti in funzione della pubblicazione dei



Fig. 1 | Riepilogo modifiche D.M. 312/2021

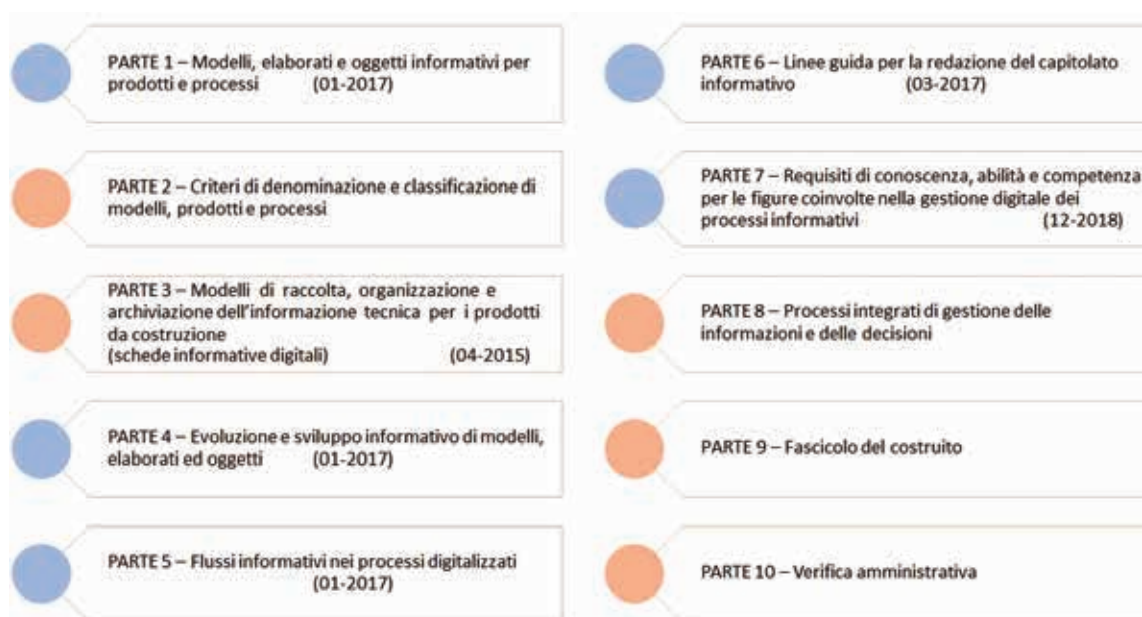


Fig. 2 | Riepilogo serie UNI 11337

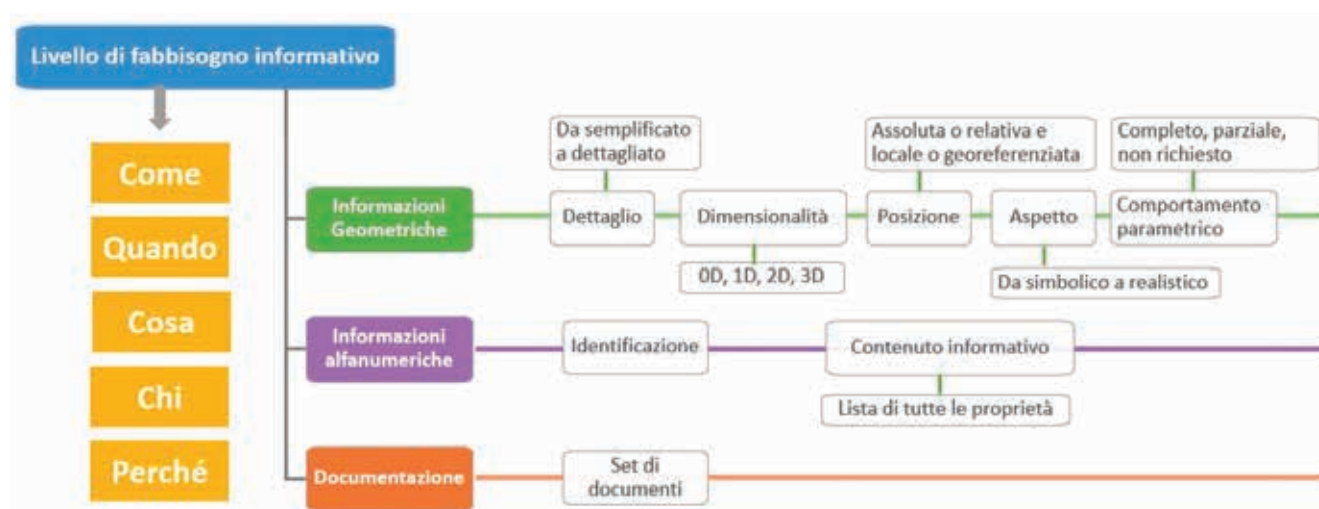


Fig. 3 | Schema del Livello di Fabbisogno Informativa

nuovi standard internazionali o europei con recepimento diretto su territorio italiano. Prima tra tutte la UNI EN ISO 19650, parti 1 e 2 del 2019 e parte 3 del 2021 (figura 2).

La sottocommissione 05 consta attualmente di ben 9 gruppi di lavoro ufficiali (GL) coordinati dalla sottocommissione stessa e operativi in parallelo:

- SC 05: ha il ruolo di coordinamento tecnico di tutti i seguenti GL e ha in carico la revisione dell'attuale UNI 1133-1:2017 che declinerà nel nuovo contesto normativo e introducendo le restanti parti della serie;
- GL 01 "Classi informative, codificazione e identificazione": a questo gruppo di lavoro spetta la non facile sostituzione dell'obsoleta UNI 8290-1:1981 proponendo un sistema di classificazione nazionale per l'edilizia, coerente con il principale riferimento normativo internazionale sul tema, ovvero la UNI EN ISO 12006-2:2020 ("Organizzazione dell'informazione delle costruzioni - Parte 2: Struttura per la classificazione");

- GL 02 "Attributi informativi, struttura e schemi": anche questo gruppo di lavoro ha il compito di rivedere totalmente un riferimento normativo esistente, la UNI 11337-3:2015 ("Criteri di codificazione di opere e prodotti da costruzione, attività e risorse - Parte 3: Modelli di raccolta, organizzazione e archiviazione dell'informazione tecnica per i prodotti da costruzione") sul tema del template digitale per gli attributi informativi degli oggetti delle costruzioni. Il tavolo dovrà tenere in debito conto le disposizioni degli standard internazionali ed europei quali la UNI EN ISO 23386:2020 ("BIM - Metodologia per descrivere, creare e mantenere proprietà nei dizionari di dati interconnessi") e la UNI EN ISO 23387:2020 ("BIM - Modelli di dati per oggetti da costruzione utilizzati nel ciclo di vita dei beni edilizi - Concetti e principi");
- GL 03 "LOIN, struttura per il mercato nazionale": questo gruppo mira a predisporre la revisione dell'attuale UNI 11337-4 in virtù dell'introduzione del concetto di livello di esigenza in-

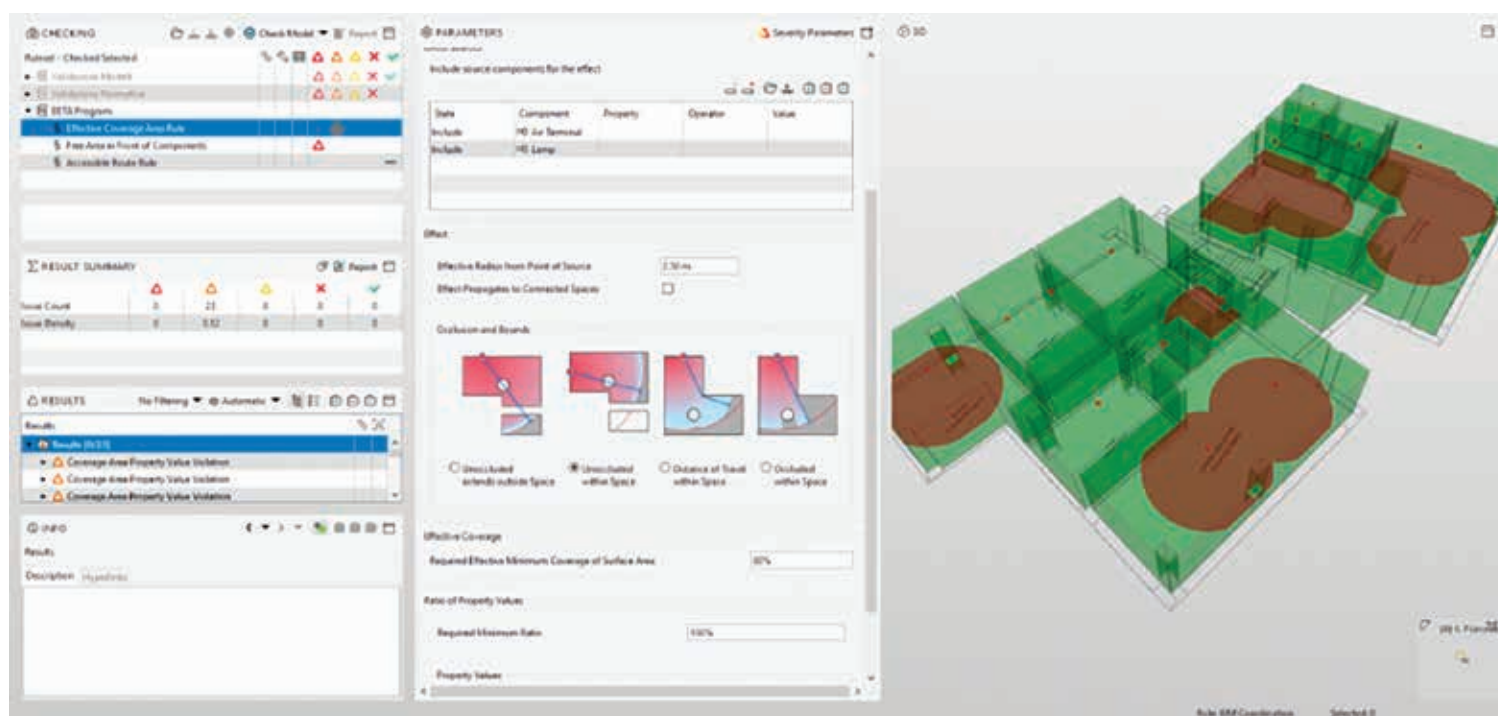


Fig. 4 | Esempio di verifica automatizzata con il Code Checking in Solibri

- formativa per i modelli BIM derivante dal concetto espresso per la prima volta all'interno della UNI EN ISO 19650:2019 e contestualizzato nell'apposito standard europeo UNI EN 17412-1:2021 ("Livello di fabbisogno informativo - Parte 1: Concetti e principi") il quale, in virtù dell'Accordo di Vienna, sarà recepito anche a livello ISO. Il livello di fabbisogno informativo, definito come "framework which defines the extent and granularity of information (struttura di riferimento che definisce l'estensione e la rilevanza dell'informazione)", sostituisce definitivamente il livello di sviluppo degli oggetti BIM ridisegnando lo schema esigenziale dei requisiti informativi in funzione della fase interessata della commessa, il personale coinvolto, l'obiettivo da raggiungere e l'oggetto richiamabile all'interno della Work Breakdown Structure (figura 3);
- GL 04 "Ambienti di collaborazione e condivisione e strumenti di gestione": si occupa di revisionare la UNI 11337-5:2017 incentrandola totalmente su Ambiente di Condivisione Dati e trovando principale riferimento normativo nella UNI EN ISO 19650:2019 (parti 1 e 2) che ne prescrive i requisiti minimi e le principali caratteristiche, inquadrandolo come insieme di processi informativi e soluzioni tecnologiche a supporto, interconnesse a garanzia dell'interoperabilità. Altrettanto rilevanti saranno le influenze degli sviluppi normativi in corso presso il CEN TC 442 in merito a creazione di requisiti di scambio aperti a mezzo di API tra soluzioni software differenti e definizione delle principali tipologie di processi che intervengono nell'ambito dell'Information Management;
 - GL 05 "Capitolato informativo": compete al GL05 l'aggiornamento della UNI 11337-6 relativa a illustrazione ed esemplificazione del documento chiave per la gestione digitale delle commesse BIM a cura dell'ente appaltante. Il rilievo assunto dal Capitolato discende dal suo posizionamento all'interno del

"pacchetto di documentazione contrattuale", nonché dalle numerose citazioni presenti nei citati regolamenti cogenti in Italia. Dovrà altresì accettare la sfida che gli esperti del settore in Europa ci chiedono in merito all'obiettivo di digitalizzare completamente i requisiti informativi contenuti nel Capitolato al fine di poterli verificare e validare automaticamente con gli strumenti di Model & Code Checking (figura 4) ;

- GL 06 "Qualifica del personale operante in BIM e flussi informativi": fanno capo a questo operativo gruppo di lavoro la più recente parte pubblicata (UNI 11337-7:2018 "Requisiti di conoscenza, abilità e competenza delle figure coinvolte nella gestione e nella modellazione informativa") sul tema della qualifica dei professionisti BIM nell'ambito delle professioni non regolamentate, e la futura UNI 11337-2, di prossima e imminente pubblicazione, incentrata sulla fondamentale gestione flussi informativi e processi decisionali tipici dell'ambito dell'information management e più in generale del Project Management attuato dalle Committenze;
- GL 07 "Fascicolo del costruito": propone uno standard tecnico che descrive il fascicolo del fabbricato applicato alla metodologia BIM, coinvolgendo tutti i nuovi processi ma orientandosi auspicabilmente verso un approccio puramente digitale;
- GL 08 "Gestione amministrativa BIM": questo gruppo ha il fondamentale compito di avanzare una proposta concreta per la gestione digitale delle pratiche autorizzative (ePermit). Anche in questo caso la predisposizione e poi la verifica dei requisiti tecnico/prestazionali e amministrativi, finalizzati all'ottenimento dei permessi, potrà usufruire delle moderne tecniche per l'automazione dei processi e l'adozione di formati interpretabili dalle macchine;
- GL 09 "Infrastrutture in BIM": quest'ultimo gruppo di lavoro, l'ultimo nato su proposta poi approvata di AIS (Associazione

Infrastrutture Sostenibili), è stato fortemente richiesto dai rappresentanti del mondo infrastrutturale, riconoscendo la valenza del settore dal punto di vista strategico. Avrà l'obiettivo di coordinare il proprio operato con il Working Group 6 del CEN TC 442, nonché di contestualizzare sul territorio italiano il rapporto tecnico che emergerà dal team di esperti operativo in Europa.

Le principali novità dal Comitato Europeo di Normazione

Lo scenario di riferimento italiano appare fortemente condizionato dai lavori a livello CEN (di recepimento diretto) e a livello ISO (comunque recepiti in virtù dell'Accordo di Vienna¹); la complessità degli argomenti presi in considerazione può generare qualche difficoltà interpretativa se non qualche comprensibile confusione ma la sensazione è che con il tempo le prassi attuate nei quotidiani processi operativi dei professionisti del settore stiano trovando sempre più riscontro nelle indicazioni normative nel più ampio e complesso progetto dell'inquadramento normativo della metodologia BIM. Non è un caso che moltissimi standard tecnici europei o internazionali dispongano di linee guida per la loro applicabilità e corretta interpretazione, e proprio in questo senso è risultato determinante il contributo del CEN TC 442.

Le guidelines sono per gran parte in progress al momento della stesura di questo articolo e afferiscono ai principali working group operativi del Comitato Europeo di Normazione (2: Exchange Information, 3: Information Delivery Specification, 4: Support Dictionaries e 6: Infrastructure). Tra gli argomenti presi in carico segnaliamo:

- prCEN/TR 17439: guida all'implementazione della EN ISO 19650-1, -2, -3 e -5 in Europa (la ISO 19650, rappresenta il vero riferimento normativo per gli addetti al settore e di essa ci occuperemo nel successivo paragrafo). Il rapporto tecnico approfondirà gli aspetti contrattuali e procedurali tipicamente riscontrati nelle varie fasi del ciclo vita degli assets;
- CEN/TR 17654: guida all'implementazione dei principali strumenti di gestione della commessa BIM, ossia i BIM Execution Plans (Offerta e Piano di Gestione informativa in Italia) e degli Exchange Information Requirements (Capitolati Informativi);
- prCEN/TR 17741: guida alla comprensione e all'utilizzo dello standard EN ISO 29481-1 e -2 sul tema dell'Information Delivery Manual, documento che specifica i processi di business da mettere in atto al fine di schematizzare gli scambi informativi richiesti per il raggiungimento degli obiettivi di progetto;
- Draft Working Item (027): futuro rapporto tecnico dedicato al BIM per le infrastrutture, con raccomandazioni e spunti per normative da declinare in contesti locali;
- Draft Working Item (031): fondamentale schema di riferimento per gestire l'implementazione di Common Data Environment di commessa in accordo alle specifiche della ISO 19650 tra cui i metadati minimi da associare ai contenitori informativi, gli aspetti procedurali nell'ambito dell'Information Management e le questioni di sicurezza e gestione di ruoli e accessi;
- prEN 17412-2: guida all'applicazione del Livello di Esigenza Informativa (Level of Information Need) per gli oggetti dei mo-

delli informativi.

Spostandoci invece sulle pubblicazioni rilasciate nel corso del 2020, segnaliamo due importanti riferimenti normativi in tema di digitalizzazione della filiera delle costruzioni curate dal Working Group 4 (Support Dictionaries).

La prima è la ISO 23386:2020 "Building information modelling e altri processi digitali utilizzati nelle costruzioni - Metodologia per descrivere, creare e mantenere proprietà nei dizionari di dati interconnessi" incentrata su logiche e requisiti per la creazione di Data Dictionaries tra loro correlati e su conseguenti procedure specifiche di Data Governance. Pur ammettendo che i concetti appena citati meriterebbero una trattazione apposita, occorre soffermarci su uno dei più grandi obiettivi che la digitalizzazione e l'interoperabilità insite nella metodologia BIM da tempo rincorrono: la creazione di un linguaggio tecnico condiviso e la strutturazione di un dizionario comune di dati. Questa norma individua gli attributi e le caratteristiche dei dizionari, le modalità per connetterli mediante automatismi e i workflow autorizzativi richiesti da ciascuna organizzazione durante le operazioni di accrescimento di nuovi dati all'interno del dizionario.

La seconda è la ISO 23387:2020 "Building information modelling (BIM) - Modelli di dati per oggetti da costruzione utilizzati nel ciclo di vita dei beni edilizi - Concetti e principi" che ha fornito lo schema informatico di riferimento per la creazione di contenuti digitali relativi agli oggetti da costruzioni, intesi principalmente come prodotti, materiali o entità virtuali tipicamente riconducibili ai software di BIM authoring (zone, spazi, livelli,...). A questo standard dobbiamo il grande merito di aver proposto un linguaggio univoco per dati di differente natura comunemente adoperati, nonché la possibilità di utilizzare il medesimo formato di questi Data Template per integrazioni machine-to-machine tra modelli e database informativi. A livello pratico lo scenario descritto rappresenta la concreta possibilità in cui l'Asset Information Model si completa con le informazioni reali dei componenti installati senza appesantire il modello con elaborati esterni, e le comuni operazioni di procurement con fornitori terzi possono finalmente svolgersi in un contesto collaborativo paperless.

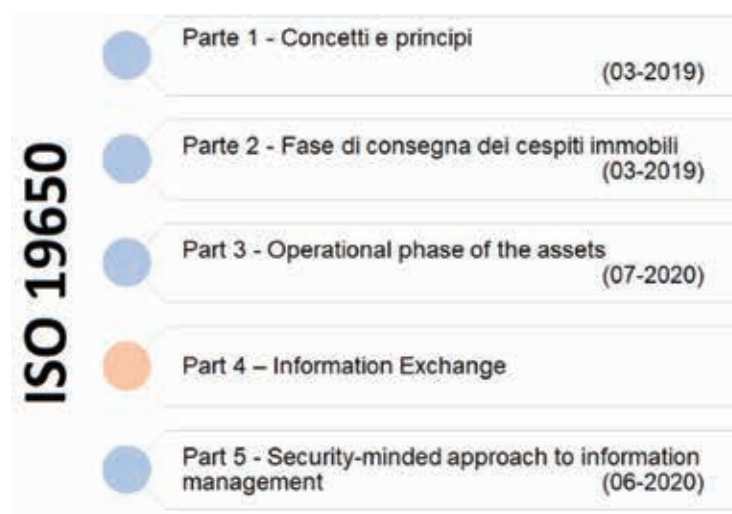


Fig. 5 | La serie ISO 19650

¹ <https://isotc.iso.org/livelink/livelink.exe?func=ll&objId=4230458&objAction=browse&sort=subtype>

A queste ultime interessanti pubblicazioni farà seguito nell'immediato futuro un ulteriore standard a chiusura del cerchio incentrato sulla predisposizione di uno schema dati IFC (UNI EN ISO 16739:2020) per lo scambio informativo dei Data Template per gli oggetti delle costruzioni (prEN 17549-1 e -2). Questo standard innovativo, sulla base di un orientamento CEN generalizzato e intuitivo di grande valore, quello di produrre documentazione tecnica secondo i nuovi formati digitali, è pensato per sviluppatori e già proposto in formato HTML. Sono superati così le tradizionali pubblicazioni disponibili solo in formati digitali non elaborabili elettronicamente (PDF).

Le direttive internazionali dell'Organizzazione Internazionale per la Normazione (ISO)

Il riferimento principale che ha ispirato l'attivazione di quasi tutti i progetti normativi presentati finora è la serie ISO 19650:2018. La serie ha compreso due pubblicazioni nel corso del 2020, la parte 3 intitolata "Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 3: Fase gestionale dei cespiti immobiliari" e la parte 5 "Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 5: Approccio orientato alla sicurezza per la gestione informativa", recepite entrambe da UNI tra il 2020 e il 2021 (figura 5).

L'intera serie rappresenta un riferimento tecnico imprescindibile per le stazioni appaltanti e per tutti gli attori della filiera BIM a livello internazionale, si ripropone di stabilire modalità uniformi e omogenee per gestire i flussi informativi delle commesse. La ISO 19650 propone un sistema di gestione che implica scambi informativi definiti e tracciabili entro i quali sono individuabili le collaborazioni tra attori e stakeholder (who) coinvolti, indipendentemente dalla sequenzialità temporale del loro intervento, così come possibile in casi di affidamenti di sola progettazione o negli appalti di sola esecuzione, o in maniera integrata così come nei casi di concessioni.

La serie evidenzia l'importanza della collaborazione nello scambio di informazioni, principio che insieme all'interoperabilità rappresenta le fondamenta del Building Information Modelling. Mentre la parte 1 della serie introduce i principi e i concetti cardini

richiamati in tutte le successive pubblicazioni, la UNI EN ISO 19650-2:2019 si prefigge lo scopo di consentire alla committenza di stabilire le proprie esigenze informative e di definire i processi operativi di gestione delle informazioni stesse finalizzandoli alle fasi di consegna. La norma specifica le attività attraverso le quali i vari gruppi di consegna possono produrre informazioni in modo collaborativo e ridurre al minimo inefficienze in termini di tempi, costi ed energie, passando dalla nomina degli incaricati alla strutturazione e gestione dell'Ambiente di Condivisione dei dati e alla chiusura definitiva del progetto.

La UNI EN ISO 19650-3:2021 prende in esame la fase gestionale, ovvero quella parte del ciclo di vita del bene durante la quale il cespito immobile è sottoposto a utilizzo e a manutenzione. In questa fase, predominante in termini temporali nel ciclo vita dell'asset, il ruolo della gestione informativa e del BIM è ancora più determinante. È evidente che la maggior parte dei Soggetti Proponenti (proprietari e/o gestori) abbia interesse a lungo termine sugli asset ed è proprio durante la fase di gestione che si verificano molteplici eventi scatenanti (trigger events), ognuno dei quali origina le attività che rientrano nell'Information Management. L'AIM (Asset Information Model - modello informativo dell'opera) conterrà i dati di input per le attività manutentive degli affidatari e supporterà la pianificazione dei loro incarichi tecnici.

Con la parte 5, infine, l'attenzione si sposta verso le tematiche attinenti alla sicurezza dei dati e delle informazioni con l'indicazione della strategia contro i rischi legati alla gestione digitale e collaborativa dei dati stessi. La digitalizzazione comporta sicuramente l'introduzione della multidisciplinarietà nel settore edilizio al pari della duplice possibilità di prevedere l'opera come entità fisica o digitale (Digital Twin). Avremo col tempo una sempre maggiore facilità di accesso alle tecnologie, modificando il nostro modo di lavorare e correlando discipline finora trattate come indipendenti: sistemistica, ICT, automazione, cyber-security, utilizzo del bene, etc. La norma quindi, pur mantenendo validi i requisiti di sicurezza informatica in capo alla ISO/IEC 27001:2013, assiste le nuove professioni dell'era digitale verso la comprensione e la corretta gestione delle vulnerabilità correlate a nuove tecnologie e processi che al contempo definiamo innovazione.



Paolo Odorizzi

Ingegnere progettista strutturale laureato nel 1985 (Politecnico di Milano), ha svolto attività professionale post laurea, consolidando conoscenza e pratica delle tematiche progettuali per opere in cemento armato e in carpenteria metallica, geotecniche, infrastrutturali e offshore, presso Ce.A.S. Centro Analisi Strutturali, con mansioni di analista strutturale per analisi FEM lineari/dinamiche/non lineari, e attraverso l'uso di svariati software ad elementi finiti quali ABAQUS, ADINA, NASTRAN, ANSYS, SAP, XFINEST. Ha sviluppato negli anni

diversi settori operativi di Harpaceas, contribuendo all'apertura della sezione dedicata alla consulenza sul tema del BIM e per la digitalizzazione delle commesse in ambito AECO. Dal 2000 è Direttore Tecnico di Harpaceas società impegnata nell'erogazione di consulenze e servizi legati alle tecnologie informatiche e ai relativi processi di lavoro (BIM/Digital Twin). Dal 2002 ha introdotto in Italia TEKLA STRUCTURES, di Trimble Solution Inc., package BIM leader tra le soluzioni per le strutture sia in carpenteria metallica che in cemento armato. Nel 2014 è co-autore di uno tra i primi testi generali sul BIM a carattere divulgativo, pubblicato in Italia (Maggioli Editore), intitolato "Il Building information Modeling - valore, gestione e soluzioni operative". Dal 2015 partecipa ai lavori del CEN TC 442 nei gruppi di lavoro Europei per lo sviluppo della digitalizzazione del settore. Ha partecipato ai lavori di redazione della norma UNI 11337 presso il CT033 SC05 di UNI.



Ugo Piccinno

Ingegnere civile laureato nel 2012, indirizzo infrastrutture e sistemi di trasporto. Maturata esperienza in Project/Construction Management e sviluppo di progetti con metodologia BIM. In Harpaceas si occupa di supporto tecnico e corsi di formazione per i settori di Project Collaboration e Information Management. Tiene corsi di formazione su ambienti di condivisione dei dati, piattaforme di integrazione progettuale e interoperabilità. Come BIM Consultant ricopre il

ruolo di Osservatore CEN (TC 442/WG2 Exchange information) e contribuisce ai lavori per la redazione della norma UNI 11337 "Gestione digitale dei processi informativi delle Costruzioni" presso il CT033 SC05 di UNI.

SCHEMA ORGANIZZATIVO DELLE GIORNATE

Le tabelle seguenti riportano lo schema organizzativo delle XXVIII Giornate Italiane della Costruzione in Acciaio del C.T.A.

GIOVEDÌ 29 SETTEMBRE 2022			
09:00	Registrazione dei partecipanti		
09:20	Saluti di benvenuto		
09:50	Relazione ad invito - Ricerca Tema 1		
10:30	Coffee Break/Filmati Sponsor		
11:00	Relazione Sponsor (in Sede Congressuale)		
11:10	Relazione ad invito: Realizzazioni Tema 1		
11:50	Sessioni Parallele (A1, A2, A3)		
13:00	Colazione di lavoro		
	ATTIVITA' CONGRESSUALI	AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE	POSTER
14:00	Sessioni Parallele (B1, B2, B3)	Corso Tema A - Lezione 1	Sessione P1
15:00	Interventi Sponsor Registrati	Interventi Sponsor Registrati	Interventi Sponsor Registrati
15:20	Sessioni Parallele (C1, C2, C3)	Corso Tema A - Lezione 2	Sessione P2
16:20	Coffee Break/Filmati Sponsor	Coffee Break/Filmati Sponsor	Coffee Break/Filmati Sponsor
16:40	Sessioni Parallele (D1, D2, D3)	Corso Tema A - Lezione 3	Sessione P3
17:40	Sessioni Parallele (E1, E2, E3)	Corso Tema A - Lezione 4	Sessione P4
18:40	Fine lavori		
20:00	Cocktail di Benvenuto		

VENERDÌ 30 SETTEMBRE 2022			
09:00	Relazione ad invito - Ricerca Tema 2		
09:40	Relazione ad invito - Ricerca Tema 3		
10:20	Relazione Sponsor (in Sede Congressuale)		
10:30	Coffee Break/Filmati Sponsor		
11:00	Relazione ad invito: Realizzazioni Tema 2		
11:40	Sessioni Parallele (F1, F2, F3)		
13:00	Colazione di lavoro		
	ATTIVITA' CONGRESSUALI	AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE	POSTER
14:00	Sessioni Parallele (G1, G2, G3)	Corso Tema B - Lezione 1	Sessione P5
15:00	Interventi Sponsor Registrati	Interventi Sponsor Registrati	Interventi Sponsor Registrati
15:20	Sessioni Parallele (H1, H2, H3)	Corso Tema B - Lezione 2	Sessione P6
16:20	Coffee Break/Filmati Sponsor	Coffee Break/Filmati Sponsor	Coffee Break/Filmati Sponsor
16:40	Sessioni Parallele (I1, I2, I3)	Corso Tema B - Lezione 3	Sessione P7
17:40	Sessioni Parallele (L1, L2, L3)	Corso Tema B - Lezione 4	Sessione P8
18:40	Fine lavori		
20:15	Cena di gala - Premiazioni (Best Paper Awards - Best Design Awards - Best Theses Awards)		

	SABATO 1 OTTOBRE 2022	
09:00	Relazione ad invito	
09:40	Relazione ad invito	
10:20	Relazione Sponsor (in Sede Congressuale)	
10:30	Coffee Break/Filmati Sponsor	
11:00	Relazioni ad Invito su Tema Tecnico (Relatore Sponsor)	
11:40	Relazione ad invito	
12:20	Sessioni Parallele (M1, M2, M3)	Tavola rotonda
13:20	Colazione di lavoro	
	RICERCA	AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE
14:20	Interventi Sponsor Registrati	Interventi Sponsor Registrati
14:30	Sessioni Parallele (N1, N2, N3)	Corso Tema C – Lezione 1
15:30	Sessioni Parallele (O1, O2, O3)	Corso Tema C – Lezione 2
16:30	Coffee Break/Filmati Sponsor	Coffee Break/Filmati Sponsor
17:00	Assemblea dei soci C.T.A.	Corso Tema C– Lezione 3
18:00	Fine lavori	

XXVIII GIORNATE ITALIANE DELLA COSTRUZIONE IN ACCIAIO



COLLEGIO
DEI TECNICI
DELL'ACCIAIO

FRANCAVILLA A MARE (PESCARA)

29 SETTEMBRE - 1 OTTOBRE 2022

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

CDJ *Win*

Computer Design of Joints
2022 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**

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

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

Modello in CDJ *Win*

Modello in Revit®

**Il nuovo plug-in,
appositamente
sviluppato dalla STS per
l'ambiente Revit®,
consente di esportare
in CDJ Win sia la
struttura intelaiata sia
le unioni metalliche a
geometria qualsiasi.**

Visiona i nostri
video tutorials su **YouTube**

Visita il nostro sito www.stsweb.it per visionare i nostri video tutorials.

Richiedi una dimostrazione in connessione remota al seguente indirizzo email: cdj@stsweb.it



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

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

