

ISSN n° 0010-9673 Poste Italiane SpA - Spedizione in Abbonamento Postale - D.L. 353/2003 (con. in L. 27.02.04 n° 46) Art. 1, comma 1, LO/MI Prezzo a copia: € 11,50 - In caso di mancato recapito inviare al CMP di Milano-Rosario per la restituzione al mittente previo pagamento reso



SPECIALE FACCIAE CONTINUE

MAG/GIU 2017



RIVISTA BIMESTRALE
PER LA DIFFUSIONE
DELLA CULTURA DELL'ACCIAIO

COSTRUZIONI METALLICHE



CORE BUSINESS:

- Tensile Membrane
- Cable Net Structures
- ETFE Structures
- Retractable Structures
- Mechanical Systems
- Special Steel Structures
- Timber Structures
- Bridges
- Renewable Energies
- Facade Engineering
- CFD analysis
- BIM



Our team provides services that span from the project conception to the project handover. In particular we focus on design of stadiums, transportation stations, airport terminals and long span tensile and cable structures. In addition to the practice of classical structural engineering Maffeis Engineering is a renowned leader in the field of Tensile Structures (Fabric, Cables, ETFE) Retractable Systems (Roofs, Façades) and Bridges



Maffeis Engineering S.p.A. Via Mignano 26 - 36020 Solagna (VI) - ITALY
www.maffeis.it / mail: info@maffeis-it / phone: (+39) 0424 55836



Con la nuova versione Tekla Structures 2017 la modellazione è ancora più efficiente, consentendo una maggiore produttività ed evitando costosi errori nelle fasi di fabbricazione e di costruzione.

Structures

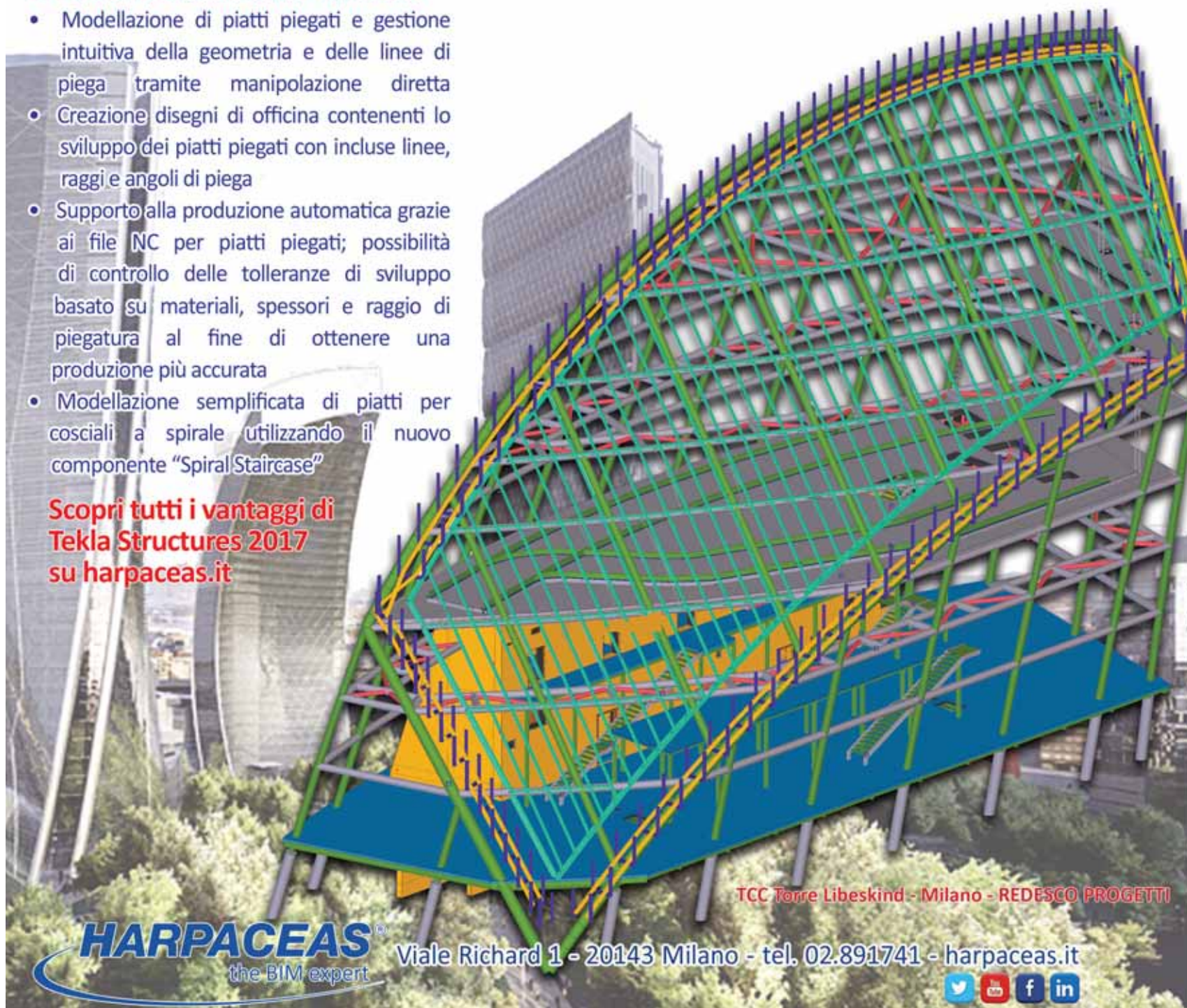
NUOVA VERSIONE 2017

IL BIM PER L'INGEGNERIA STRUTTURALE

SCOPRI IL NUOVO TEKLA STRUCTURE 2017

- Modellazione di piatti piegati e gestione intuitiva della geometria e delle linee di piega tramite manipolazione diretta
- Creazione disegni di officina contenenti lo sviluppo dei piatti piegati con incluse linee, raggi e angoli di piega
- Supporto alla produzione automatica grazie ai file NC per piatti piegati; possibilità di controllo delle tolleranze di sviluppo basato su materiali, spessori e raggio di piegatura al fine di ottenere una produzione più accurata
- Modellazione semplificata di piatti per cosciali a spirale utilizzando il nuovo componente "Spiral Staircase"

Scopri tutti i vantaggi di Tekla Structures 2017 su harpaceas.it



TCC Torre Libeskind - Milano - REDESCO PROGETTI

HARPACEAS
the BIM expert

Viale Richard 1 - 20143 Milano - tel. 02.891741 - harpaceas.it





Il Marchio di Qualità della Zincatura a Caldo

Obiettivo del marchio è innalzare il livello di qualità della zincatura a caldo e rendere riconoscibile sul mercato l'affidabilità delle aziende aderenti, la loro corretta gestione amministrativa, ambientale e della sicurezza.

Il Marchio HiQualiZinc si basa sulle normative tecniche europee ed internazionali UNI EN ISO 1461:2009 e UNI EN ISO 14713:2010, ma è attuabile anche per la zincatura secondo standard sviluppati da enti di formazione esterni al circuito ISO come, ad esempio, l'ASTM e la norma ASTM A123/A123M.

Scarica il Disciplinare Tecnico dal sito web

www.hiqualizinc.it

**Per la marcatura CE
e la dichiarazione di durabilità**

Se il manufatto da zincare a caldo ha una funzione strutturale per cui devono essere rispettate delle particolari necessità connesse alla marcatura CE, il sistema del marchio ne supporta le procedure.

Il marchio HiQualiZinc, per questo aspetto, si basa sulla normativa armonizzata UNI EN 1090 e, per questo, è l'unico sul mercato che sia tecnicamente affidabile.

HiQualiZinc si integra al sistema della qualità ISO 9001 e garantisce l'applicazione corretta delle procedure per il sub-appalto della zincatura a caldo presso le aziende certificate. Così, fornisce una certificazione delle procedure di zincatura a caldo in adozione presso le aziende aderenti, in modo da poter essere considerato un'efficace estensione del sistema FPC del costruttore

AZIENDE CERTIFICATE HIQUALIZINC



GALVAN SRL
UNIPERSONALE



emita
ZINCHERIA A CALDO



PROCAN
Srl



zardini
TIRANTI-TIRAFONDI-FILETTATURE
ZINCHERIA A CALDO



ZINCATURA
DI CAMBIANO SRL
UNIPERSONALE



ZINCO GAM
SpA
Zincatura a caldo

IRPINIA ZINCO



OLFEZ SRL



TecnoZinco
zincatura a caldo
Carini



ZIMETAL
ZINCATURA A CALDO



ZINCATURA
BRESCIANA

Zincheria Valbrenta

Zincheria Seca



ZITAC SRL
UNIPERSONALE

IN VIA DI CERTIFICAZIONE



ASSOCIAZIONE ITALIANA ZINCATURA
Via Luigi Lilio, 62 - 00142 Roma
www.aiz.it

YOUR CHALLENGES, OUR SOLUTIONS.



FOTOGRAFA
IL QR CODE
PER GUARDARE
IL NOSTRO
NUOVO VIDEO



Treno Alta Velocità Milano-Napoli, Ponte strallato sul fiume Po, Piacenza (Italia)

**STRUCTURAL ENGINEERING
AND POST TENSIONING SYSTEMS**

tensainternational.com



TENSA
GRUPPO DE ECCHER

*i programmi
di calcolo strutturale*



SAP2000 civile

ETABS edifici

SAFE fondazioni e solai

CSiBridge ponti

Perform 3D analisi prestazionale

VIS verifiche c. a.

SCS nodi acciaio

I programmi CSI mettono a vostra disposizione la somma di una conoscenza accumulata nel corso di oltre quarant'anni di attività illustre.

Potrete usarla con fiducia, salendo sulle spalle di giganti dell'ingegneria moderna, come i professori Edward Wilson, Graham Powel e Ashraf Habibullah, per vedere lontano con il vostro lavoro.

Potrete utilizzare le più raffinate tecniche di calcolo senza esserne intimoriti e scoprire di avere uno strumento facile e intuitivo come solo i grandi programmi possono essere. In più, incontrerete un team entusiasta ed esperto, pronto ad assistervi e a rendere semplice l'apprendimento.

Troverete competenza, professionalità e amicizia.

Se lavorate all'estero, i vostri calcoli saranno accompagnati dall'indiscussa reputazione con cui il software CSI è accolto nel mondo e scoprirete spesso di disporre degli unici programmi a essere accettati senza riserve da autorità amministrative e compagnie di assicurazione.

CSi Italia Srl

Galleria San Marco 4

33170 Pordenone

Tel. 0434.28465

Fax 0434.28466

E-mail: info@csi-italia.eu

<http://www.csi-italia.eu>

L' AOUILA
RISTRUTTURAZIONI POST-SISMA
EDIFICI STORICI

Ristrutturazione di Palazzo De Marchis
con salvaguardia del perimetro murario
e relativa facciata esterna



COSTRUZIONE DI ABITAZIONE CIVILE:
STRUTTURA E SOLAI IN ACCIAIO

COSTRUZIONI RISTRUTTURAZIONI

Marchatura CE in conformità con EN 1090-1:2009 + A1 2011
Certificazione ISO 9001:2008
Certificazione ISO 3834-2

www.salvatisrl.it
AVEZZANO (AQ) Nucleo Industriale



ALTA TECNOLOGIA DELL' ACCIAIO

Linea CNC Gantry automatica di taglio ad alta definizione con plasma e ossitaglio per lamiere



Le Kronos sono robuste linee "gantry" di taglio termico studiate per i costruttori in acciaio per la produzione di lamiere, piastre di giunzione, rinforzi ecc. dal materiale grezzo al pezzo finito, eseguendo tutti i processi di taglio in un'unica operazione, senza movimentare il materiale e con l'ausilio di un solo operatore.

Kronos della serie HP & SP possono essere equipaggiate con fino a quattro torce ossitaglio, una o due torce plasma ad alta definizione, per tagli dritti o inclinati, con sorgente Hypertherm di ultimissima generazione HPR300 o HPR400XD: le linee Kronos possono davvero soddisfare qualsiasi esigenza di taglio.

Il bancale è costituito da una robusta griglia che garantisce la stabilità della piastra durante la lavorazione. Il banco è predisposto per ricevere sistemi di aspirazione e filtraggio dei fumi.



Abbiamo creato un sistema di informazione globale per gli appassionati di ingegneria

- **INGENIO** è una Testata tecnica che nasce dalla volontà di rispondere alle esigenze di informazione e aggiornamento tecnico nel settore delle costruzioni.
- Il cuore del sistema di informazione è il portale: www.ingenio-web.it, integrato da un Magazine digitale e cartaceo, una Newsletter tematica di approfondimento e un'area video.
- Il motore di INGENIO è la diffusione delle conoscenze tecniche, per questo ha puntato sulla pubblicazione di articoli tecnici di approfondimento, e non solo sulle news del settore.
- Oggi INGENIO conta su una banca dati di oltre 10.000 articoli, tutti disponibili gratuitamente sul portale.

Direttore responsabile: Bruno Finzi

Segreteria Operativa: Benedetto Cordova
(b.cordova@ctanet.it), Riccardo De Col (r.decol@ctanet.it)

Segreteria Amministrativa: Valeria Pasina
(costruzionimetalliche@ctanet.it) – tel. 02 784711

Gruppo di Redazione: Claudio Bernuzzi, Andrea Campioli, Paolo Castaldo, Benedetto Cordova, Riccardo De Col, Attilio De Martino, Mario de Miranda, Bruno Finzi, Raffaele Landolfo, Emanuele Maiorana, Paolo Napoli, Elide Nistri, Vincenzo Piluso, Sergio Scanavino

Comitato scientifico tecnico: prof. ing. Giulio Ballio, geom. Giancarlo Coracina, prof. ing. Luigino Dezi, arch. Eric Dubosc, prof. ing. Dan Dubina, arch. Bertrand Lemoine, prof. ing. Federico M. Mazzolani, prof. ing. Vittorio Nascè, prof. ing. A. Nethercot, prof. ing. Maurizio Piazza, prof. ing. Luís Simões da Silva, prof. ing. Enzo Siviero, prof. ing. Carlo Urbano, dott. ing. Alberto Vintani, prof. ing. Riccardo Zandonini

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 Giustiniano 10
tel. 02 784711; costruzionimetalliche@ctanet.it

Spazi pubblicitari e promozione abbonamenti:

CTA Collegio Tecnico dell'Acciaio, 20129 Milano,
Viale Giustiniano 10, tel. 02 784711;
costruzionimetalliche@ctanet.it

Impaginazione, grafica e stampa:

Gierre Print Service Srl, Via Carlo Goldoni, 1
20129 MILANO Tel. 02 49524930
e-mail: commerciale@gierreprint.com

Abbonamenti per l'anno 2017 (6 numeri):

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

Subscription rates for 2017 (6 issues):

Italy: € 60,00 - Abroad: € 150,00 - Students: € 20,00
Price each copy: € 15,00

Per sottoscrivere l'abbonamento scrivere a:

costruzionimetalliche@ctanet.it
oppure telefonare a: 02.784711

Per sottoscrivere l'abbonamento online:

[http://www.collegiotecniciacciaio.it/
costruzionimetalliche/](http://www.collegiotecniciacciaio.it/costruzionimetalliche/)

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

The publishers are in no way responsible for the opinions expressed by the authors and for the attributions relative to the participation in the design and performance of the works indicated by them

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

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

Iscrizione ROC n. 25403 (Art.16 Legge 62 - 7/03/2001)

ISSN n. 0010-9673

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

Questo numero della rivista è stato chiuso in redazione e stampato nel mese di luglio 2017

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 LXIX

MAG GIU 17



seguiteci anche su Facebook:
www.facebook.com/CMrivista



In copertina: Podium della Torre Zaha Hadid, Milano.
Design facciate e rivestimenti: Maffeis Engineering SpA
Progettazione installazione: Maffeis Engineering SpA
Realizzazione rivestimenti e facciate: Ialc Serramenti srl

11	EDITORIALE PAOLO RIGONE	L'INGEGNERIA DELLE FACCIATE
13	SPECIALE FACCIATE CONTINUE PAOLO RIGONE, PAOLO GIUSSANI	METALLO E VETRO - LE FACCIATE CONTINUE Tipologie costruttive e criteri di posa in opera
25	SPECIALE FACCIATE CONTINUE FRANCO DE PIZZOL, PAOLO RIGONE	L'INTERFACCIA TRA LA FACCIATA CONTINUA IN ALLUMINIO-VETRO E LA STRUTTURA PORTANTE IN ACCIAIO Le tolleranze dimensionali
35	SPECIALE FACCIATE CONTINUE ANDREA CAMPIOLI	ACCIAIO E TRASPARENZA FILTRATA Goring & Straja, Affori Centre, Milano 2008
47	SPECIALE FACCIATE CONTINUE GIUSEPPE FUSARO	FACADE ENGINEER Un ruolo chiave nel team per un progetto di qualità
64	SPECIALE FACCIATE CONTINUE MAURIZIO FROLI, DARIO MAESANO, FRANCESCO LACCONE	PROGETTO DI UN PADIGLIONE INTEGRALMENTE VITREO costruito mediante telai ibridi TVT di grande luce
77	SPECIALE FACCIATE CONTINUE ELEONORA NEGRI	QUANDO L'INVOLUCRO È PROTAGONISTA - LO SKYLINE DAI DUE VOLTI A Roma Stahlbau Pichler realizza la pelle del nuovo headquarters BNL – Gruppo BNP PARIBAS
83	SPECIALE FACCIATE CONTINUE SAMUELE SASSI, PAOLO SETTI, GIUSEPPE AMARO, LAMBERTO MAZZIOTTI, GIUSEPPE PADUANO, PIERGIACOMO CANCELLIERE, MAURO MAEDDU	FIRE SAFETY ENGINEERING applicata alle facciate di edifici di grande altezza
92	SPECIALI MARCO TRENTINI	LA PROTEZIONE DALLA CORROSIONE DI STRUTTURE METALLICHE con pitture idrodiluibili (ecocompatibili) qualificate secondo standard internazionali UNI EN ISO 12944 e NORSOK M-501 Rev.6.
100	LE ASSOCIAZIONI E LE AZIENDE INFORMANO A cura di AIZ - ASSOCIAZIONE ITALIANA ZINCATURA	MARCATURA CE La zincatura e la dichiarazione di durabilità
102	LE ASSOCIAZIONI E LE AZIENDE INFORMANO GNS9 - GIORNATE NAZIONALI DI SALDATURA - 9ª EDIZIONE	Un mix di Eventi con relatori di prestigio
104	RECENSIONI	
105	IFIRESS	2 ND INTERNATIONAL FIRE SAFETY SYMPOSIUM 2017 (IFIRESS 2017)



XXVI GIORNATE ITALIANE della COSTRUZIONE IN ACCIAIO

28-30 Settembre 2017 - Venezia



PRESENTAZIONE

La XXVI edizione delle "Giornate Italiane della Costruzione in Acciaio" si terrà a Venezia col tema "L'acciaio, materiale ideale per realizzare costruzioni antisismiche resilienti, espressive ed economiche" e sarà articolato in due momenti: il XXVI Congresso CTA nelle giornate del **28 e 29 settembre** nelle giornate del 28 e 29 settembre presso la Scuola Grande San Giovanni Evangelista ed una Sessione Speciale a carattere formativo nella giornata del **30 settembre** nella giornata del 30 settembre presso Palazzo Badoer, sede IUAV.

Il **Congresso** ha l'obiettivo, ed è l'occasione, per approfondire gli aspetti progettuali ed esecutivi legati all'impiego dell'acciaio sia nelle nuove costruzioni, sia in quelle esistenti. I temi tradizionali che vengono affrontati sono la ricerca teorica e sperimentale, le normative, le realizzazioni di strutture e ponti, la sostenibi-

lità, la resistenza al fuoco ed alla corrosione, ed i collegamenti. Verranno in questa occasione approfonditi anche due temi particolarmente attuali, che rispondono alle seguenti questioni:

- Come **estendere l'uso dell'acciaio nelle costruzioni antisismiche** ed in particolare nell'edilizia abitativa e nel recupero edilizio; il tema verrà affrontato esaminando gli aspetti progettuali, tecnologici, economici e normativi che possano migliorare questa diffusione, con beneficio per l'intera società;
- Quali sono i più recenti sviluppi tecnologici nella produzione di **acciai innovativi** ad elevate prestazioni, di elevata resistenza, tenacità e durezza.

A tal fine sono previste relazioni ad invito, oltre a quelle sullo stato di avanzamento della ricerca e sulle più recenti realizzazioni in carpenteria metallica. Inoltre, il Congresso fornirà la possibilità a tutti gli ingegneri

iscritti all'Albo, di accreditare **8 CFP** per le due prime giornate.

La **Sessione Speciale** del 30 Settembre è dedicata alla **innovazione** nella progettazione e costruzione in acciaio. Al mattino vi sarà una Sessione Plenaria in cui interverranno studiosi e progettisti di fama internazionale, mentre il pomeriggio sarà articolato in Sessioni Parallele interamente dedicate all'offerta di **4 corsi di aggiornamento professionale** e formazione su differenti aspetti relativi alla progettazione, direzione lavori e collaudo di strutture in acciaio. La Sessione Speciale darà la possibilità di accreditare **8 CFP** per chi assisterà alla Sessione Plenaria del mattino e frequenterà uno dei 4 corsi del pomeriggio. L'evento è aperto ad un vasto pubblico di appassionati delle costruzioni metalliche che comprende esperti, ricercatori, ingegneri ed architetti, società di ingegneria e studenti.

QUOTE DI PARTECIPAZIONE

Congresso:

- Socio C.T.A. in regola con quota 2017: 360 € (*)
- Altri partecipanti: 500 € (**)
- Dottorandi: 250 € (**)
- Accompagnatori: 120 € (***)
- Cena di Gala: 80 €

Le quote comprendono:

* Registrazione, cocktail di benvenuto, materiale tecnico, coffee break, colazioni di lavoro.

** Registrazione, cocktail di benvenuto, materiale tecnico, coffee break, colazioni di lavoro + Iscrizione CTA 2017 + 2018 promozionale.

*** Visite guidate, cocktail di benvenuto, coffee break, colazioni di lavoro.

Per ulteriori precisazioni e aggiornamenti si consulti il sito web

Sessione Speciale:

Relazioni ad invito e corso di aggiornamento professionale

- Socio CTA e/o iscritti al XXVI Congresso CTA: Gratis
- Altri partecipanti: 70 €

TEMI PRINCIPALI

- Ricerca teorica e sperimentale
- Normative
- Ponti
- Edifici alti
- Acciai innovativi ad alte prestazioni
- Strutture in profili sottili
- Strutture composte acciaio calcestruzzo
- Collegamenti
- Ingegneria del vento
- Costruzioni e strutture antisismiche
- Robustezza strutturale
- Storia della Costruzione Metallica
- Costruzioni leggere in acciaio per l'edilizia sostenibile
- L'acciaio nel recupero edilizio e nel restauro
- Architettura e Acciaio: estetica, etica, forma e funzione

Possibilità di accreditare **16 CFP** di aggiornamento professionale

Le memorie scientifiche saranno selezionate per la sottomissione alle riviste indicizzate "Ingegneria Sismica" e "The Open Construction & Building Technology Journal - Bentham Ed"

PROGRAMMA PRELIMINARE

Giovedì 28 Settembre 2017

1° Giornata // Scuola Grande S. Giovanni

- 08.00 Registrazione
- 09.00 Apertura dei lavori e saluti di benvenuto
- 09.50 Relazione generale sulla Ricerca / Oreste Bursi
- 10.50 Coffee Break
- 11.20 Sessioni Parallele 1
- 13.00 Colazione di lavoro
- 14.30 Relazione generale sulle Realizzazioni / Roberto Di Marco
- 15.30 Sessioni parallele 2
- 16.40 Coffee break
- 17.10 Sessioni parallele 3
- 18.30 Fine lavori
- 20.00 Cocktail di benvenuto

Venerdì 29 Settembre 2017

2° Giornata // Scuola Grande S. Giovanni

- 09.00 Introduzione
- 09.10 Relazione ad invito: "Use of new types of steel in Buildings Design and Construction - A Japanese way" Masayoshi Nakashima
- 10.10 Relazione ad invito: "La Scuola Grande San Giovanni e la tradizione delle Scuole di Arti e Mestieri di Venezia" / Manuela Morresi
- 10.40 Coffee Break
- 11.10 Sessioni parallele 4

- 13.00 Colazione di lavoro
- 14.30 Sessioni parallele 5
- 15.50 Coffee break
- 16.20 Sessioni parallele 6
- 17.30 Assemblea CTA
- 18.30 Fine lavori
- 20.30 Cena Sociale

Sabato 30 Settembre 2017

Sessione Speciale // IUAV - Palazzo Badoer

- 08.00 Registrazione Seminario e Corsi
- 09.00 Apertura dei lavori e saluti di benvenuto
- 09.30 "L'Università Telematica: una sfida ed una

- opportunità" / Enzo Siviero
- 10.00 "Strategie di progetto post-sisma in Italia: lettura storica e tecnica dal Friuli ad oggi" / Michele Mele
- 10.30 Coffee Break
- 11.00 "L'uso dell'acciaio nella protezione sismica del patrimonio edilizio esistente" / Federico Mazzolani
- 11.45 "Eurocodici di ultima generazione e Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" / Raffaele Landolfo
- 12.30 "Building low cost bridges around the world with Bridges to Prosperity" / Brandon Johnson
- 13.00 Pausa pranzo

- 14.00-18.00 Corsi di Aggiornamento Professionale
- α) "Concezione architettonica e strutturale delle costruzioni in acciaio in zona sismica" / Paolo Foraboschi
- β) "Confronto tecnico-economico di differenti strategie di progetto per strutture antisismiche" / Vincenzo Piluso
- γ) "Aspetti tecnologici e di dimensionamento delle strutture in profili leggeri piegati a freddo (CFS)" / Claudio Bernuzzi
- δ) "Trattamento e sistemi protettivi delle strutture in acciaio" / Emanuele Maiorana



Per informazioni scrivere a: cta@ctanet.it
oppure telefonare a: **02.784711**
o consultare il sito:
www.collegiotecniciacciaio.it

L'INGEGNERIA DELLE FACCIATE



Prof. Ing. Paolo Rigone
Direttore Tecnico UNICMI e
Docente di Progettazione
di involucro edilizio al
Politecnico di Milano

L'involucro edilizio costituisce il vestito dell'edificio, rappresentandone una sorta di biglietto da visita, comunicando in modo diretto le scelte architettoniche e tecnologiche che il progettista ha voluto far proprie. È quindi del tutto naturale che proprio l'involucro edilizio sia uno degli elementi costruttivi più attendibili e puntuali nel segnalare le nuove tendenze nel campo dell'architettura, indicando i cambiamenti che riguardano non solo gli aspetti compositivi, ma anche i materiali, i prodotti e le tecnologie impiegate. Il tema dell'involucro è senza dubbio connesso ad altri aspetti fortemente dibattuti oggi nel campo dell'architettura e del costruire: l'altezza e la crescita verticale degli edifici, la loro efficienza energetica e sostenibilità in generale. Dunque, sempre più di involucro edilizio come filtro complesso, in grado di mediare, in modo più o meno attivo, tra le sollecitazioni esterne di natura dinamica e le esigenze interne di benessere igrotermico, acustico e ottico luminoso. Ma per governare questa complessità crescente sono necessari nuovi strumenti normativi di controllo e di indirizzo per la progettazione e la realizzazione. L'involucro è dunque un componente edilizio che necessita di una progettazione qualitativamente integrata alla quale devono fare riferimento competenze dell'architettura, dell'ingegneria edile, strutturale ed impiantistica. Questa "nuova" disciplina dell'architettura e dell'ingegneria prende il nome di ingegneria delle facciate o *facade engineering*.

Molto spesso è difficile distinguere se la spinta all'innovazione viene dal "basso", dal mondo dell'industria, oppure "dall'alto", dalle idee dei progettisti. Di certo la ricerca e lo sviluppo dei materiali e dei prodotti è teso a spostare sempre più in là i limiti applicativi delle tecnologie (dimensioni sempre maggiori, spessori più contenuti, resistenze meccaniche elevate, migliori prestazioni acustiche ed energetiche). Attualmente l'innovazione tecnologica è fortemente orientata ad approfondire e migliorare il rapporto tra involucro ed energia.

In particolare, nel campo delle facciate continue, in questi ultimi anni si sono sviluppate specifiche tecniche di progettazione e costruzione di facciate "a doppia pelle", costituite da un doppio involucro che, per mezzo di un'intercapedine d'aria esistente tra la frontiera più esterna e quella più interna, permette di controllare in modo dinamico le condizioni di benessere climatico all'interno dell'edificio. Le tecnologie costruttive dell'involucro si sono molto diversificate e specializzate in relazione a precise richieste progettuali che variano da edificio ad edificio. In generale i sistemi costruttivi delle facciate del tipo "a montanti e traversi" hanno lasciato spazio, soprattutto nel caso di edifici alti, a sistemi integralmente prefabbricati in stabilimento, per mezzo di "cellule" o "moduli indipendenti" collegati tra di loro solamente in fase di montaggio in opera. Lo stesso dicasi per le modalità di fissaggio del tamponamento vetrato al retrostante telaio, dove, sempre per le grandi realizzazioni, il classico sistema con "ferma vetro e pressore esterno" ha lasciato spazio alla oramai consolidata tecnologia dell'incollaggio strutturale del vetro direttamente al telaio, riducendo sensibilmente la percezione visiva (dall'esterno) di quest'ultimo.

Paolo Rigone

In questo numero

Come si capisce dall'editoriale di Paolo Rigone, gran parte di questo numero di Costruzioni Metalliche è dedicato all'involucro edilizio, alla "pelle" che ricopre gli edifici in acciaio (e non), e che svolge importanti funzioni: isolare termicamente ed acusticamente l'edificio, al fine di mantenere il *comfort* all'interno di esso, e contribuire in modo essenziale e caratterizzante al suo aspetto estetico.

Il rivestimento di un edificio può essere anche molto semplice: per gli edifici industriali, ad esempio, si usano comunemente pannelli di tipo sandwich a doppia lamiera con interposto coibente. Ma in questo numero vogliamo riferirci ai rivestimenti più "sostanziosi", sia da un punto di vista funzionale che estetico, e cioè alle facciate continue, o *curtain wall*, per lo più impiegate nell'edilizia civile.

Paolo Rigone e Paolo Giussani ci illustrano le principali tipologie di *curtain wall* con relative caratteristiche, pregi e difetti nell'articolo: "Metallo e vetro - Le facciate continue - Tipologie costruttive e criteri di posa in opera".

Della progettazione delle facciate continue e dei problemi connessi ci parla Giuseppe Fusaro della società Maffei Engineering S.p.A. nel suo articolo: "Facade Engineer - Un nuovo ruolo nel team per un progetto di qualità".

Franco De Pizzol pone l'attenzione sulle tolleranze di fabbricazione e montaggio nel suo: "L'interfaccia tra la facciata continua in alluminio-vetro e la struttura portante in acciaio - Le tolleranze dimensionali".

Della sicurezza al fuoco delle facciate ci si occupa nell'articolo: "Fire safety engineering applicata alle facciate di edifici di grande altezza", a firma di Samuele Sassi, Paolo Setti, Giuseppe Amaro, Lamberto Mazziotti, Giuseppe Paduano, Piergiacomo Cancelliere e Mauro Madeddu.

Esempi infine di realizzazioni di facciate continue li troviamo negli articoli: "Progetto di un padiglione integralmente vitreo costruito mediante telai ibridi TVT di grande luce" di Maurizio Froli, Dario Maesano, Francesco Laccone, "Acciaio e trasparenza filtrata - Goring & Straja, Affori Centre, Milano 2008" di Andrea Campioli e "Quando l'involucro è protagonista - Lo skyline dai due volti - A Roma Stahlbau Pichler realizza la pelle del nuovo headquarters BNL - Gruppo BNP PARIBAS" a cura dell'Ufficio Stampa di Stahlbau Pichler.

Tutto ciò ed altro ancora in questo numero di Costruzioni Metalliche: buona lettura!

(La Redazione)



Da oltre sessant'anni in prima linea per gli approfondimenti tecnico scientifici della cultura del costruire con l'acciaio

CTA
COLLEGIO DEI TECNICI DELL'ACCIAIO

Per sottoscrivere l'abbonamento scrivere a:
costruzionimetalliche@ctanet.it
oppure telefonare a: 02.784711
Vi saranno forniti tutti i dettagli

SPECIALE
FACCIALE CONTINUE

COSTRUZIONI
METALLICHE

METALLO E VETRO LE FACCIATE CONTINUE

Tipologie costruttive e criteri di posa in opera

METAL AND GLASS - THE CURTAIN WALLS

System design and installation practice

Paolo Rigone, Paolo Giussani

La trasformazione dell'involucro, da tradizionale verso sistemi più complessi quali le facciate continue, rappresenta l'evoluzione di un sempre più attento approccio progettuale nei confronti del comfort interno e nel rispetto nelle prestazioni energetiche ed ambientali per i nuovi edifici contemporanei.

The transformation of building envelopes from traditional solutions to more complex systems such as curtain walls, represents a growing and more careful attention of design approach to interior comfort and respect for energy and environmental performance.

1. INTRODUZIONE

L'involucro edilizio, e più in particolare le facciate continue, costituiscono un complesso filtro tra ambiente interno ed esterno, che racchiude diverse discipline scientifiche, gli aspetti termici, acustici, di ingegneria del vento ed illuminotecnica, tra cui il controllo solare diretto ed indiretto unito alle tecnologie costruttive sempre più evolute ed oggi disponibili nel mercato.

La normativa di prodotto di riferimento per le facciate continue è la norma EN 13830 *"curtain walling - product standard"*, che definisce la facciata continua come *"curtain walling - costituita da un reticolo di elementi portanti verticali ed orizzontali tra di loro connessi ed ancorati alla struttura dell'edificio, al fine di sostenere un rivestimento di facciata continuo e leggero che ha il compito di garantire tutte le funzioni tipiche di una parete perimetrale esterna compresa la resistenza agli agenti atmosferici, la sicurezza all'uso, la sicurezza ed il controllo ambientale, ma che comunque non contribuisce alle caratteristiche portanti della struttura dell'edificio"*.

In merito alle prestazioni dell'involucro, esse sono opportunamente determinate sia in relazione alla tipologia di fabbricato, sia in funzione del contesto ambientale e della morfologia. La norma UNI EN 11173:2015 e relative appendici, definisce i criteri per la scelta delle caratteristiche prestazionali di permea-

bilità all'aria, tenuta all'acqua e resistenza al carico del vento. Nella fase di progettazione non vanno ad ogni modo trascurati gli altri aspetti legati all'isolamento termico, isolamento acustico, sicurezza in uso, sicurezza in caso di incendio, sicurezza alle effrazioni e accessibilità i cui criteri di scelta sono ampiamente argomentati nelle disposizioni normative.

2. TERMINOLOGIA E CLASSIFICAZIONE

I principali termini tecnici utilizzati nel campo delle facciate continue e nella loro progettazione sono:

1. Facciata continua - *Curtain walling*

Facciata esterna di un edificio realizzata con un'intelaiatura generalmente in metallo, costituita da elementi portanti verticali e orizzontali collegati insieme e ancorati alla struttura dell'edificio. Tale reticolo garantisce di per sé, o congiuntamente alla costruzione dell'edificio, tutte le normali funzioni di una parete esterna ma non contribuisce alle caratteristiche portanti della struttura esterna.

2. Facciata a doppia pelle - *Double skin facade*

Facciata continua comprendente una "pelle" esterna in vetro e una "pelle" interna realizzata a facciata continua che, insieme alla pelle esterna, garantisce tutte le funzioni di una chiusura verticale esterna.

3. Costruzione a montante e traversi - *Stick construction*

Intelaiatura costituita da elementi assemblati *in loco* a so-



Fig. 1 - Schema componenti facciata M/T

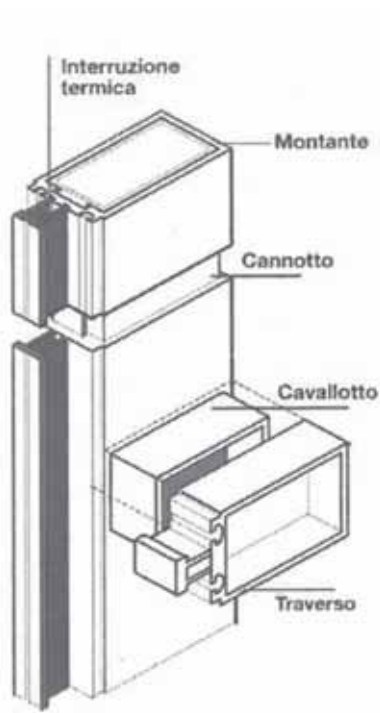
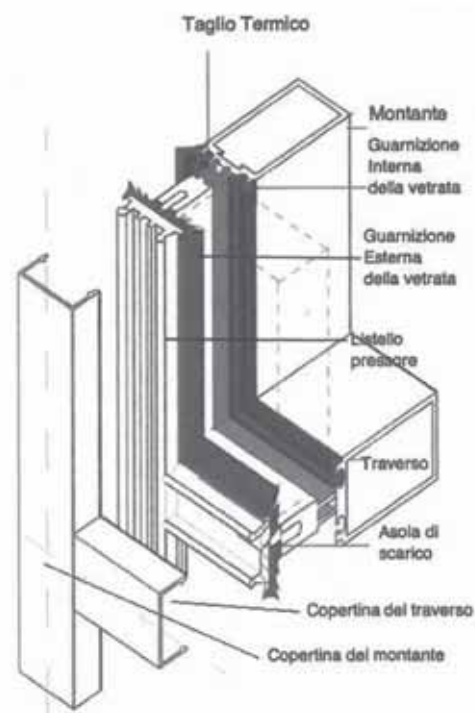


Fig. 2 - Dettaglio componenti facciata M/T,



stegno di vetrate, vetrata isolante o pannello di tamponamento.

4. **Traverso - Transom**

Elemento orizzontale dell'intelaiatura di una facciata continua.

5. **Traverso superiore - Head**

Elemento orizzontale dell'intelaiatura posta alla sommità della facciata continua o alla sommità di un'area vetrata, di finestre, pannelli o porte.

6. **Traverso inferiore - Sill**

Elemento orizzontale dell'intelaiatura posto alla base di

una vetrata, di finestra, pannelli o porte.

7. **Montante - Mullion**

Elemento di telaio verticale della facciata.

8. **Copertina (montante/traverso) - Cover cap (mullion/transom)**

Profilato esterno di copertura, solitamente installato a scatto, applicato sul pressore del montante o del traverso per fornire una finitura architettonica adeguata.

9. **Listello pressore - Pressure plate**

Profilo a pressione applicato lungo il perimetro di una lastra di vetro, vetrata isolante o pannello di tamponamento

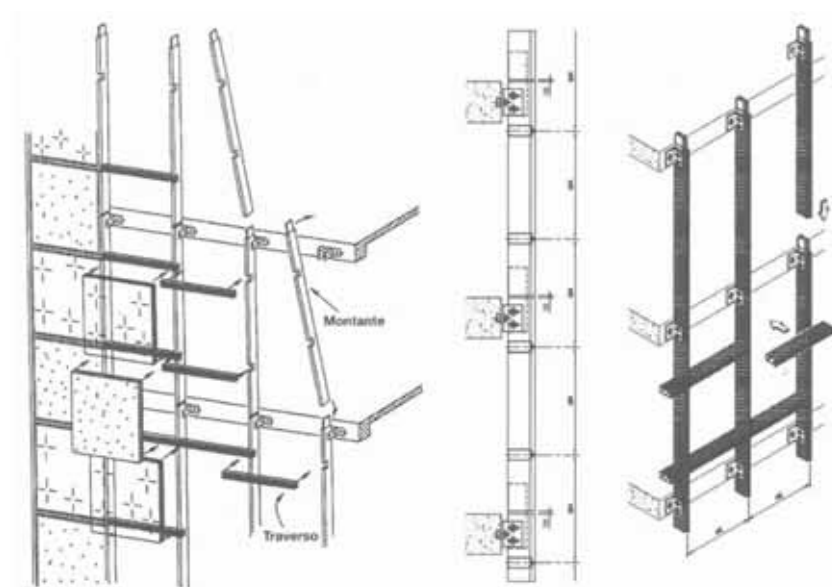
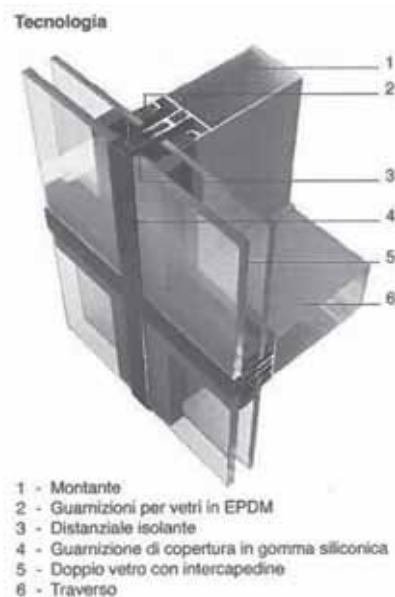


Fig. 3 - Facciata continua M/T



- 1 - Montante
- 2 - Guarnizioni per vetri in EPDM
- 3 - Distanziale isolante
- 4 - Guarnizione di copertura in gomma siliconica
- 5 - Doppio vetro con intercapedine
- 6 - Traverso

Fig. 4 - Dettaglio componenti facciata M/T

per vincolare e comprimere la guarnizione della vetrata.

10. Asola di scarico – *Drainage hole*

Apertura realizzata negli elementi di telaio della facciata, attraverso la quale si realizza il drenaggio dell'acqua verso l'esterno dell'edificio.

11. Guarnizione interna ed esterna della vetrata – *Internal/external glazing gasket*

Elemento rettilineo realizzato con materiale di tenuta resiliente preformato inserito tra: a) la faccia esterna di una lastra di vetro, oppure b) la vetrata isolante (vetro unito al perimetro), oppure c) il pannello di tamponamento e il telaio perimetrale, oppure, il listello fermavetro, oppure, il pressore.

12. Giunto di dilatazione – *Movement Joint*

Giunto che compensa i movimenti termici o di altro tipo causati dalla facciata continua o dalla struttura di sostegno.

13. Pannello tamponamento – *Infill panel*

Pannello di facciata solitamente costituito da un rivestimento traslucido od opaco, riempito con materiale isolante, realizzato in un pezzo unico o in più elementi, ed installato all'interno dell'intelaiatura perimetrale.

14. Spandrel – *Spandrel panel*

Area di una facciata continua posta tra due fasce orizzontali, solitamente vetrate, che nasconde la vista del fronte del retrostante solaio.

15. Vetrocamera – *Insulating glass unit*

Unità composta da due o più pannelli di vetro (singolo o stratificato) uniti perimetralmente attraverso un profilo a creare un'intercapedine.

16. Cimasa (cappello, copertina superiore) – *Coping*

Componente che protegge dalle intemperie l'interfaccia tra la sommità della facciata continua e il bordo del tetto.

17. Guida per il cestello di pulizia della facciata – *Cradle guide*

Profilo speciale continuo con scanalatura o binario, integrato nel montante o applicato ad esso separatamente, atto a fornire una guida per il posizionamento del cestello di pulizia e manutenzione della facciata.

18. Equalizzazione della pressione – *Pressure equalisation*

Metodo di sigillatura e di compartimentazione della facciata che consente la rapida diminuzione della pressione tra l'intercapedine della facciata fredda o le scanalature dei vetri e l'aria esterna.

19. Tassello – *setting block*

Blocchetto di materiale idoneo, posto sotto il bordo inferiore di una lastra di vetro, vetrocamera o pannello di tamponamento durante il loro inserimento nel telaio.

20. Cavallotto – *T-connector*

Profilato inserito all'interno della sezione cava del traverso per consentire la connessione strutturale di quest'ultimo al montante.

21. Canotto – *Spigot*

Profilato di connessione strutturale, sagomato per essere installato all'interno del profilo cavo di un elemento dell'intelaiatura della facciata continua.

22. Staffa di fissaggio – *Structural fixing bracket*

Assemblaggio di componenti strutturali progettati per trasmettere alla struttura dell'edificio tutte le azioni agenti sulla facciata continua, consentendo allo stesso tempo tutti i necessari movimenti e regolazioni eventuali.

23. Taglio termico – *Thermal break*

Elemento a bassa conducibilità termica incorporato nei profili di facciata finalizzato a ridurre il passaggio di calore tra materiali aventi conducibilità maggiori (es. profili metallici).

24. Barriera al vapore – *Vapor control layer*

Strato comprendente un materiale o un rivestimento con resistenza alla trasmissione del vapore maggiore rispetto a quella degli altri strati della facciata e progettato per controllare il passaggio del vapore attraverso la facciata.

25. Sigillatura perimetrale – *Structural sealant*

Sigillatura tra la facciata continua e la chiusura verticale adiacente, progettata per garantire la linea di tenuta all'aria e all'acqua della facciata.

3. CLASSIFICAZIONE DELLE FACCIATE CONTINUE

La classificazione delle facciate continue proposta (escluse quindi le coperture inclinate e le facciate ventilate), è il risultato di una diversificazione dei principali sistemi di facciate continue secondo la tecnologia impiegata, e quindi in base alle caratteristiche geometrico-funzionali degli elementi che le compongono (offerte dallo scenario produttivo di settore). Le tipologie di facciate continue più comuni ed utilizzate sono ad oggi:

- Le facciate continue a montanti e traversi;
- Le facciate continue ad elementi (cellule);
- Le facciate continue a fissaggio puntuale;
- Le facciate continue ad incollaggio strutturale dei tamponamenti vetriati;
- Le facciate continue a doppia pelle.

3.1 facciata continua a montanti e traversi e a telai (*Stick System*)

La facciata presenta un'intelaiatura generalmente in acciaio o alluminio, la quale consiste in elementi verticali, i montanti, e in elementi orizzontali, i traversi, collegati tra loro al fine di fornire un supporto regolare per i pannelli di chiusura (fi-

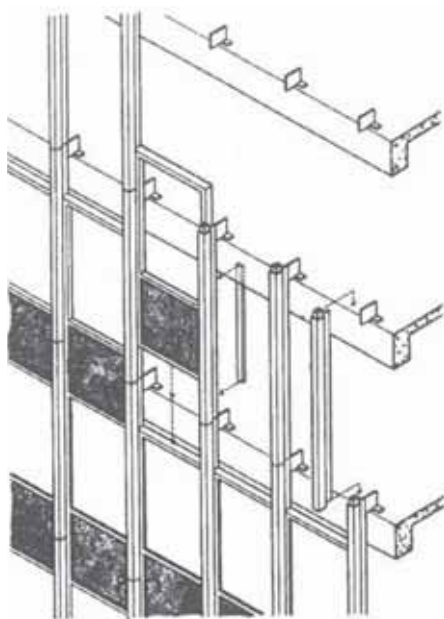


Fig. 5 - Facciata continua a telai

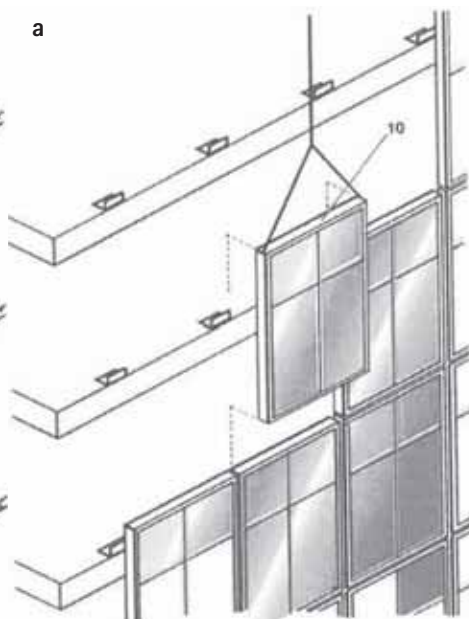


Fig. 6 - Facciata continua a cellule (o ad elementi) - Posa in opera



gure 1 – 4). Ai montanti è attribuito il compito di trasferire alla struttura portante gli sforzi dovuti al peso proprio della facciata ed alle azioni degli agenti atmosferici, in primo luogo quella del vento. I montanti di facciata trasferiscono il carico alla struttura del fabbricato mediante apposite staffe vincolate superiormente o inferiormente all'impalcato di piano tramite tasselli o inserti in acciaio annegati precedentemente nel getto.

I traversi, oltre a servire come elementi di irrigidimento della facciata, consentono il corretto fissaggio dei tamponamenti, i pannelli di chiusura possono essere vetrati (apribili o fissi), oppure opachi (in corrispondenza dell'attacco del solaio) che svolgono le funzioni di isolamento termoacustico, di mascheramento della testa del solaio e degli elementi presenti all'intradosso/estradosso del solaio stesso. Il kit si completa di guarnizioni di tenuta che garantiscono il corretto funzio-

namento nei confronti della tenuta all'acqua e permeabilità all'aria. Questa tipologia di facciata prevede l'assemblaggio dei diversi elementi sopra descritti direttamente in opera.

Variante del sistema di facciate a montanti e traversi, sono le facciate a telai (figura 5), i cui pannelli di chiusura risultano intelaiati e fissati ai montanti senza l'ausilio di traversi di separazione. I tamponamenti intelaiati e prefabbricati in officina, vengono collegati al reticolo di facciata (precedentemente installato presso il cantiere), mediante accoppiamento meccanico. L'evoluzione del sistema permette di velocizzare i tempi di posa e trasferire parte delle operazioni in officina consentendone anche un'esecuzione più accurata.

I principali vantaggi di questo sistema costruttivo sono:

- Adattabilità ed evoluzione del sistema in relazione al mutare delle esigenze progettuali;
- Costo contenuto rispetto alle altre tipologie di facciate continue;
- Facilità di stoccaggio e necessità di spazi relativamente circoscritti per il montaggio.

I maggiori problemi sono per lo più riconducibili alla posa in opera degli elementi che richiede l'utilizzo di ponteggi esterni, fissi o mobili, i quali in relazione all'intervento possono rappresentare notevoli limiti, come per gli edifici di notevole altezza. Viceversa risultano idonei laddove viene a mancare la ripetitività di un'unità tipo (anche se oggi le nuove tecnologie di produzione in fabbrica riescono sempre più a facilitare l'assemblaggio di moduli geometricamente complessi). Destinare tutte le fasi di montaggio dei componenti di facciata continua in cantiere, implica la necessità di un accurato controllo della qualità e dell'affidabilità degli interventi di assemblaggio in opera.

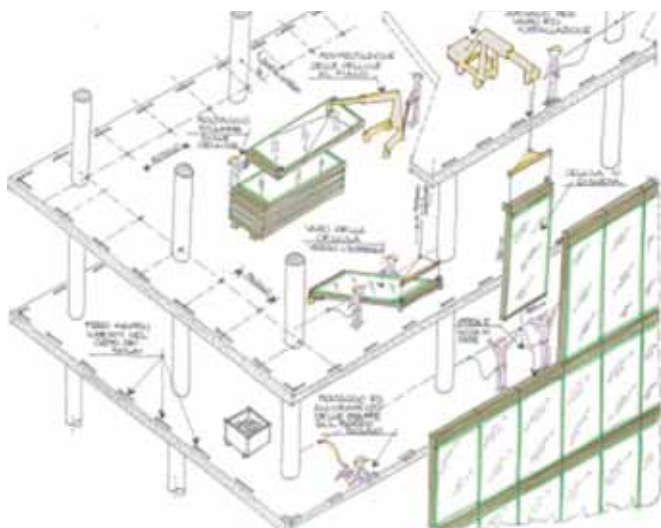


Fig. 7 - Facciata continua a cellule (o ad elementi) - Schema di montaggio

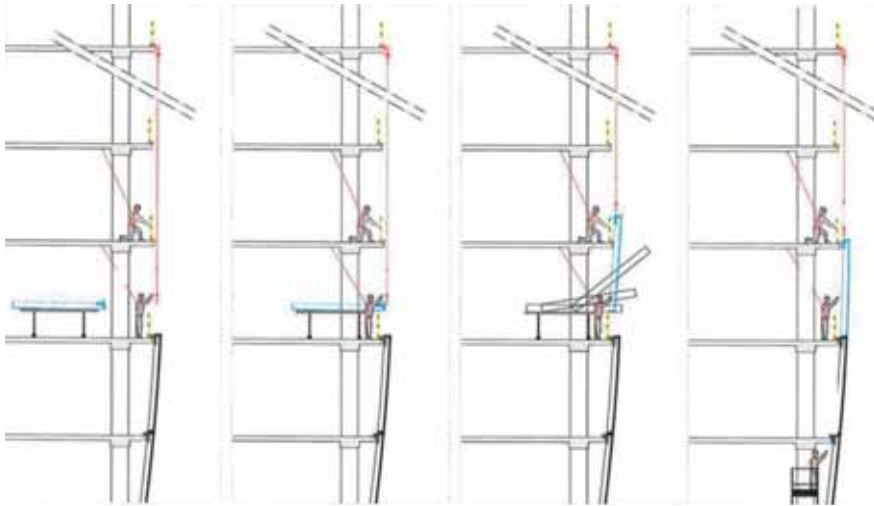


Fig. 8 - Facciata continua a cellule (o ad elementi) – Metodo di posa



Fig. 9 - Tipologia di fissaggio puntuale in geometrie complesse

3.2 Facciata continua a cellule (*Unitized System*)

La facciata continua a cellule (figure 6, 7 e 8) risulta costituita da un unico elemento modulare a comportamento scatolare che comprende sia l'elemento di tamponamento sia la sottostruttura metallica, posizionata in opera per mezzo di fissaggi i quali collegano l'elemento modulare direttamente alla struttura portante. Per consentire la realizzazione di una facciata continua, questi elementi vengono accostati tra loro in modo da realizzare un piano omogeneo. Le facciate a cellule possono includere diverse tecnologie di fissaggio delle specchiature vetrate: con fermavetro, con pressore esterno, con incollaggio

strutturale ed anche a fissaggio puntuale.

La posa in opera avviene secondo un ordine predeterminato per accostamento dei profili (solitamente maschio-femmina) e inserimento di guarnizioni in corrispondenza dei giunti: solitamente dal basso verso l'alto e per fasce orizzontali, anche se non sono escluse procedure diversificate a seconda delle esigenze logistiche del cantiere. La posa in opera delle cellule risulta generalmente più rapida delle precedenti e necessita di un minor numero di operazioni di rifinitura a fronte di un costo iniziale dell'elemento decisamente maggiore.

I moduli a cellule consentono di velocizzare le operazioni di

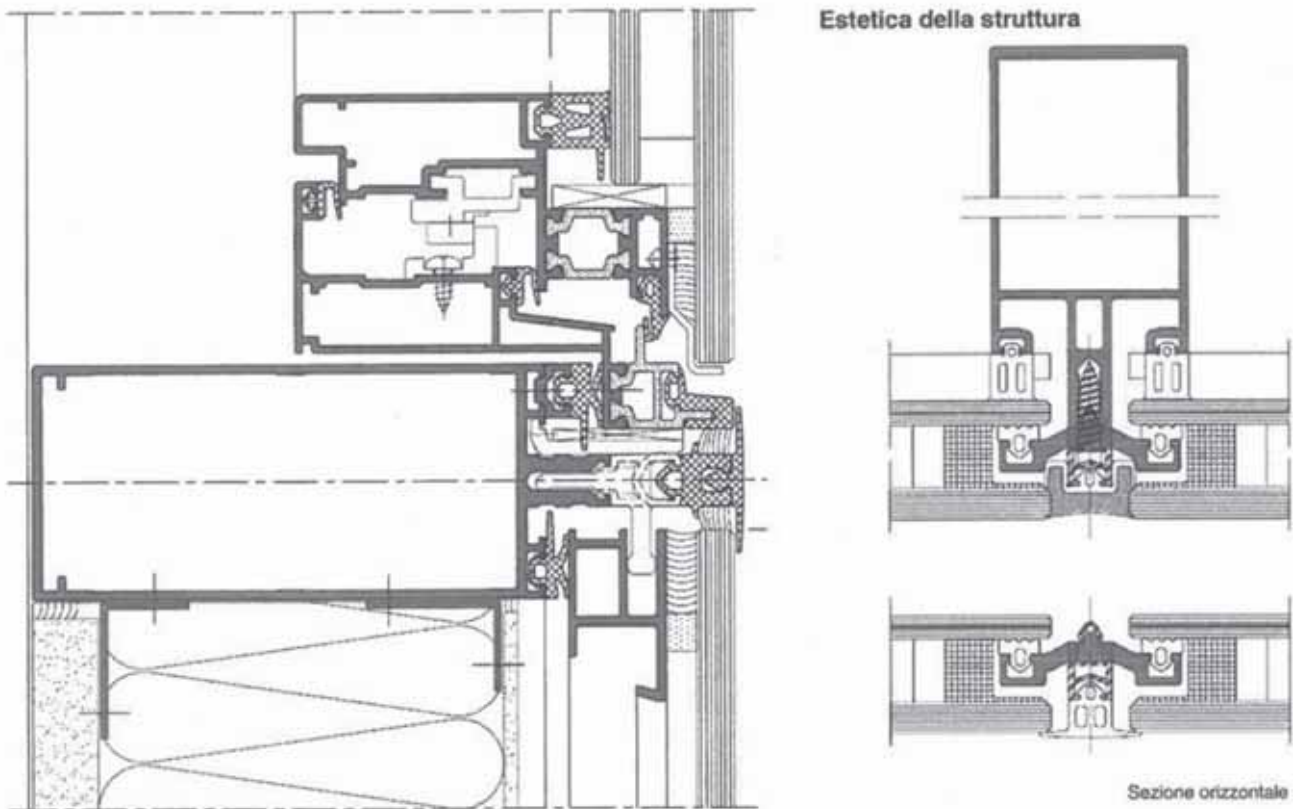


Fig. 10 - Facciata continua a montanti e traversi con tamponamenti vetriati ad incollaggio strutturale e fissaggio meccanico



Fig. 11 - Facciata a doppia pelle Torre Hadid - Milano - Involucro vetrato

installazione e posa in opera, svincolandosi dalla necessità di installare impalcature e ponteggi a supporto del cantiere. Le singole cellule vengono sollevate da argani meccanici all'atto dell'installazione. Una volta giunte a destinazione, le cellule di facciata vengono scaricate e distribuite al piano. La prima operazione che solitamente viene eseguita è il posizionamento delle staffe di ancoraggio (normalmente prima dell'arrivo dei moduli di cantiere) per un'altezza corrispondente a 3-4 piani e successivamente, l'operazione di posa delle cellule. La posa può essere eseguita sia tramite l'uso della gru di cantiere od anche per mezzo di argano situato 3-4 piani sopra all'effettivo piano di posa.

Gli svantaggi del sistema a cellule sono:

- Dilatazione dei tempi di movimentazione ed eventuale stoccaggio laddove le cellule siano di grosse dimensioni;
 - Verifica delle condizioni di trasporto, stoccaggio e movimentazione in cantiere degli elementi di facciata. Condizioni igrotermiche diverse da quelle consigliate dal produttore, urti accidentali, manovre di sollevamento scorrette possono compromettere il rispetto delle tolleranze stabilite, causare fessurazioni locali, e danneggiamenti puntuali alle superfici metalliche, vetrate e guarnizioni di tenuta.
- Non vanno dimenticati gli aspetti logistici che implicano sia una programmazione sistematica degli invii in cantiere, sia la verifica delle dimensioni massime delle cellule in relazione alle sagome limite ammesse nella rete stradale, e relativi eventuali ostacoli (ponti, strettoie, etc).

3.3 Facciata continua con fissaggio puntuale delle lastre vetrate (*Point fixed facade*)

I pannelli di chiusura (monolitici, stratificati e vetrocamera) sono sostenuti puntualmente tramite elementi chiamati *rotule*, e tramite *ragni* o *spider* per il fissaggio delle stesse alla sottostruttura. Quando le dimensioni dei pannelli vetrate lo richiedono, oltre ai fissaggi situati solitamente in corrispondenza degli angoli, è possibile ridurre le deformazioni dei vetri inserendo ulteriori punti di fissaggio intermedi. Non essendo presente un'intelaiatura si procederà successivamente alla sigillatura dei giunti. Le vetrazioni installate possono essere tenute in posizione sia con elementi che lavorano mediante ammorsamento degli angoli, che con elementi che prevedono la foratura completa o parziale dell'elemento stesso. Questi vengono collegati alla struttura portante dell'edificio per mezzo di montanti, i quali possono essere realizzati con diversi materiali, fra i quali lo stesso vetro, tramite sottostrutture reticolari o tirantate. I montanti sono collegati alla struttura portante dell'edificio in modo analogo a quanto visto nelle precedenti tipologie di facciate (figura 9).

I principali vantaggi sono:

- Pregio estetico ottenuto dalla massima trasparenza per l'assenza dei classici montanti;
- Libertà nella scelta della sottostruttura di sostegno (primaria e secondaria);
- Estensione all'uso anche in configurazione di copertura ed orizzontale;
- Buon comportamento termico con l'impiego di vetrocamera e riduzione dei ponti termici;
- Buon isolamento acustico (se abbinato all'uso di vetrocamera);
- possibilità di installazione di un sistema a doppia pelle garantendo quindi elevate prestazioni termoacustiche.

I principali svantaggi sono:

- Notevole attenzione nelle fasi di movimentazione e montaggio delle lastre di vetro per via della raffinatezza costruttiva del sistema;
- Tenuta all'acqua della facciata dipendente unicamente delle caratteristiche prestazionali del sigillante impiegato e sua messa in opera;
- Resistenza meccanica dei vetri superiore alla media.

3.4 Facciata continua a incollaggio strutturale delle vetrazioni (*structural sealant glazing system*)

È importante premettere sin da subito che le facciate continue a incollaggio strutturale delle vetrazioni (SSGS) non sono facciate che hanno una valenza strutturale o che possono dare un contributo alla struttura portante dell'edificio. Il termine "strutturale" si riferisce alle modalità con le quali il vetro è collegato al telaio metallico sottostante per mezzo di sigillanti strutturali applicati lungo il perimetro (figura 10).

Il termine americano *structural sealant glazing* definisce una particolare tipologia di facciata composta da tamponamenti vetrati e incollati tramite l'uso di siliconi strutturali che trasferiscono alla struttura metallica i carichi applicati alla facciata. In Francia, si è preferita la denominazione *vitrage exterieur collé* per evitare confusione con i sistemi vetrati sospesi che, sebbene definiti "strutturali", non sfruttano la funzione strutturale del silicone.

Negli Stati Uniti, le tipologie costruttive sviluppate si basano su:

- *strip window o two side supported system*, in italiano vetratura su due lati, che impiega un sigillante strutturale solo su due lati opposti (lati verticali) mentre gli altri due sono trattenuti con alette di ritegno;
- *total wall o four side supported system*, dove la lastra vetrata è incollata su tutti e quattro i lati al telaio mediante l'uso di sigillante strutturale.

Il sistema può essere utilizzato sia per la realizzazione di facciate a montanti e traversi, che per facciate a cellule o a telai. Vista l'assenza di elementi metallici esposti all'esterno, queste

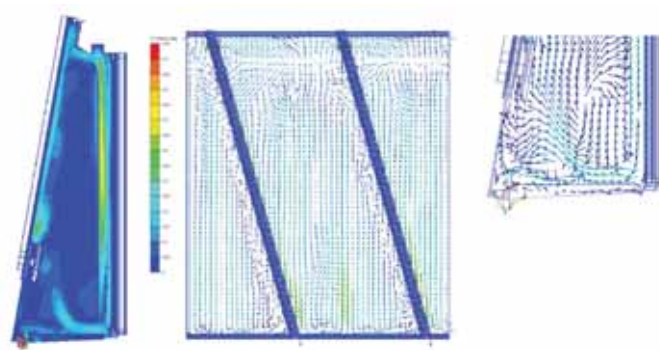


Fig. 12 - Facciata a doppia pelle – analisi con software CFD

tipologie di facciate forniscono, in linea di principio, buone prestazioni dal punto di vista energetico, acustico, unite alle più semplici operazioni di pulizia eseguite dall'esterno anche con procedure automatiche.

Alcune considerazioni di carattere pratico:

applicando il silicone strutturale su un vetro chiaro trasparente, esso rimane visibile come una cornice di alcuni millimetri di larghezza. Per "nascondere" l'effetto è possibile ricorrere alla serigrafia delle lastre vetrate lungo i bordi per lo spessore sufficiente a coprire il cordolo del sigillante. Il processo serigrafico è di tipo a smalto: questo viene steso su un telaio apposito e fatto depositare, attraverso un filtro a maglie finissime, sulla lastra di vetro riproducendo così il disegno voluto. Infine la cottura in forno, normalmente associate al processo di tempra, permette di vetrificare lo smalto. Altri sistemi per facciate SSGS presentano una soluzione tecnica detta "a gradino", cioè realizzata creando uno sfalsamento tra lastra esterna e quella interna del vetrocamera. Tale soluzione garantisce la protezione perimetrale della lastra interna e solamente quella esterna rimane incollata strutturalmente al sottostante telaio.

Nell'impiego di facciate con tecnologia SSGS è necessario porre particolare attenzione alle lastre stratificate (cioè realizzate mediante accoppiamento di due o più vetri con l'interposizione di film di materiale plastico (es. PVB – polivinilbutirra-

Tipologia di facciata a doppia pelle	Cscondizionamento estetico/compositivo	Integrabilità in edifici esistenti	Isolamento termico	Ventilazione naturale	Ventilazione di riscontro	Isolamento acustico	Comportamento in caso d'incendio
a canale verticale unico	•	•••	•••	•	••/•••	•	•
a canali doppi	••/•••	•	•••	•/••	•	••	••
ad elementi	•••	•	•••	•••	•	•••	•••

Tabella 1 - Vantaggi e svantaggi delle diverse tipologie di involucro a doppia pelle

13



14



le), il quale, se a contatto prolungato con agenti atmosferici, può assumere una antiestetica colorazione giallastra lungo il perimetro della lastra. I sigillanti siliconici impiegato nelle facciate SSGS variano in funzione dell'uso che ne viene fatto: strutturale, di seconda barriera, di tenuta agli agenti atmosferici.

3.5 Facciata continua a doppia pelle (*double skin facade*)

Questa tipologia di involucro (figure 11-15) è costituita secondo il seguente schema (dall'esterno verso l'interno):

- uno schermo esterno che, a seconda delle configurazioni e in funzione del sistema di ventilazione più adeguato al soddisfacimento delle esigenze, risulta più o meno permeabile all'aria. Questa prima pelle è realizzata generalmente con sistemi di tamponamento trasparente, in modo tale da permettere il passaggio di radiazione solare volta all'innesco dei meccanismi di ventilazione o riscaldamento ricercati;
- Un'intercapedine di ventilazione di altezza e profondità variabile a seconda dell'esposizione, della conformazione dell'edificio, della geometria e delle esigenze ricercate (ad esempio, manutenzione e pulizia interna delle superfici);
- un sistema di regolazione del flusso luminoso verso gli ambienti interni, posto generalmente all'intero del canale, mobile e/o orientabile, in modo da poter modulare il suo intervento in funzione dell'intensità della radiazione solare e delle condizioni ambientali interne/esterne;
- un setto orizzontale che può essere destinato a diverse funzioni quali compartimentazione antincendio, confinamento verticale dell'intercapedine o passerella per consentire le operazioni manutentive;
- una pelle interna, più o meno trasparente, apribile e/o fissa, permeabile all'aria, realizzata secondo le tecnologie viste in precedenza.

Il principio di funzionamento delle facciate a doppia pelle è quello dell'isolamento dinamico dovuto alla ventilazione,

15

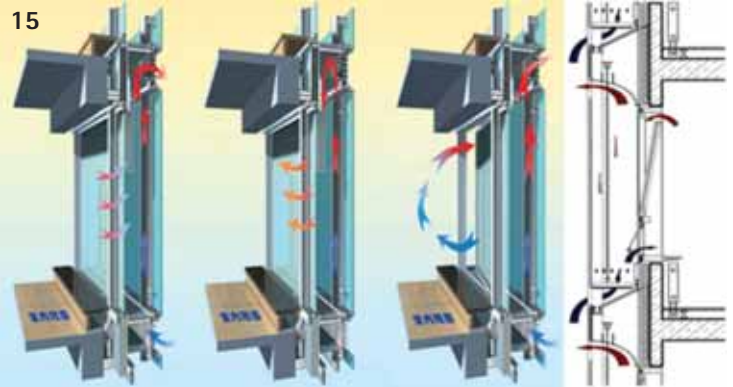


Fig. 13 - Facciata a doppia pelle con canale verticale unico. Fig. 14 - Facciata a doppia pelle, Torre Hadid - Milano - Particolare intercapedine ventilata. Fig. 15 - Facciata a doppia pelle ad elementi

naturale o meccanica, presente nell'intercapedine d'aria tra due strati. Nella stagione estiva, la finalità principale è quella di ridurre negli ambienti interni degli edifici i disagi derivanti dalla radiazione solare calda. Relativamente alla stagione fredda, le simulazioni hanno rilevato che le facciate a doppia pelle consentono, rispetto alle facciate continue tradizionali, una riduzione anche del 20-30% delle perdite di calore per trasmissione. Il *comfort* invernale termico è poi ulteriormente incrementato dal fatto che le temperature superficiali delle pareti interne delle facciate doppie sono superiori.

La gestione delle portate dell'aria, la necessità di garantire prestazioni acustiche, termiche, di resistenza al fuoco, hanno dato origine a differenti soluzioni tecnologiche individuabili nelle soluzioni costruttive:

1. *Facciata a canale verticale unico*: l'intercapedine è continua sia in senso verticale sia orizzontale. I vantaggi principali di questa tipologia sono dati dalla maggiore flessibilità costruttiva del sistema e dal fatto che sono minimizzate le restrizioni compositive sulla pelle esterna, garantendo quindi la massima trasparenza dell'involucro. Risulta tuttavia penalizzante per la difficoltà di gestire le portate di aria in relazione alla variabilità della pressione dell'aria all'interno dell'intercapedine e per la difficoltà di ventilare correttamente gli ambienti interni in quanto l'aria espulsa ai piani inferiori può entrare in quelli superiori. Dal punto di vista acustico, la continuità verticale ed orizzontale può essere causa di ponti acustici che si creano tra un piano ed il successivo e tra locali adiacenti. Infine, in caso di incendio, l'intercapedine può favorire la propagazione del fuoco e dei fumi.

2. *Facciata a canali doppi*: caratterizzata dall'alternanza di elementi verticali (detti anche cellule), compartimentati

 01234 Any Co. Ltd, PO Box 21, B-1050 02 01234 -CPD-00234	<p>Marchatura di conformità CE, costituito dal simbolo "CE" descritto nella direttiva 93/68/CEE.</p> <p>Numero di identificazione dell'organismo di certificazione (quando pertinente)</p> <p>Nome o marchio identificativo e indirizzo registrato del fabbricante</p> <p>Ultime due cifre dell'anno di apposizione della marcatura Numero del certificato (quando pertinente)</p> <p>Numero della norma europea</p> <p>Descrizione del prodotto</p> <p>Informazioni sulle caratteristiche regolamentate</p>
<p>EN 13830 Prodotto per facciata continua Destinato all'utilizzo in applicazioni per uffici</p> <p>Reazione al fuoco - Classi</p> <p>Resistenza al fuoco - NPD</p> <p>Propagazione del fuoco - NPD</p> <p>Tenuta all'acqua - classe RB</p> <p>Resistenza al proprio carico statico - kN</p> <p>Resistenza al carico del vento - 1200 kNm²</p> <p>Resistenza all'urto - Classi tecniche</p> <p>Resistenza agli sbalzi termici - Tipo di vetro</p> <p>Resistenza al carico orizzontale - kN all'altezza della base m</p> <p>Trasmittanza termica - NPD</p> <p>Permeabilità all'aria - classe A3</p> <p>Isolamento acustico per via aerea - dB</p>	

Fig. 16: Esempio di informazioni sulla marcatura CE di facciata continua

orizzontalmente in corrispondenza di ogni interpiano e dotati di dispositivi per l'immissione di aria esterna, a fasce a tutt'altezza, dotate alla base di dispositivi di immissione di aria esterna ed in sommità di bocchette per l'espulsione dell'aria viziata raccolta dagli elementi adiacenti per mezzo di bocchette laterali. In questo caso, l'effetto camino dei canali verticali innesca l'aspirazione dell'aria dalle singole



Fig. 17 - Staffa tipologica per facciata continua posata oltre l'escursione dell'asola

cellule. Rispetto alla soluzione precedente si ha un maggior controllo delle prestazioni acustiche e di quelle termiche, anche se le bocchette laterali vanno correttamente dimensionate per evitare fenomeni di inversione delle pressioni. In caso di incendio i canali verticali facilitano la propagazione delle fiamme e dei fumi.

3. *Facciata ad elementi*: caratterizzata da setti orizzontali e verticali in corrispondenza di ogni interpiano e di ogni montante, delimitando singoli spazi confinati dotati di aperture per l'ingresso e l'espulsione di aria. Questa tecnologia, che ben si adatta a *curtain wall* ad elementi, permette di ridurre ulteriormente quelle limitazioni viste nei precedenti casi, ottimizzando in modo particolare l'isolamento acustico e la gestione del flusso di aria. Ad un miglioramento delle prestazioni energetiche corrisponde però una maggiore rigidità compositiva della facciata ed anche una parziale riduzione della trasparenza complessiva.

Vantaggi e svantaggi delle diverse tipologie di involucro a doppia pelle sono riassunti in tabella 1.

4. MARCATURA CE

La marcatura CE è una patente indispensabile per la circolazione dei prodotti all'interno dell'intero Spazio Economico Europeo (SEE). Essa definisce un campo d'azione comune fornendo ai fabbricanti metodi di prova, procedimenti e criteri di valutazione condivisi da tutti gli stati europei (figura 16).

L'apposizione del marchio CE presuppone l'idoneità all'uso previsto dei prodotti da costruzione, ovvero tutti i prodotti che sono fabbricati per essere incorporati in maniera permanente in opere edili.

La marcatura CE è OBBLIGATORIA e costituisce il sistema al quale tutti i Costruttori devono uniformarsi per poter vendere i propri prodotti nell'Unione Europea. Essa conferma che il prodotto finito è in grado di fornire determinate prestazioni per i requisiti regolamentati in relazione agli impieghi previsti.

Spetta al Costruttore, o al suo rappresentante con sede nello SEE, la responsabilità di apporre la marcatura CE sul prodotto, su un'etichetta applicata al prodotto, sul suo imballaggio o sui documenti commerciali di accompagnamento.

Per le facciate continue la norma di prodotto di riferimento è la UNI EN 13830 che include le seguenti tipologie:

- Montanti/traversi;
- Cellule;
- Doppia pelle (intesa come facciata costituita da singole cellule a doppia pelle).

Per i sistemi di facciata continua ad incollaggio strutturale delle vetrazioni (SSGS, *Structural Sealant Glazing Systems*) è possibile, ad oggi, richiedere un benessere tecnico europeo (ETA) sulla scorta delle linee guida ETAG 002 predisposte dall'EOTA.

Il benessere tecnico copre i sistemi per facciate continue SSGS, mentre, ad ogni modo, è possibile marcare secondo la EN 13830 le singole facciate continue che includono anche l'applicazione di incollaggio strutturale delle vetrazioni.

L'attuale versione in vigore della EN 13830:2003 prevede i seguenti requisiti:

1. Reazione al fuoco
2. Resistenza al fuoco
3. Propagazione all'incendio
4. Resistenza al carico di vento
5. Resistenza al peso proprio (carico permanente)
6. Resistenza all'urto
7. Resistenza ai carichi orizzontali
8. Permeabilità all'aria
9. Tenuta all'acqua
10. Isolamento acustico
11. Trasmittanza termica
12. Permeabilità al vapor d'acqua
13. Resistenza allo shock termico
14. Durabilità

Ad oggi, una nuova versione della norma di prodotto pubblicata dal CEN nel 2015 è attualmente bloccata da parte della commissione europea al fine della sua citazione sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea (GUCE). Il problema non riguarda solamente le facciate continue ma al momento più di 120 norme armonizzate ritenute non pienamente conformi al dettato del CPR 305/2011.

5. POSA IN OPERA

A prescindere dalla tipologia di facciata continua prodotta, la fase più delicata dell'intero processo rimane quella della corretta posa in opera.

È dunque opportuno porre attenzione ad alcuni aspetti fondamentali di buona pratica:

- La progettazione della facciata e dei suoi attacchi dovrà tenere conto delle tolleranze strutturali dell'edificio.
- Le tolleranze di rettilineità e squadratura del reticolo di facciata dovranno essere sempre entro i limiti stabiliti e comunque tali da rendere efficace il fissaggio e la tenuta dei pannelli di tamponamento ed il corretto inserimento dei seramenti, in particolare delle porte.
- Sarà sempre opportuno verificare la presenza dei giochi previsti tra le parti di telaio in accoppiamento (vedasi, ad esempio, il giunto montante/montante nel caso di facciate *stick systems*) per assorbire i movimenti termici e per permettere il corretto movimento delle parti apribili.
- La facciata dovrà essere posata rispettando scrupolosamente i vincoli (cerniera, carrello, pattino ...) definiti in sede di progetto costruttivo e di dimensionamento statico.



Fig. 18 - Sistemi di ancoraggio annegati nel getto: esempio di errori di posa e tolleranze di di ripristino (*remedial work*)



Fig. 19 - Errori nella posa in opera degli ancoraggi di facciata: staffe al piede

- I giunti (di dilatazione, di movimento e di accoppiamento) dovranno essere sempre realizzati nel rispetto dei dimensionamenti e delle posizioni stabiliti dal progetto costruttivo della facciata.

Le tolleranze delle strutture, di cui abbiamo parlato nell'elenco precedente, sono normalmente definite rispetto a tre assi così definiti:

- asse X: orizzontale, nel piano della facciata, positivo verso destra;
- asse Y: verticale nel piano di facciata, positivo verso l'alto;

- asse Z: orizzontale nel piano perpendicolare alla facciata, positivo verso l'interno dell'edificio.

Le tolleranze si riferiscono in generale ai punti significativi dell'interazione facciata/struttura e cioè ai punti che servono al fissaggio degli attacchi, che possono dare interferenza fisica, che limitano il gioco di montaggio, che impediscono l'apertura dei serramenti, etc.

Non esistono, al momento, normative tecniche (nazionali ed europee) che fissino le tolleranze costruttive di una struttura edilizia idonee per una corretta posa delle facciate continue.

È comunque opportuno riferirsi ai manuali di buona posa di carattere volontario, come, ad esempio, quello costituito dal documento tecnico UX 60 *Guida alla posa in opera delle facciate continue* edito da UNICMI (Unione Nazionale delle Industrie Delle costruzioni Metalliche dell'Involucro e dei Serramenti).

Secondo l'UX60 la tolleranza di posizionamento di un qualsiasi punto significativo della struttura edilizia che interagisce con la facciata non deve superare il valore di ± 25 mm nella direzione dei tre assi sopra definiti.

Inoltre, localmente, valgono le seguenti tolleranze più limitative:

- interasse tra due colonne o pareti portanti successive (sugli assi X e Z): ± 20 mm;
- altezza tra due impalcati successivi (asse Y): ± 20 mm;
- fuori piombo tra due impalcati successivi (asse Z): ± 20 mm;
- differenza di quota tra punti simili dello stesso impalcato (asse Y): ± 10 mm;
- fuori piombo tra punti di una stessa colonna (asse Z): ± 10 mm.

Il primo gruppo di tre tolleranze è applicabile non solo agli assi ed alle quote di due elementi strutturali successivi, ma anche alle distanze tra due punti significativi ad essi appartenenti (figure 17, 18 e 19).

5.1 Le tolleranze ammissibili nella posa delle facciate continue

È responsabilità del fornitore della facciata il controllo, da effettuare prima del montaggio, che le tolleranze della struttura non siano tali da superare la possibilità di registrazione degli attacchi, che gli inserti siano nella posizione richiesta e che nessuna parte della struttura impedisca il corretto montaggio della facciata con particolare riguardo al gioco tra bordo delle strutture e la facciata. Nel caso di appalto diretto è indispensabile indicare al fornitore della facciata anche le tolleranze esecutive della struttura a cui andrà applicata la facciata (vedasi il punto precedente).

La facciata dovrà essere montata coincidente con la sua posizione teorica come definita dai disegni di progetto e rispetto alle linee di riferimento tracciate ad ogni piano.

Gli inserti di ancoraggio delle facciate potranno essere stati posizionati nella struttura con tolleranza ± 10 mm in senso parallelo alla linea di riferimento e ± 5 mm in senso perpendicolare rispetto alla linea di riferimento.

Ogni difformità riscontrata dovrà essere prontamente segnalata al Committente (in molti casi per committente s'intende l'Appaltatore Generale, essendo il subappalto delle facciate la tipologia di contratto più tipica) e nessuna modifica sarà eseguita senza approvazione scritta del Committente.

Il montaggio della facciata sarà sospeso nelle aree interessate dalle difformità sopra detta finché tali difformità non saranno corrette.

La facciata dovrà inoltre soddisfare le esigenze estetiche di verticalità e di allineamento delle linee continue, sia in verticale che in orizzontale, sotto specificate:

- sarà considerata verticale una linea i cui punti non si discostano di ± 5 mm dalla verticale teorica materializzata con filo a piombo. Tale valore sarà ridotto a ± 2 mm tra punti di uno stesso piano di altezza fino a 3,50 m e a ± 3 mm tra i punti di uno stesso piano di altezza superiore a 3,50 m.
- Il valore di ± 5 mm sarà raddoppiato se l'edificio ha più di 10 piani. Qualora il montaggio della facciata inizi prima che la struttura di tutti i piani sia terminata, il valore massimo della tolleranza di verticalità sopra vista sarà portato a ± 10 mm ed a ± 20 mm se l'edificio ha più di 10 piani; sarà considerata orizzontale una linea i cui punti non si discostano dall'orizzontale teorica, materializzata da un livello di più di ± 5 mm con il limite più ristretto di ± 2 mm tra punti appartenenti allo stesso modulo di facciata.

In ultimo, qualora la facciata sia interessata da giunti di dilatazione della struttura, ogni parte della facciata sarà considerata come indipendente dalle altre.

*Prof. Ing. Paolo Rigone,
Politecnico di Milano, Direttore Tecnico UNICMI, titolare Studio di Ingegneria Rigone*

*Ing. Paolo Giussani,
Politecnico di Milano, Facade Engineer, Studio di ingegneria Rigone*

APPROFONDIMENTI

- [1] UNI EN 13119 - Facciate continue - terminologia
- [2] UNI EN 13830:2005 - Facciate continue - Norma di prodotto
- [3] UNI EN 11173:2015 - Serramenti esterni e facciate continue - Criteri di scelta delle caratteristiche prestazionali di permeabilità all'aria, tenuta all'acqua e resistenza al carico del vento
- [4] ETAG 002 - Structural sealant glazing systems (SSGS)

L'INTERFACCIA TRA LA FACCIATA CONTINUA IN ALLUMINIO-VETRO E LA STRUTTURA PORTANTE IN ACCIAIO

Le tolleranze dimensionali

THE INTERFACE BETWEEN THE ALUMINUM-GLASS CURTAIN WALL AND THE STEEL SUPPORT STRUCTURE

Dimensional tolerances

Franco De Pizzol, Paolo Rigone

1. GENERALITÀ

L'insieme delle prestazioni richieste alla facciata continua di un edificio è tecnicamente molto articolato e costituisce l'esito della combinazione efficace fra le prestazioni dei singoli componenti dell'involucro e le specifiche condizioni di mutuo assemblaggio fra tali componenti, ove queste ultime assumono la funzione di garantire le condizioni generali di continuità prestazionale che il progetto ha definito.

Il processo generale di assemblaggio per la realizzazione di un involucro di un edificio si suddivide, così come peraltro il processo di realizzazione di qualsiasi parte dell'opera edilizia che derivi dalle due fasi generali di prefabbricazione in officina e successiva installazione in cantiere, nei due processi specifici di:

- assemblaggio in officina, a dar luogo ai componenti dell'involucro pronti per la consegna per l'uso presso il sito di installazione;
- assemblaggio in sito, a dar luogo all'involucro così come specificato nell'ambito del progetto esecutivo dell'opera di costruzione.

Entrambi i suddetti processi di assemblaggio sono evidentemente rilevanti ai fini del rispetto dei requisiti dimensionali finali dell'involucro così come stabiliti dal progetto esecutivo. Ma, mentre il primo di tali processi è disciplinato dalla norma armonizzata di prodotto che ne dispone le condizioni di immissione sul mercato dello Spazio Economico Europeo (SEE) (in particolare la norma EN 13830, che ha cessato il proprio periodo di coesistenza alla data dell'ormai lontano 01/12/2005),

il secondo può e deve derivare la propria disciplina unicamente da quanto disposto dal documento di progettazione esecutiva. In tale ambito il tema delle condizioni generali di interfaccia fra l'involucro continuo di rivestimento dell'edificio e la sottostante struttura portante che lo sostiene ha costituito, sin dall'avvento dell'impiego del componente edilizio *curtain wall*, un tema assolutamente rilevante ai fini dell'ottenimento della corretta funzionalità dell'involucro medesimo.

2. I REQUISITI DIMENSIONALI DELLA FACCIATA CONTINUA

2.1. La norma armonizzata EN 13830

La norma armonizzata EN 13830, che disciplina le condizioni di immissione sul mercato dello SEE del prodotto *curtain wall* quale prodotto da costruzione in accordo al Regolamento (UE) n. 305/2011, individua 17 requisiti che il fabbricante deve prendere in considerazione ai fini delle determinazioni dei livelli prestazionali del proprio prodotto e della relativa loro eventuale dichiarazione.

Relativamente alle "caratteristiche dimensionali" del prodotto, l'unico requisito pertinente è il 16°: "*Deformazioni dell'edificio e dilatazioni termiche*", che la norma peraltro non ricomprende fra le 14 caratteristiche essenziali di cui al prospetto ZA.1 ai fini della determinazione delle "informazioni di accompagnamento" alla marcatura CE.

Il suddetto requisito è infatti relativo al processo di progettazione realizzativa dell'involucro (con riferimento alla progettazione generale dell'edificio nel suo complesso) e dispone tra l'altro che "*Il progettista deve indicare i movimenti dell'edificio*

che la facciata continua deve accomodare, incluse le deformazioni in corrispondenza dei giunti con la struttura” (rif. §4.16 della norma armonizzata EN 13830).

Le deformazioni di progetto esecutivo della struttura di supporto (indotte dal sistema di azioni e coazioni individuato a cura del progettista strutturale) costituiscono pertanto il “carico deformativo” al quale la facciata deve essere in condizioni di rispondere, preservando al contempo l’intero quadro prestazionale di cui alla relativa dichiarazione fornita all’atto della consegna per l’uso dei componenti che andranno a costituirli in sito.

2.2. I requisiti per l’installazione in sito

Con riferimento pertanto alle tolleranze costruttive delle opere strutturali alle quali vengono rese solidali le facciate, i valori significativi non sono quelli complessivi sull’intera opera strutturale, ma ci si riferisce in specifico ai punti significativi dell’interazione facciata/struttura e cioè ai punti che servono al fissaggio degli attacchi, che possono generare interferenza fisica, che limitano il gioco di montaggio, che impediscono l’apertura dei serramenti, etc.

Effettivamente non esistono, al momento, normative tecniche (nazionali ed europee) che fissano le tolleranze costruttive di una struttura edilizia idonee per una corretta posa di facciate continue. È comunque opportuno riferirsi ai manuali di buona posa di carattere volontario, come, ad esempio, quello costituito dal documento tecnico *UX 60 Guida alla posa in opera delle facciate continue* edito da UNICMI (Unione Nazionale delle Industrie delle Costruzioni Metalliche dell’Involucro e dei serramenti).

Secondo l’UX60 la tolleranza di posizionamento di un qualsiasi punto significativo della struttura edilizia che interagisce con la facciata non deve superare il valore di ± 25 mm nella direzione dei tre assi principali:

- Asse X: orizzontale, contenuto nel piano di facciata, positivo verso destra;
- Asse Y: verticale, contenuto nel piano di facciata, positivo verso l’alto;
- Asse Z: orizzontale, perpendicolare alla facciata, positivo verso l’interno dell’edificio.

La progettazione della facciata e dei suoi attacchi dovrà tenere conto delle tolleranze strutturali.

Inoltre, localmente, valgono le seguenti tolleranze più limitative:

- Interasse tra tue colonne o pareti portanti successive (sugli assi X e Z): ± 20 mm
- Altezza tra due impalcati successivi (asse Y): ± 20 mm
- Fuori piombo tra due impalcati successivi (asse Z): ± 20 mm
- Differenza di quota tra punti simili dello stesso

impalcato (asse Y): ± 10 mm

- Fuori piombo tra punti di una stessa colonna (asse Z): ± 10 mm

Il primo gruppo di tre tolleranze è applicabile non solo agli assi ed alle quote di due elementi strutturali successivi, ma anche alle distanze tra due punti significativi ad essi appartenenti.

Nelle figure 1-6 sono riportati alcuni esempi di modalità di vincolo della facciata alle strutture portanti.

La facciata dovrà essere montata coincidente con la sua posizione teorica, come definita dai disegni di progetto e rispetto alle linee di riferimento tracciate ad ogni piano.

La facciata dovrà inoltre soddisfare alle esigenze estetiche di verticalità e di allineamento delle linee continue, sia in verticale che in orizzontale, sotto specificate:

- Sarà considerata verticale una linea i cui punti non si discostano di ± 5 mm dalla verticale teorica materializzata con filo a piombo. Tale valore sarà ridotto a ± 2 mm tra punti di uno stesso piano di altezza fino a 3,50 m e a ± 3 mm tra i punti di uno stesso piano di altezza superiore a 3,50 m;
- Il valore di ± 5 mm sarà raddoppiato se l’edificio ha più di 10 piani. Qualora il montaggio della facciata inizi prima che la struttura di tutti i piani sia terminata, il valore massimo della tolleranza di verticalità suddetta sarà portato a ± 10 mm ed a ± 20 mm se l’edificio ha più di 10 piani; sarà considerata orizzontale una linea i cui punti non si discostano dall’orizzontale teorica, materializzata da un livello, di più di ± 5 mm con il limite più ristretto di ± 2 mm tra punti appartenenti allo stesso modulo di facciata.

3. I REQUISITI DIMENSIONALI DELLA STRUTTURA IN ACCIAIO

3.1. Generalità

Il rispetto di specifici requisiti di carattere dimensionale nell’ambito del generale processo di realizzazione di un’opera in acciaio riveste evidente rilevanza ai fini delle effettive possibilità di ottenimento al vero delle assunzioni progettuali adottate da parte del progettista strutturale.

L’evidente importanza di tale aspetto viene inoltre fortemente accentuata in tutti i casi di prevalenza della componente dinamica del sistema delle azioni, ove sia difetti intrinseci ai prodotti costituenti impiegati in fase di fabbricazione e/o introdotti da applicazione imprecisa dei processi di impiego, sia difetti introdotti durante l’attuazione del processo di installazione, sono in grado di costituire potenti (e spesso subdoli) fattori di moltiplicazione della velocità di riduzione della vita utile del componente strutturale e/o della struttura nel suo complesso.

Non intendiamo peraltro qui occuparci della determinazione e del controllo di requisiti dimensionali direttamente connessi



Fig. 1 - Esempio di attacco sulla testa del solaio. Fig. 2 -Esempio di attacco sopra il solaio. Fig. 3 -Esempio di attacco sotto solaio. Fig. 4 - Esempio di attacco sulla testa del solaio. Fig. 5 - Staffa di ancoraggio che permette la regolazione in direzione X e Y. Fig. 6 - Particolare dell'interfaccia tra piastra e montante

con le capacità portanti dell'opera in acciaio, bensì di quelli rilevanti ai fini della corretta manifestazione funzionale del componente *facciata continua*, in termini di ottenimento dei livelli prestazionali previsti.

3.2. Il codice di calcolo EN 1993

A tal riguardo il codice di calcolo EN 1993, nella sua parte 1-1 "Regole generali e regole per gli edifici", individua al §7.2 gli stati limite di servizio per gli edifici, con diretto riferimento al codice EN 1990 "Criteri generali di progettazione strutturale" ed ai relativi §3.4 "Stati limite di servizio" e §1.4 dell'"Annex A1" "Applicazione per gli edifici".

Nel §3.4 vengono in particolare definiti gli stati limite relativi a:

- *comfort* degli utilizzatori dell'opera;
- aspetto dell'opera (ove si precisa che per aspetto debbano comunque intendersi requisiti di natura funzionale piuttosto che meramente estetici).

Nell'"Annex A1" sono schematicamente rappresentati i valori dei parametri dimensionali relativi alle:

- deformazioni verticali (rif. fig. A1.1);
- deformazioni orizzontali (rif. fig. A1.2).

3.3. La norma armonizzata EN 1090-1

L'avvento della norma armonizzata EN 1090-1 (che ha cessato il proprio periodo di coesistenza alla data del 01/07/2014), con specifico riferimento alla realizzazione di componenti strutturali in acciaio (e quindi con riferimento al codice tecnico EN 1090-2), ha fornito di fatto uno strumento di messa in evidenza della necessità di "governare" dei requisiti certamente già di rilevanza per l'attività del progettista strutturale e, di conseguenza, per il costruttore, ma che ora sono divenuti oggetto di precisa dichiarazione prestazionale da parte del fabbricante che immetta tali componenti sul mercato dello SEE.

La necessità (peraltro certamente logica, ma ora costituita dalla struttura concettuale di una norma armonizzata ed esplicitamente cogente nelle sue modalità applicative) di stretta connessione fra le determinazioni di progetto esecutivo e le opzioni/necessità di fabbricazione in officina (peraltro entrambi gli ordini di considerazioni non disgiunti dalle opzioni/necessità di installazione in cantiere), richiama progettista e fabbricante ad una comunicazione reciproca concretamente efficace, al fine di consentire a quest'ultimo una consapevole e corretta dichiarazione dei livelli prestazionali del proprio prodotto, e specificamente dei livelli prestazionali della prima delle 11 caratteristiche essenziali individuate dalla norma armonizzata di riferimento: "Tolleranze di dimensioni e di forma".

La materializzazione di tale comunicazione avviene nel do-

cumento "Specificazione di Componente" (rif. §6.3.6 della norma armonizzata EN 1090-1), interpretativo ed assertivo di "tutte le necessarie informazioni del componente in dettaglio sufficiente a consentirne la fabbricazione e valutarne i livelli prestazionali".

3.4. Il codice tecnico EN 1090-2

I criteri di valutazione dei diversi requisiti relativi al processo di fabbricazione dei componenti strutturali in acciaio sono contenuti nel codice tecnico EN 1090-2.

I criteri di valutazione dei requisiti relativi alle tolleranze dimensionali sono individuati nel cap. 11 "Tolleranze geometriche".

La norma definisce in particolare tre tipi di "deviazioni geometriche": le tolleranze "essenziali", le tolleranze "funzionali" e le tolleranze "speciali".

3.4.1. Le tolleranze "essenziali"

Sono così definite le tolleranze applicabili agli aspetti che risultano essenziali all'ottenimento dei valori prestazionali di resistenza meccanica e stabilità della struttura portante nel suo complesso.

In particolare il codice tecnico precisa che, per quanto riguardante i componenti strutturali in acciaio, la norma armonizzata EN 1090-1 fa riferimento a queste specifiche tolleranze quando tratta i requisiti necessari alla marcatura CE dei prodotti oggetto di immissione sul mercato.

3.4.2. Le tolleranze "funzionali"

Sono così definite le tolleranze applicabili agli aspetti che risultano rilevanti ai fini delle prestazioni relative ai processi di installazione ed all'aspetto generale dell'opera (nell'accezione di cui al precedente §4.2).

Ai fini del tema qui oggetto di trattazione, le tolleranze funzionali accettabili rappresentano quindi la quantificazione dei requisiti dimensionali che la struttura portante in acciaio deve poter soddisfare ai fini di costituire il supporto statico all'involucro necessario e sufficiente per il mantenimento dei relativi specifici livelli prestazionali.

Il codice tecnico individua (rif. §11.3) due opzioni alternative di valutazione delle "deviazioni geometriche" accettabili:

- i valori di cui al par. D.2 dell'"Annex D", con particolare riferimento, per il nostro caso in esame, alle tabelle da D.2.22 a D.2.26 comprese;
- i valori di cui alla norma EN ISO 13920: "Tolleranze generali per le costruzioni saldate - Dimensioni lineari ed angolari - Forma e posizione", in particolare:
 - classe C per valori dimensionali lineari ed angolari;
 - classe G per valori dimensionali di rettilineità, planarità, parallelismo.

D.2.22 Functional erection tolerances – Positions of columns

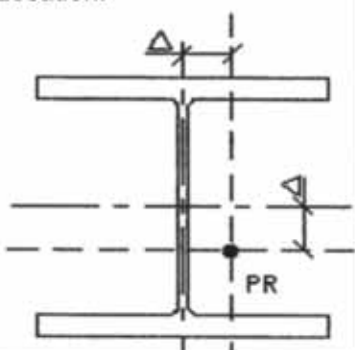
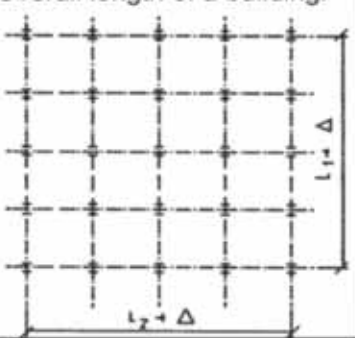
No	Criterion	Parameter	Permitted deviation Δ	
			Class 1	Class 2
1	Location: 	Location in plan of the centre of the column at the level of its base, relative to the position point of reference (PR)	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$
2	Overall length of a building: 	Distance between end columns in each line, at base level: $L \leq 30 \text{ m}$ $30 \text{ m} < L < 250 \text{ m}$ $L \geq 250 \text{ m}$	$\Delta = \pm 20 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,25(L+50) \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,1(L+500) \text{ mm}$ [L in metres]	$\Delta = \pm 16 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,2(L+50) \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,1(L+350) \text{ mm}$ [L in metres]

Fig. 7 – Esempio di tolleranze funzionali di montaggio (1/6) (da EN 1090-2)

3.4.3. Le tolleranze “speciali”

Qualora ritenuto necessario da parte del Progettista, possono essere altresì definiti dei valori speciali di tolleranza dimensionale, relativamente a situazioni e/o esigenze particolari.

Egli deve in tal caso, nell’ambito del documento “*Specificazione di Componente*”, definire univocamente per quali componenti tali valori risultino applicabili e quali siano gli eventuali valori delle tolleranze funzionali tabellari di conseguenza non applicabili.

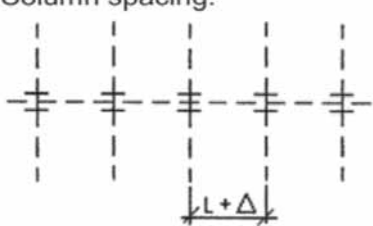
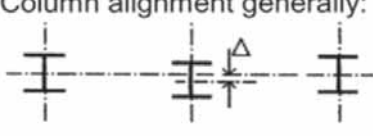
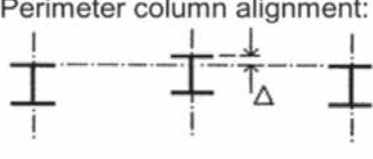
3	Column spacing: 	Distance between centres of adjacent columns at base level: $L \leq 5 \text{ m}$ $L > 5 \text{ m}$	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,2(L+45) \text{ mm}$ [L in metres]	$\Delta = \pm 7 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,2(L+30) \text{ mm}$ [L in metres]
4	Column alignment generally: 	Location of the centre of the column at base level, relative to the established column line (ECL)	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 7 \text{ mm}$
5	Perimeter column alignment: 	Location of the outer face of a perimeter column at base level, relative to the line joining the faces of the adjacent columns	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 7 \text{ mm}$

Fig. 8 – Esempio di tolleranze funzionali di montaggio (2/6) (da EN 1090-2)

D.2.23 Functional erection tolerances – Single storey columns

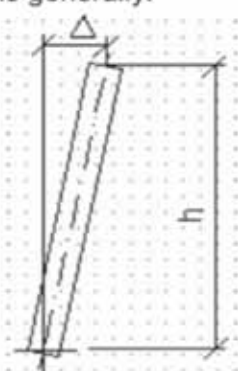
No	Criterion	Parameter	Permitted deviation Δ	
			Class 1	Class 2
1	Inclination of single-storey columns generally: 	Overall inclination	$\Delta = \pm h/300$	$\Delta = \pm h/500$

Fig. 9 – Esempio di tolleranze funzionali di montaggio (3/6) (da EN 1090-2)

D.2.24 Functional erection tolerances – Multi-storey columns

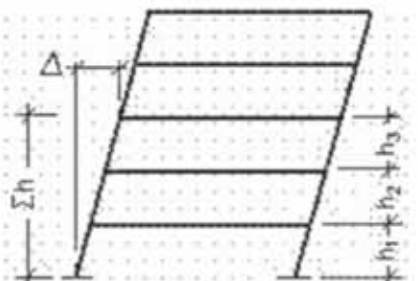
No	Criterion	Parameter	Permitted deviation Δ	
			Class 1	Class 2
1	Location at each storey level, relative to that at the base: 	Location of the column in plan, relative to a vertical line through its centre at base level	$ \Delta = \Sigma h / (300\sqrt{n})$	$ \Delta = \Sigma h / (500\sqrt{n})$

Fig. 10 – Esempio di tolleranze funzionali di montaggio (4/6) (da EN 1090-2)

3.4.4. I valori forniti dal par. D.2 dell'“Annex D”

Occorre innanzitutto osservare la suddivisione dei valori ammissibili delle tolleranze funzionali in due classi:

- Classe 1 (con valori di accettabilità più ampi);
- Classe 2 (con valori di accettabilità più ristretti).

È possibile la selezione di classi diverse nell'ambito della stessa struttura per diversi componenti.

Nell'unica nota al testo del §11.3.2 è espressamente riportato un esempio di possibile specificazione della Classe 2 proprio nel caso di strutture portanti un involucro di rivestimento, allo scopo di ridurre al minimo le necessità di “aggiustamento” dell'involucro stesso (rif. anche §4.16 della norma armonizzata EN 13830).

I possibili casi di “potential bad dimensional interaction” fra la struttura portante in acciaio e l'involucro continuo di rive-

stimento sono resi espliciti da alcuni esempi tratti dalle tabelle da D.2.22 a D.2.26.

Con riferimento per esempio al parametro 2 della tabella D.2.22 (lunghezza totale in pianta dell'edificio), fino a 30 ml complessivi, un valore di tolleranza, globale ed invariabile, pari a ± 16 mm, non necessariamente risulta in ogni caso accettabile da parte dei diversi sistemi realizzativi di involucro continuo correntemente impiegati (figura 7).

Con riferimento invece ai parametri 3, 4 e 5 della medesima tabella D.2.22 (distanza in pianta fra colonne adiacenti e disallineamento dei baricentri in pianta o dei profili esterni fra colonne adiacenti), un valore di tolleranza, globale ed invariabile, pari a ± 7 mm, risulta certamente accettabile in relazione a quanto di cui al precedente §2.2 (figura 8).

Circa il parametro 1 della tabella D.2.23 (scostamento della

D.2.25 Functional erection tolerances – Buildings

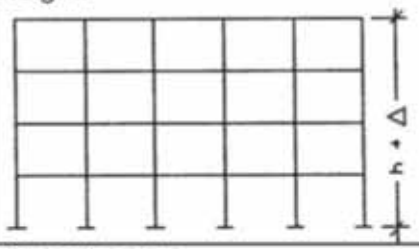
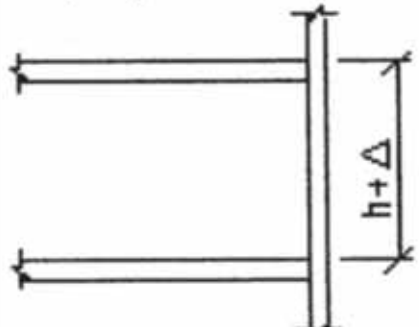
No	Criterion	Parameter	Permitted deviation Δ	
			Class 1	Class 2
1	Height: 	Overall height, relative to the base level: $h \leq 20 \text{ m}$ $20 \text{ m} < h < 100 \text{ m}$ $h \geq 100 \text{ m}$	$\Delta = \pm 20 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,5(h+20) \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,2(h+200) \text{ mm}$ [h in metres]	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,25(h+20) \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,1(h+200) \text{ mm}$ [h in metres]
2	Storey height: 	Height relative to the adjacent levels	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$

Fig. 11 – Esempio di tolleranze funzionali di montaggio (5/6) (da EN 1090-2)

sommità della colonna per inclinazione della medesima), il valore accettabile in Classe 2, corrispondente ad un'altezza per esempio pari a 3,0 m, risulta pari a 6 mm, molto probabilmente compatibile con una facciata mono-piano di qualsiasi sistema (figura 9).

Nel caso di edificio multipiano ci si deve interfacciare con i valori dell'omologo parametro 1 della tabella D.2.24 (scostamento progressivo della sommità di ciascuna colonna di un edificio multipiano per inclinazione delle medesime colonne in una stessa direzione), ove per un edificio per esempio di 5 piani, ciascuno alto 3,5 m, lo scostamento orizzontale massimo ammissibile dalla base della colonna di base alla sommità della colonna di sommità risulta pari a $|\Delta| = 17500/(500 \times 5^{0,5}) \approx 15,65 \text{ mm}$, la cui compatibilità deve essere oggetto di verifica specifica (figura 10).

Considerazioni omologhe a quelle formulate per le tolleranze dimensionali in pianta con riferimento alla tabella D.2.22 possono essere espresse a riguardo delle tolleranze in altezza, sia relativamente all'intero edificio che a ciascun piano, con riferimento ai contenuti della tabella D.2.25.

Ipotizzando ancora per esempio un edificio alto 50 m, il valore massimo ammissibile in Classe 2 di scostamento sull'altezza totale risulta pari a $\Delta = \pm 0,25 (50+20) = 17,5 \text{ mm}$, probabilmente accettabile (figura 11).

Senz'altro significativo risulta altresì il "governo" delle tolleranze dimensionali relative al posizionamento mutuo delle

travi di un edificio, in relazione alla "campitura" dei moduli costitutivi la facciata.

In particolare il fenomeno dello "spanciamento" orizzontale localizzato (parametro 3 della tabella D.2.26) di una trave di lunghezza ad esempio pari a 4,0 m, ammette un valore massimo pari a $\Delta = \pm 4,000/1,000 = \pm 4 \text{ mm}$, molto probabilmente accettabile (figura 12).

3.4.5. I valori alternativi forniti dalla norma EN ISO 13920

La norma individuata dal codice tecnico di fabbricazione quale alternativa ai fini della quantificazione dei valori ammissibili delle tolleranze funzionali, è espressamente dedicata ai componenti ottenuti per impiego del processo di saldatura.

A prescindere comunque dall'"intensità" di impiego del processo di saldatura per la fabbricazione dei componenti colonna e trave costitutivi della struttura portante l'involucro continuo (è evidente che la colonna, o la trave, possono essere costituiti da un profilato a caldo tagliato a misura al quale siano stati uniti per saldatura per esempio soltanto una piastra di testa e pochi irrigidimenti "sottili", ovvero da un profilo ottenuto per composizione per saldatura di anima e piattabande, oltre alle piastre di testa ed a numerosi irrigidimenti "consistenti": né il codice tecnico né la norma suddetta operano distinzioni da questo punto di vista), il progettista è lasciato libero di individuare quale dei due insiemi di valori (le tabelle del par. D.2 dell'"Annex D" della norma EN 1090-2, ovvero la norma EN

D.2.26 Functional erection tolerances – Beams in buildings

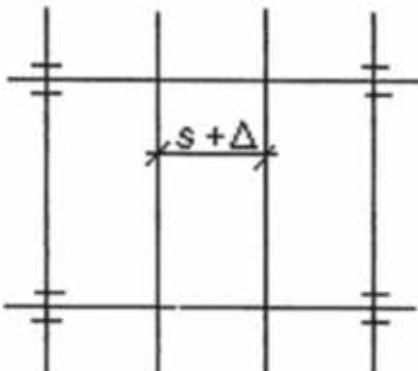
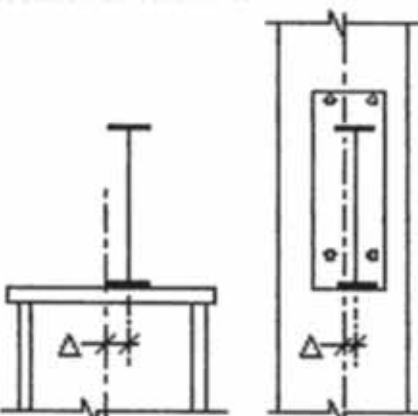
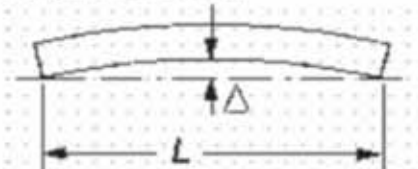
No	Criterion	Parameter	Permitted deviation Δ	
			Class 1	Class 2
1	Spacing: 	Deviation Δ from intended distance between erected adjacent beams, measured at each end	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$
2	Location at columns: 	Deviation Δ from intended location of a beam-to-column connection, measured relative to the column	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 3 \text{ mm}$
3	Straightness in plan: 	Deviation Δ from straightness of an erected beam or cantilever of length L	$\Delta = \pm L / 500$	$\Delta = \pm L / 1\,000$

Fig. 12 – Esempio di tolleranze funzionali di montaggio (6/6) (da EN 1090-2)

ISO 13920) ritiene maggiormente opportuno per il caso in esame, impiegandolo pertanto nella redazione della “*Specifica di Componente*” di impiego da parte del fabbricante.

Occorre peraltro rilevare che i redattori della norma qui in esame hanno evidentemente posto al centro dell’attenzione il componente saldato, inteso quale prodotto realizzato in officina (così come peraltro comunemente avviene in realtà) e che è destinato al successivo assemblaggio con prodotti omologhi presso il sito di installazione dell’opera in acciaio.

Pertanto, nel nostro specifico caso di esame relativo alle tolleranze dimensionali della struttura portante in acciaio nell’interfaccia con l’involucro continuo di rivestimento, non tutti i casi di osservazione di cui al §4.4.2.1 precedente appaiono ugualmente plausibili.

Volendo effettuare un semplice confronto tra i due insiemi suddetti, per esempio con riferimento ad un parametro di dimensione lineare, possiamo confrontare l’esito del precedente esempio di impiego della tabella D.2.25 (altezza complessiva di un edificio alto 50 m, figura 11) ipotizzando un’altezza interpiano pari a 5 m ed un contatto nominale perfetto fra colonne sovrapposte e connesse per bullonatura “a flangia”: con l’impiego del prospetto 1 e dei valori relativi alla Classe C (così come disposto dal codice tecnico), la tolleranza globale risulta pari a $\Delta = \pm 14 \times 5 = 70 \text{ mm}$, evidentemente non accettabile (figura 13).

Volendo ora effettuare un confronto tra i due insiemi suddetti con riferimento ad un parametro di rettilineità, possiamo confrontare l’esito del precedente esempio di impiego della tabella D.2.26 (“spanciamento” orizzontale localizzato di una trave di

prospetto 1 **Tolleranze delle dimensioni lineari**

Classe di tolleranza	Gamma delle dimensioni nominali <i>l</i> in mm										
	Da 2 a 30	Oltre 30 fino a 120	Oltre 120 fino a 400	Oltre 400 fino a 1 000	Oltre 1 000 fino a 2 000	Oltre 2 000 fino a 4 000	Oltre 4 000 fino a 8 000	Oltre 8 000 fino a 12 000	Oltre 12 000 fino a 16 000	Oltre 16 000 fino a 20 000	Oltre 20 000
	Tolleranze <i>t</i> in mm										
A	± 1	± 1	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	± 8	± 9
B		± 2	± 2	± 3	± 4	± 6	± 8	± 10	± 12	± 14	± 16
C		± 3	± 4	± 6	± 8	± 11	± 14	± 18	± 21	± 24	± 27
D		± 4	± 7	± 9	± 12	± 16	± 21	± 27	± 32	± 36	± 40

Fig. 13 – Esempio di tolleranze (1/2) (da EN ISO 13920)

lunghezza pari a 4,0 m, figura 12) con l'impiego del prospetto 3 e dei valori relativi alla Classe G (così come disposto dal codice tecnico), la tolleranza globale risulta pari a $\Delta = \pm 11$ mm, assolutamente superiore al valore individuato precedentemente (figura 14).

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE DI APPLICABILITÀ DEI VALORI FORNITI DALLA NORMA EN 1090-2

In una visione dichiaratamente del tutto generale i valori delle tolleranze dimensionali individuati dal codice tecnico di fabbricazione EN 1090-2, ai fini dell'interfaccia efficace con l'in-

prospetto 3 **Tolleranze di rettilineità, planarità e parallelismo**

Classe di tolleranza	Gamma delle dimensioni nominali <i>l</i> in mm (si riferisce al lato più lungo della superficie)									
	Oltre 30 fino a 120	Oltre 120 fino a 400	Oltre 400 fino a 1 000	Oltre 1 000 fino a 2 000	Oltre 2 000 fino a 4 000	Oltre 4 000 fino a 8 000	Oltre 8 000 fino a 12 000	Oltre 12 000 fino a 16 000	Oltre 16 000 fino a 20 000	Oltre 20 000
	Tolleranze <i>t</i> in mm									
E	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8
F	1	1,5	3	4,5	6	8	10	12	14	16
G	1,5	3	5,5	9	11	16	20	22	25	25
H	2,5	5	9	14	18	26	32	36	40	40

Fig. 14 – Esempio di tolleranze (2/2) (da EN ISO 13920)

volucro continuo di rivestimento, appaiono dunque sostanzialmente e generalmente plausibili.

Ma, nonostante l'apprezzabile, ancorché ancora non particolarmente raffinato, sforzo "tabulare" rintracciabile nella norma tecnica EN 1090-2 in relazione al tema delle tolleranze dimensionali dei componenti strutturali in acciaio, occorre senz'altro tenere ben presente che l'opera in acciaio, e così i componenti che la costituiscono, non rappresentano (sostanzialmente in alcun caso) un prodotto di serie.

E sono pertanto proprio i valori delle tolleranze *speciali* a costituire il vero approccio concettualmente corretto alla questione delle tolleranze dimensionali ammissibili per un componente o una struttura in acciaio.

I valori delle tolleranze ammissibili dovrebbero essere concepiti innanzitutto quali *speciali*, specificamente valutate in relazione ai parametri di sicurezza fondamentali:

- Criticità degli effetti determinati da un eventuale cedimento

della membrature interessate dalle deviazioni geometriche;

- Incremento del tasso di impegno tensionale delle membrature indotto dalle deviazioni geometriche;

- Probabilità di mancato ottenimento dei valori dimensionali teorici in relazione alle difficoltà di attuazione del processo di fabbricazione.

Per poi eventualmente rintracciare la rispondenza ai valori tabellari (dell'uno o dell'altro degli insiemi di valori proposti dal codice tecnico) predefiniti.

ing. Franco De Pizzol

Responsabile di Divisione Sistemi e Strutture in Acciaio - UNICMI, libero professionista

prof. ing. Paolo Rigone

Politecnico di Milano, Direttore Tecnico UNICMI, titolare Studio di Ingegneria Rigone

RIFERIMENTI NORMATIVI

[1] EN 13830:2015

[2] EN 1090-1:2009+A1:2011

[3] EN 1090-2:2008+A1:2011

[4] EN 1990:2002+A1:2005

[5] EN 1993-1-1+A1:2014

Termini e definizioni

Per le definizioni dei termini seguenti si veda l'art. 2 del Regolamento (UE) n. 305/2011

opera di costruzione	fabbricante
requisiti di base	immissione sul mercato
prodotto da costruzione	consegna per l'uso
caratteristiche essenziali	dichiarazione di prestazione
norma armonizzata	marcatore CE

Per le definizioni dei termini seguenti si veda la norma armonizzata EN 13830:

facciata continua	
-------------------	--

Per le definizioni dei termini seguenti si vedano la norma armonizzata EN 1090-1 e la norma tecnica EN 1090-2:

componente strutturale in acciaio	Classe di Esecuzione
fabbricazione	tolleranze essenziali
installazione	tolleranze funzionali
Specifiche di Componente	tolleranze speciali

ACCIAIO E TRASPARENZA FILTRATA

Goring & Straja, Affori Centre, Milano 2008

STEEL AND FILTERED TRANSPARENCY

Goring & Straja, Affori Centre, Milano 2008

Andrea Campioli



Il progetto dello studio Goring & Straja per l’Affori Centre, un edificio per il terziario situato nella periferia nord di Milano, riesce a rispondere all’esigenza di realizzare un edificio connotato da una chiara riconoscibilità architettonica e da un elevato livello di flessibilità funzionale, attribuendo una rinnovata centralità alle tematiche del contenimento dei consumi energetici e dell’efficienza ambientale. Il sistema di ombreggiamento che protegge le chiusure vetrate assume un particolare significato, divenendo non soltanto dispositivo tecnico necessario per il contenimento dei consumi energetici, ma anche elemento caratterizzante dell’immagine architettonica dell’edificio.

The project for the Affori Centre, an office building by Goring and Straja Architects located in the northern suburbs of Milan, meets the demand of a building characterized by a clear architectural identity and a high degree of functional flexibility, focusing on energy consumption reduction and environmental efficiency. The shading system, which protects the glazed facades, plays a key role becoming not only a technical device required to contain energy consumption, but also the connotative element of the architectural image of the building.

Fig. 1 - Vista dell'edificio da ovest

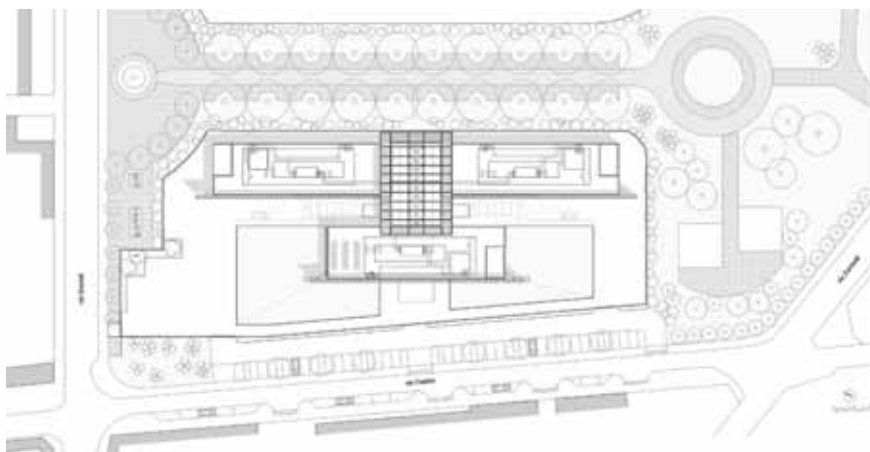


Fig. 2 - Planimetria



Fig. 3 - Pianta del piano terra



Fig. 4 - Vista dei tre corpi esistenti



Fig. 5 - Vista dell'edificio dall'alto

A quasi dieci anni dalla sua realizzazione il progetto dello studio di architettura Goring & Straja per l'Affori Centre può essere considerato antesignano della sensibilità nei confronti delle scelte progettuali orientate al raggiungimento di elevati standard di efficienza ambientale che oggi contraddistinguono molti interventi di rigenerazione urbana e di riqualificazione dell'esistente con particolare riferimento all'edilizia per il terziario. La precoce attenzione rivolta ai temi della sostenibilità rispetto al contesto italiano è dimostrata anche dal fatto che il progetto dell'Affori Centre è stato affrontato traguardando l'obiettivo della certificazione LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), prima ancora che il Green Building Council Italia varasse il protocollo LEED 2009, nel quale gli obiettivi e i criteri di valutazione della sostenibilità ambientale sono stati adattati alle particolari caratteristiche climatiche, economiche e normative del nostro Paese.

Se da un lato i temi sviluppati nel progetto per l'Affori Centre derivano da un'attenta analisi dei requisiti espressi dal committente, dall'altro occorre osservare come la gran parte delle scelte effettuate debbano essere considerate anche l'esito di una particolare attitudine dei progettisti ad assumere la sostenibilità ambientale e la qualità abitativa degli spazi realizzati come aspetti centrali della ricerca progettuale. Risulta infatti evidente come alcuni aspetti del progetto corrispondano puntualmente alla richiesta del committente di una massimizzazione del potenziale commerciale dell'immobile e di un elevato livello di flessibilità degli spazi, anche in vista di utilizzatori finali diversificati, ma è altrettanto chiaro come molti dei suoi tratti distintivi debbano essere ricondotti all'obiettivo di una significativa riduzione dei consumi energetici rispetto all'edilizia corrente per il terziario, di un sensibile contenimento degli impatti ambientali prodotti nel processo edilizio, anche attraverso il riuso dell'esistente, di un consistente miglioramento dei livelli di comfort degli spazi interni, anche mediante il riferimento a strategie bioclimatiche.

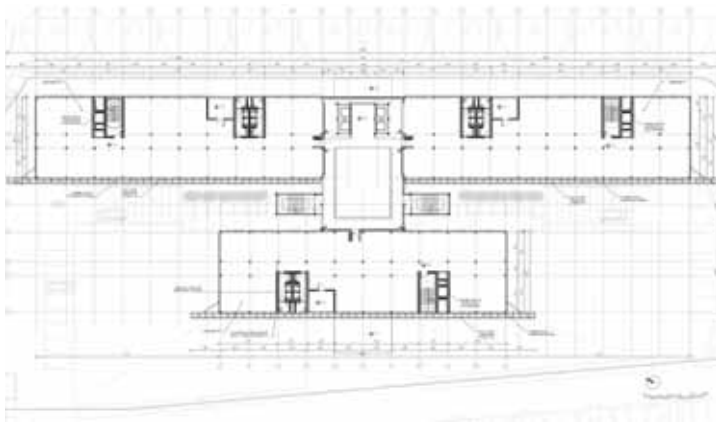


Fig. 6 - Pianata del piano tipo



Fig. 7 - Pianta dell'ultimo piano in sovrapposizione

RIGENERAZIONE URBANA E RIUSO

Il contesto del progetto è quello tipico della periferia nord-ovest di Milano caratterizzata dalla compresenza di insediamenti residenziali e di aree dedicate alle attività produttive, in parte dismesse, terziarie e commerciali. L'intervento si inserisce all'interno di un piano integrato che aveva come oggetto la trasformazione di un'area industriale attraverso l'insediamento di funzioni residenziali e terziarie e per quanto riguarda la volumetria da destinare a terziario la scelta è andata nella direzione della riqualificazione e del riuso di un complesso edilizio esistente.

Quest'ultimo era composto da tre corpi separati di quattro piani fuori terra destinati ad uffici, da un piano terra aperto su pilotis e da una piastra interrata di due livelli, utilizzata come parcheggio. I tre corpi presentavano identiche caratteristiche costruttive e tipologiche: nella direzione del lato corto la struttura in acciaio



Fig. 8 - Vista dell'edificio da nord-est

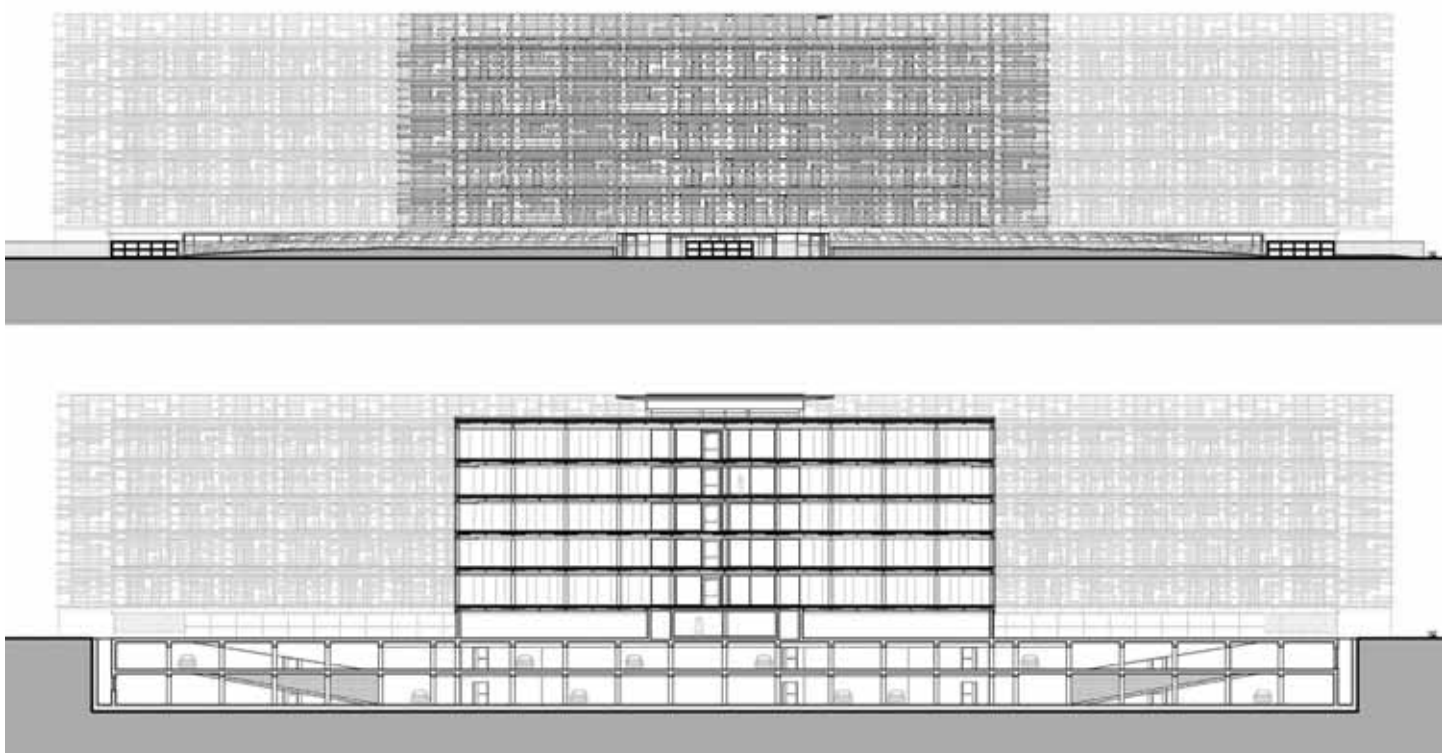


Fig. 9 - Prospetto sud-ovest (sopra) e sezione longitudinale in corrispondenza del volume sud (sotto)

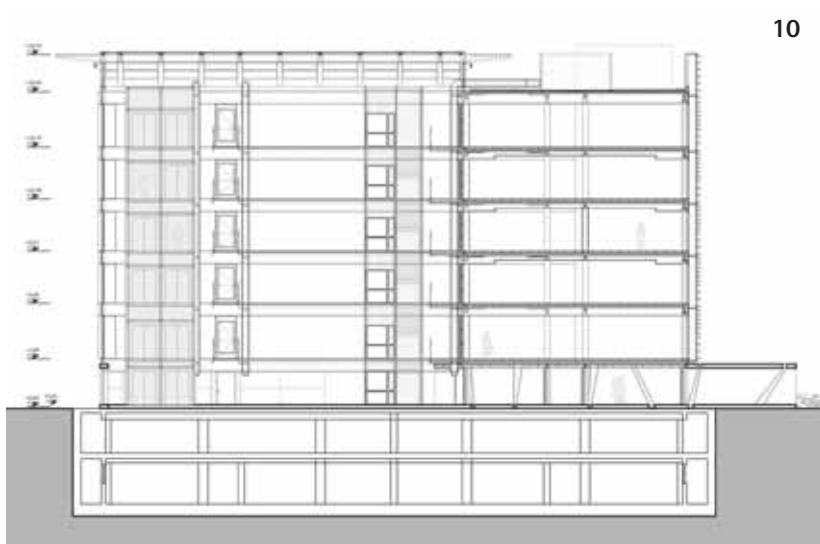


Fig. 10 - Sezione verticale dell'edificio in corrispondenza dell'atrio di ingresso ai tre corpi. Fig. 11 - Scorcio del sistema frangisole del fronte sud-ovest



Fig. 12 - Vista dell'atrio con i ballatoi di distribuzione ai tre corpi

era costituita da tre campate rispettivamente di 5.01 m, 2.39 m e 6.19 m, dove la campata centrale individuava l'elemento di distribuzione; nella direzione del lato lungo presentava dieci campate di 4.80 m. La struttura era controventata con tiranti diagonali, sia sul piano verticale, sia sul piano orizzontale ed era completata da solai in predalles di calcestruzzo armato. Il tamponamento era costituito da pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato e da blocchi finestra anch'essi completamente prefabbricati.

Una volta verificate la compatibilità tipologica e costruttiva degli edifici esistenti con i requisiti posti dal committente e la convenienza economica di un loro riutilizzo, il progetto è stato sviluppato a partire da due principi ispiratori. Da un lato quello di riunire i tre corpi originari in un unico organismo attraverso un elemento che li mettesse in comunicazione, verticalmente e orizzontalmente, ma che allo stesso tempo ne consentisse una certa indipendenza. Dall'altro lato, quello di utilizzare l'incremento di volumetria consentito dal piano integrato di intervento mediante la sopraelevazione dei volumi esistenti.

Il progetto ha così previsto la conservazione della sola struttura portante degli edifici esistenti e la completa rimozione del tamponamento, per poi essere sviluppato secondo tre linee di azione: la razionalizzazione dei due piani interrati adibiti a parcheggio; la rimodellazione del piano terra a pilotis mediante la creazione di due terrapieni lungo i fronti sud-ovest e sud-est che costituiscono un basamento verde attraversato dai tunnel di accesso all'atrio di ingresso e ai livelli interrati; la sopraelevazione di un piano dei tre corpi esistenti, con un aumento della superficie lorda di pavimentazione di circa 1800 m² rispetto a quella esistente. La sopraelevazione ha reso necessario un rinforzo parziale della struttura in elevazione esistente che è poi stata ripresa al quinto piano e completata con una struttura orizzontale a doppia orditura in travi di acciaio con solaio in lamiera grecata e getto di completamento in calcestruzzo collaborante.



Fig. 13 - Vista dell'atrio dall'esterno con le scale. Fig. 14 - Vista dell'atrio dall'alto

SPAZI AD ALTA FLESSIBILITÀ

Il fulcro del progetto è costituito dall'atrio di ingresso che collega i tre corpi originari. Il requisito posto dalla committenza di una elevata flessibilità nella gestione degli spazi ha infatti trovato nella realizzazione dell'atrio di ingresso una risposta particolarmente adeguata.

L'atrio costituisce infatti un ingresso unico a tutti gli spazi dell'edificio consentendo tuttavia una distribuzione indipendente dei tre corpi originari, così da ottenere una gestione efficiente, sia nel caso di un unico utilizzatore, sia nel caso di differenti utilizzatori finali.

All'atrio di ingresso si accede mediante un tunnel in calcestruzzo armato che attraversa il terrapieno realizzato al piano terra insinuandosi al di sotto del corpo di fabbrica disposto a sud-ovest. Chi entra, alla fine del tunnel, si trova esattamente nel baricentro del complesso. Qui si trovano i collegamenti verticali costituiti da due coppie di ascensori collocate all'interno dell'atrio in corrispondenza dello spazio che originariamente separava i due corpi allineati e da due scale collocate all'esterno dell'atrio, negli spazi che separano i due corpi allineati dal corpo singolo. Gli ascensori sono installati all'interno di una struttura in tubolari d'acciaio a sezione quadrata saldati tra loro sulla quale sono appoggiati anche i ballatoi di sbarco. La struttura è poi protetta da lastre di vetro assicurate al telaio di acciaio mediante fissaggi puntuali con sistemi a "ragno" e giunti di silicone strutturale. Le due scale esterne, che garantiscono anche l'evacuazione dell'edificio in condizioni di sicurezza nelle eventuali situazioni emergenza, sono realizzate con un'intelaiatura di profilati di acciaio completata con gradini in grigliato di acciaio zincato. Le scale sono poi schermate mediante pannelli di lamiera stirata, anch'essa di acciaio zincato, che garantiscono un certo livello di trasparenza tra il vano scala e lo spazio esterno e viceversa.

L'aspetto più interessante del progetto dell'atrio è costituito dal-



Fig. 15 - Vista dell'atrio dal ballatoio del terzo livello.



Fig. 16 - Cantiere durante costruzione della struttura di sostegno dei ballatoi



Fig. 17 - Cantiere durante la costruzione dei ballatoi



Fig.18 - Dettaglio del sistema di sospensione dei ballatoi durante la costruzione

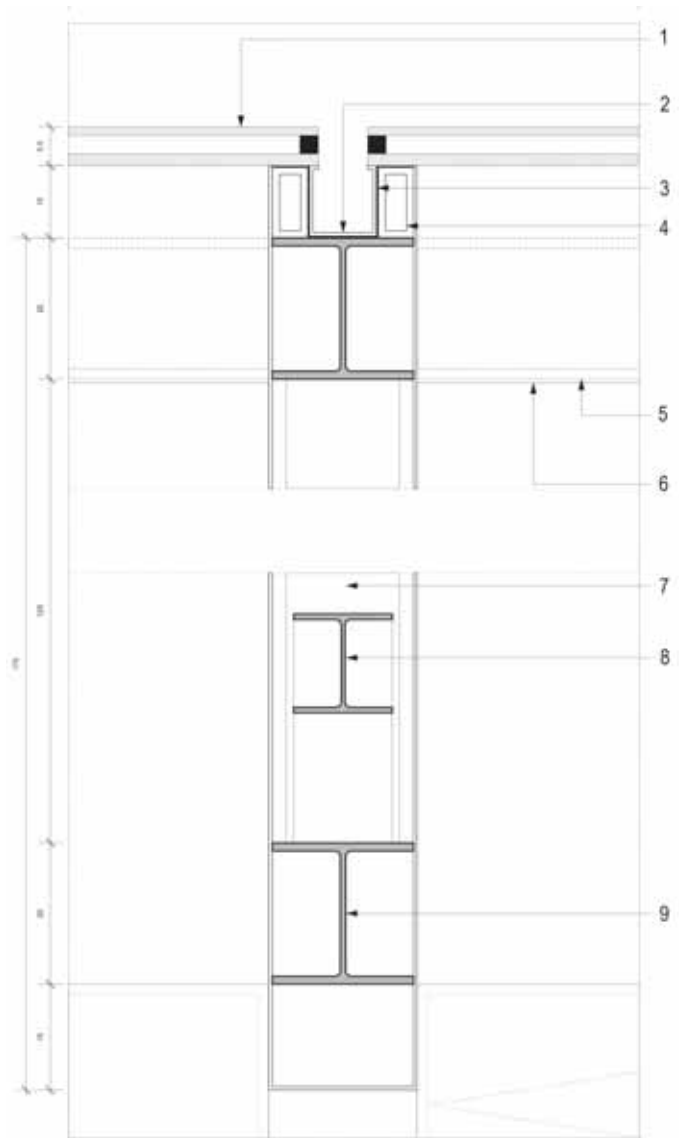


Fig. 19 - Sezione verticale delle travi della copertura vetrata dell'atrio di distribuzione. 1. lucernario in vetrocamera; 2. canalina di raccolta acqua piovana; 3. guaina bituminosa; 4. tubolare di acciaio di sostegno del lucernario; 5. corrente superiore in acciaio HEB 200; 6. rivestimento in lamiera metallica; 7. montante in acciaio HEB 160; 8. diagonale in acciaio HEB 140; 9. corrente inferiore in acciaio HEB 200.



Fig. 20 - Vista dal basso della copertura vetrata dell'atrio di distribuzione.

la distribuzione orizzontale ai piani. Essa avviene mediante un sistema di ballatoi che si sviluppa intorno a uno spazio centrale a tutta altezza che consente il collegamento in continuità dei tre corpi di fabbrica. Per sostenere i ballatoi non è stata realizzata una struttura autonoma che trasferisse direttamente a terra i carichi ma, ancora una volta, sono state sfruttate le prestazioni residue della struttura di acciaio originaria. I ballatoi sono così sostenuti da travi e da mensole direttamente saldati alle travi perimetrali della struttura esistente e da travi esterne che risultano in parte appoggiate alle mensole e in parte sostenute mediante tiranti di acciaio appesi alla struttura della copertura dell'atrio. I ballatoi sono poi completati da una lamiera grecata di acciaio con getto di calcestruzzo integrativo appoggiata sulle travi. Verso lo spazio centrale dell'atrio i ballatoi sono protetti da un parapetto di lastre di vetro stratificate fissate alle travi di acciaio. L'assenza di elementi di sostegno verticali attribuisce un carattere di estrema leggerezza allo spazio dell'atrio.

Anche la copertura dell'atrio si appoggia sulla struttura esistente. Essa è costituita da una serie di undici travi reticolari realizzate con correnti superiori e inferiori in profilati HEB 200, da montanti in profilati HEB 160 e da diagonali in profilati HEB 140. I correnti superiori sono collegati tra loro da travi HEB 200 venendo così a realizzare un grigliato a maglia quadrata di travi HEB 200 complanari sul quale appoggiano le vetrocamere della copertura trasparente. Tutta la struttura metallica è rivestita con lamiera di alluminio preverniciata di colore bianco, così come di colore bianco sono dipinti tutti gli elementi di acciaio dell'atrio. Tra il coronamento degli edifici e la struttura di copertura è posizionato un sistema di serramenti in parte apribili che consente di gestire la ventilazione naturale dell'atrio. Infatti, al fine di non considerarne la superficie nel calcolo della superficie lorda di pavimentazione, l'atrio di distribuzione non è climatizzato. Per il raggiungimento di un adeguato livello di comfort si è puntato al massimo sfruttamento della ventilazione naturale diurna e soprattutto notturna durante la stagione estiva e del calore disperso dagli uffici nella stagione invernale. Lungo l'intero perimetro la copertura vetrata è protetta da un sistema di schermatura solare realizzato con una serie di mensole di acciaio ancorate alla trave di bordo superiore alle quali sono fissate delle lamelle in lamiera preverniciata a sezione lenticolare.

I tre corpi sono stati progettati per garantire la massima flessibilità nella suddivisione degli uffici. Ciascuno di essi si configura

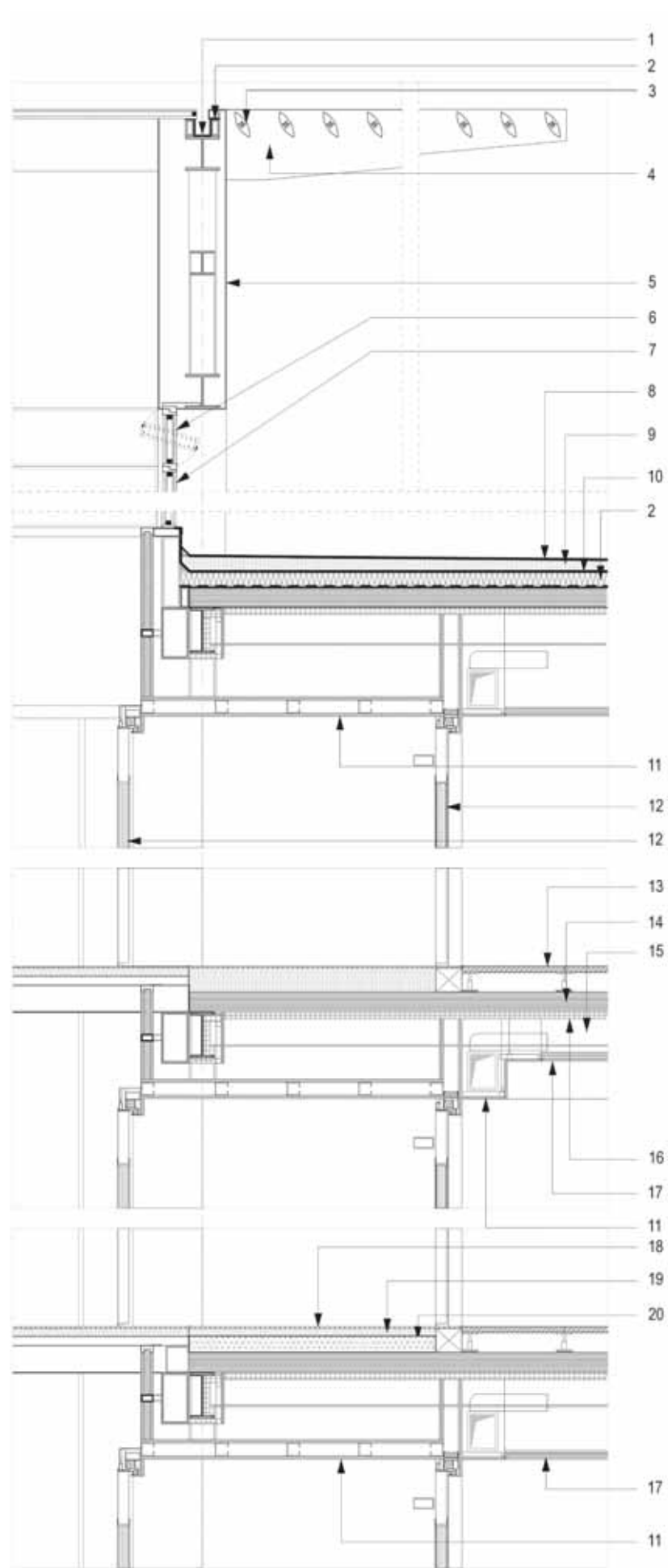
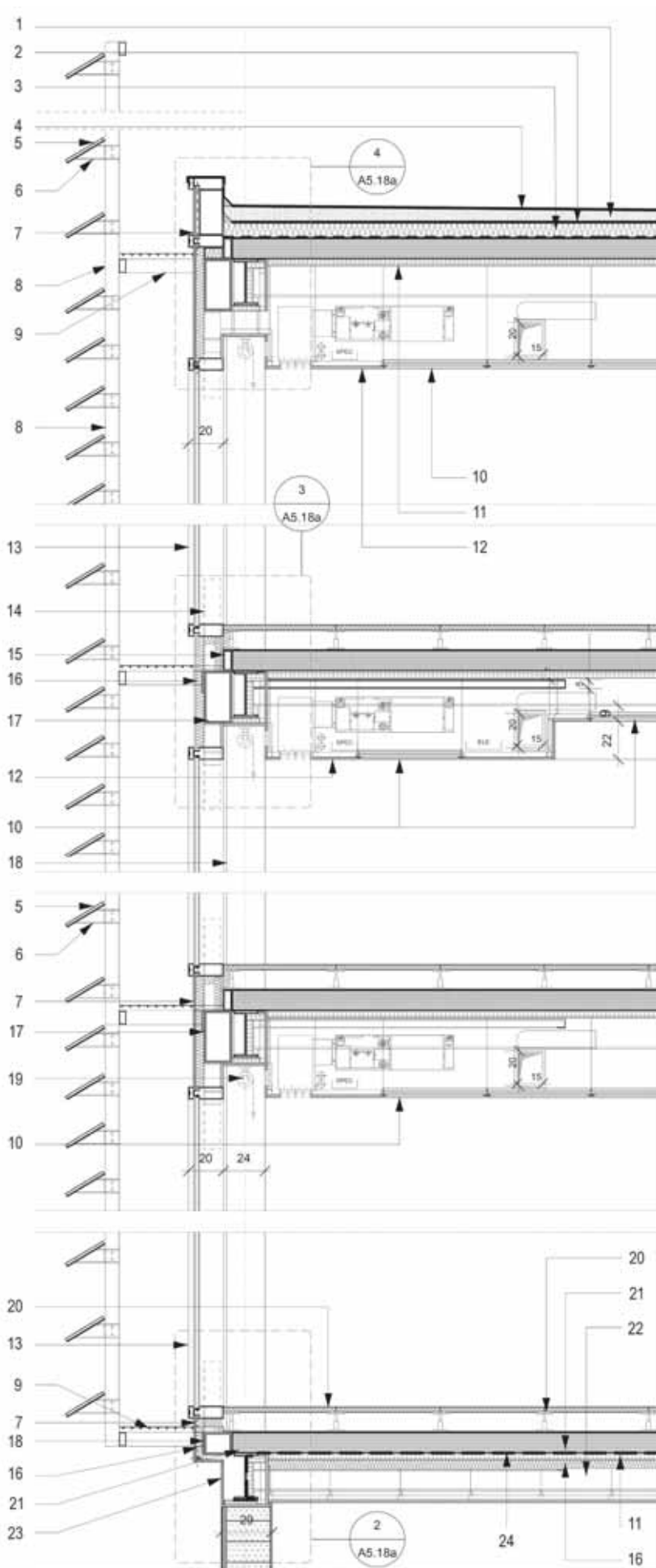


Fig. 21 - Sezione verticale in corrispondenza dell'atrio di distribuzione.
 1. canalina raccolta acque meteoriche; 2. guaina bituminosa impermeabilizzante; 3. lamella frangisole; 4. mensola in acciaio; 5. lamiera di rivestimento; 6. serramento apribile; 7. serramento fisso; 8. guaina bituminosa ardesiata; 9. massetto di pendenza; 10. pannelli di polistirene estruso; 11. controsoffitto in cartongesso; 12. porta in lamiera metallica; 13. pavimento sopraelevato; 14. solaio esistente in predalles; 15. struttura esistente in acciaio; 16. pannello in lana di roccia per isolamento acustico; 17. pannelli in lamiera microforata; 18. pavimentazione in resina; 19. getto in calcestruzzo armato; 20. massetto.



come un unico grande open space dove gli unici elementi di vincolo sono costituiti dalle due pilastrate centrali, da un blocco di collegamento verticale con scala e montacarichi e da un blocco con i servizi igienici a cui si affianca una loggia, protetta verso l'esterno da un parapetto di vetro di colore arancio, che interrompe la continuità della chiusura vetrata.

Il quinto piano di ogni corpo presenta gli stessi blocchi servizi e di collegamento verticale dei piani inferiori ma una sola pilastrata e, in aggiunta, una terrazza protetta da un parapetto di vetro di colore rosso.

TRASPARENZA FILTRATA

Un altro elemento di particolare interesse del progetto dell'Affori Centre è costituito dalle chiusure verticali. In questo caso tre sono stati gli obiettivi principali trapiandati. In primo luogo quello di ottenere un involucro completamente trasparente dove le parti opache fossero limitate esclusivamente alle fasce marcapiano. In secondo luogo l'obiettivo di raggiungere comunque, a fronte dell'impiego di un sistema di chiusura trasparente, una elevata prestazione energetica in termini di riscaldamento invernale e di raffrescamento estivo. Infine, l'obiettivo di contenere i costi di costruzione facendo riferimento a tecnologie adeguate ai requisiti che dovevano essere soddisfatti senza tuttavia ricorrere a soluzioni high-tech. La convergenza verso questi molteplici obiettivi ha orientato la progettazione delle chiusure verticali nella direzione di un sistema standardizzato montanti e traversi in alluminio preverniciato a taglio termico con vetrocamere fissate mediante pressione esterna. Queste ultime sono costituite da lastre di vetro Planibel Green e sono composte da una lastra interna temprata di 10 mm, da una camera d'aria di 18 mm e da una lastra esterna stratificata di 4+4 cm con intercalare in polivinilbutile a elevate prestazioni acustiche.

In corrispondenza dei solai le vetrocamere lasciano il posto a pannelli in polistirene estruso rivestiti con lamiera di alluminio preverniciata in modo da ridurre le dispersioni termiche.

I montanti della chiusura appoggiano su profili tubolari di acciaio a sezione rettangolare fissati alla struttura esistente e prevedono delle finestre apribili a tutta altezza.

La modularità delle chiusure verticali è stata determinata per ga-

Fig. 22 - Sezione verticale in corrispondenza del fronte sud-ovest protetto dal frangisole.

1. massetto di pendenza; 2. guaina impermeabilizzante; 3. pannelli di polistirene estruso; 4. guaina bituminosa ardesiata; 5. frangisole in policarbonato alveolare; 6. elemento di supporto frangisole in acciaio smaltato 7. marcapiano in lamiera preverniciata; 8. tubolare di acciaio; 9. passerella in grigliato di acciaio; 10. pannelli in lamiera microforata; 11. pannelli in lana di roccia per isolamento acustico; 12. controsoffitto in cartongesso; 13. chiusura vetrata montanti e traversi con pressione in alluminio a taglio termico e vetrocamera; 14. ancoraggio della vetrata; 15. tubolare di sostegno del pavimento galleggiante; 16. pannelli in polistirene estruso; 17. tubolare di sostegno vetrata; 18. rivestimento in cartongesso; 19. tenda a rullo; 20. pavimento sopraelevato; 21. solaio esistente in predalles; 22. struttura in acciaio esistente; 23. rivestimento in lamiera preverniciata; 24. intonaco a spruzzo REI 120.

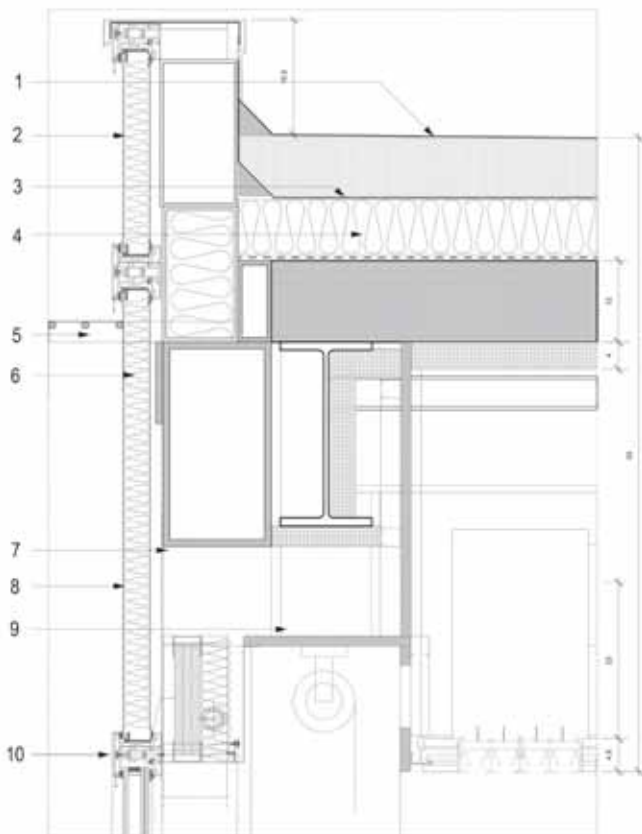


Fig. 23 – Sezione verticale della chiusura vetrata in corrispondenza del coronamento.

1. guaina bituminosa ardesiata; 2. lamiera di alluminio preverniciata; 3. guaina bituminosa; 4. polistirene espanso; 5. passerella in grigliato di acciaio; 6. pannelli di polistirene estruso; 7. tubolare in acciaio per il fissaggio della chiusura verticale; 8. lamiera di alluminio preverniciata; 9. pannelli in lana di roccia; 10. chiusura verticale trasparente a montanti e traversi con pressore in alluminio a taglio termico e vetrocamera.

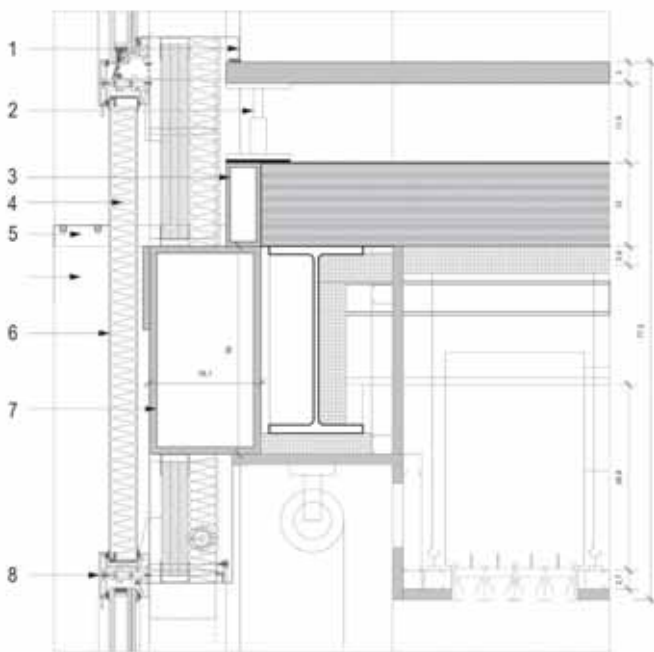


Fig. 24 – Sezione verticale della chiusura in corrispondenza della fascia marcapiano.

1. lamiera di alluminio preverniciata; 2. sostegno pavimento sopraelevato; 3. tubolare di acciaio di chiusura del solaio; 4. pannello di polistirene espanso; 5. passerella in grigliato di acciaio; 6. lamiera di alluminio preverniciata; 7. tubolare in acciaio per il fissaggio della chiusura verticale; 8. chiusura verticale trasparente a montanti e traversi con pressore in alluminio a taglio termico.



Fig. 25 – Vista notturna delle chiusure vetrate



Fig. 26- Vista notturna del tunnel di ingresso all'atrio



Fig. 27 – Scorcio dell'interno del tunnel di ingresso



Fig. 28 - Dettaglio della struttura di sostegno del sistema frangisole

rantire un elevato livello di flessibilità degli spazi interni. Sono previsti due moduli dimensionali: uno di 120 cm e uno più piccolo, di 80 cm. Gli elementi apribili sono sempre collocati in corrispondenza del modulo più piccolo.

Lungo i fronti esposti a sud-ovest la chiusura vetrata continua è ombreggiata da uno schermo frangisole che si estende per 1,5 m superiormente ai volumi dell'edificio e per 5 m lateralmente. In questo modo il sistema di ombreggiamento assume una particolare rilevanza dal punto di vista compositivo, divenendo non soltanto dispositivo tecnico necessario per il contenimento dei consumi energetici e per il conseguimento di elevati livelli di comfort, ma anche elemento caratterizzante della immagine architettonica dell'edificio.

Il sistema di ombreggiamento è costituito da una struttura in acciaio verniciato di colore bianco e da lamelle traslucide in polycarbonato alveolare. Esso si ancora all'edificio utilizzando gli stessi tubolari di acciaio saldati alle travi IPE perimetrali della struttura esistente che consentono il fissaggio dei montanti della chiusura vetrata. A questi tubolari sono fissate delle mensole in acciaio preverniciato alla cui sommità è imbullonato un graticcio di correnti e montanti tubolari di acciaio distanziato di 80 cm dalla chiusura vetrata: i correnti sono disposti ad altezza di piano, mentre i montanti a un passo costante di 125 cm. Sui montanti sono infine fissate le lamelle in polycarbonato alveolare mediante elementi di supporto di acciaio che ne regolano anche l'inclinazione. Le mensole, oltre a sostenere il sistema di ombreggiamento consentono l'appoggio di una passerella in grigliato di acciaio che può essere utilizzata per le operazioni di pulizia e manutenzione del sistema di ombreggiamento e della chiusura vetrata.

Le lamelle hanno quattro diverse lunghezze: 180 cm, 300 cm, 420 cm e 540 cm e sono realizzate con due differenti tipo di polycarbonato: di colore verde e neutro. La loro disposizione e il loro orientamento sono studiati in modo tale da garantire un ombreggiamento quasi totale della superficie vetrata nelle ore centrali

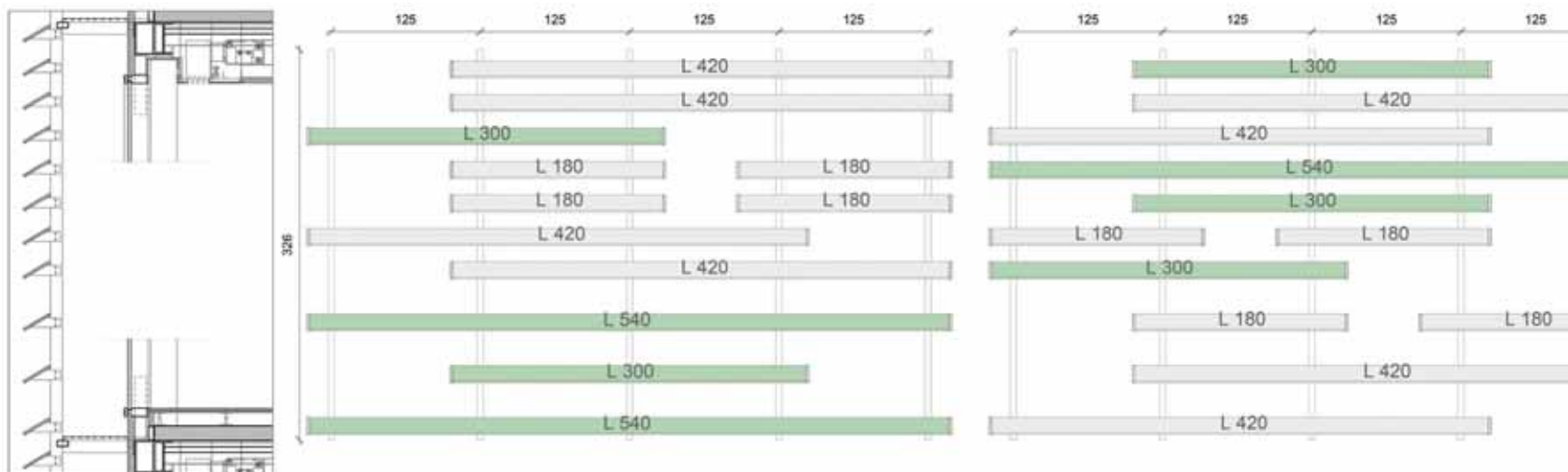


Fig. 29- Abaco di alcuni moduli delle lamelle in polycarbonato del sistema frangisole

delle giornate estive, quando l'altezza solare è massima. Al contempo il loro calibrato posizionamento e la scelta di un materiale traslucido, come il policarbonato, permette una buona visibilità dell'esterno e consente un elevato livello di comfort interno attraverso il massimo sfruttamento dell'illuminazione naturale e dei guadagni termici passivi anche nel periodo invernale, quando le temperature esterne e l'altezza solare sono ridotte.

Sul versante del contenimento dei consumi energetici un ruolo determinante è rivestito anche dagli impianti. Dal momento che l'atrio di distribuzione non è condizionato, ognuno dei tre corpi possiede un impianto centralizzato a pompa di calore a espansione diretta a recupero, a flusso di refrigerante variabile (VRF) con fan-coils locali.

EFFICIENZA AMBIENTALE

Un'ultima considerazione riguarda il tema dell'efficienza ambientale. Su richiesta del committente, la progettazione dell'Affori Centre ha mirato alla realizzazione di un edificio che potesse ottenere un riconoscimento elevato nell'ambito della certificazione ambientale LEED. Ha così avuto inizio un serrato confronto con BuroHappold Engineering, nella veste di consulente per la certificazione ambientale, durante il quale la consueta sen-



Fig. 30 - Dettaglio del sistema frangisole dall'interno di una loggia



Fig. 31 - Dettaglio del sistema frangisole ripreso alle ore 14 del solstizio estivo: la chiusura vetrata è completamente ombreggiata dalle lamelle in policarbonato alveolare

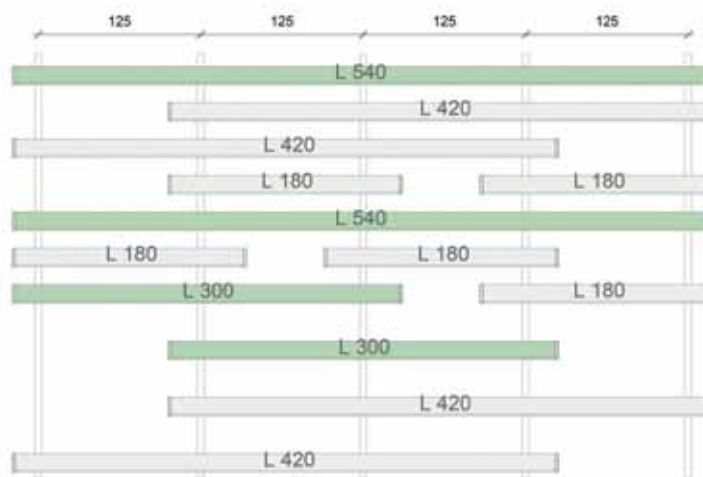
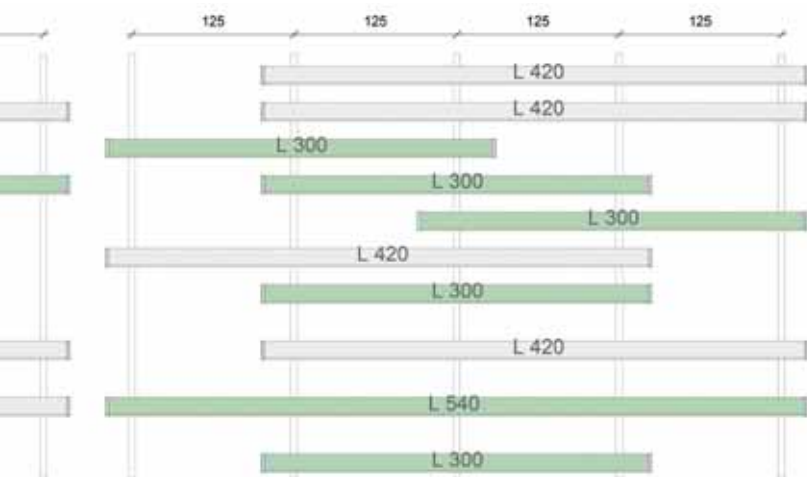




Fig. 32 – Vista dell'interno degli uffici



Fig. 33 – Vista dell'edificio attraverso la chiusura vetrata degli uffici



Fig. 34 – Vista notturna dell'edificio



Fig. 35 – Vista notturna del tunnel di ingresso

sibilità dei progettisti nei confronti dei temi ambientali è stata puntualmente declinata per corrispondere alle specifiche richieste del protocollo di valutazione.

Nel 2010 l'Affori Centre ha ottenuto la certificazione LEED di livello Gold acquisendo un punteggio complessivo di 31/61 con il protocollo LEED CS 2.0 (10/15 per il criterio "sostenibilità del sito"; 2/5 per il criterio "gestione delle acque"; 6/14 per il crite-

rio energia e atmosfera; 7/11 per il criterio "materiali e risorse"; 8/11 per il criterio "qualità ambientale interna"; 3/5 per il criterio "innovazione nella progettazione").

prof. arch. Andrea Campioli
Dipartimento ABC
Politecnico di Milano

SCHEDA PROGETTO

Luogo: Milano

Progetto: 2008

Realizzazione: 2009

Superficie di intervento: 12.000 m² di cui 1800 in ampliamento rispetto all'esistente

Committente: CB Richard Ellis Investors

Progettista: André Straja, Goring & Straja Architects

Progetto strutture: Studio tecnico PLG

Progetto impianti: BRE Engineering

Project Manager: Jones Lang Lasalle

Impresa di costruzioni: Constructors

Consulente certificazione LEED: Buro Happold Engineering

Fotografi: Stefano Gusmeroli e Beppe Raso

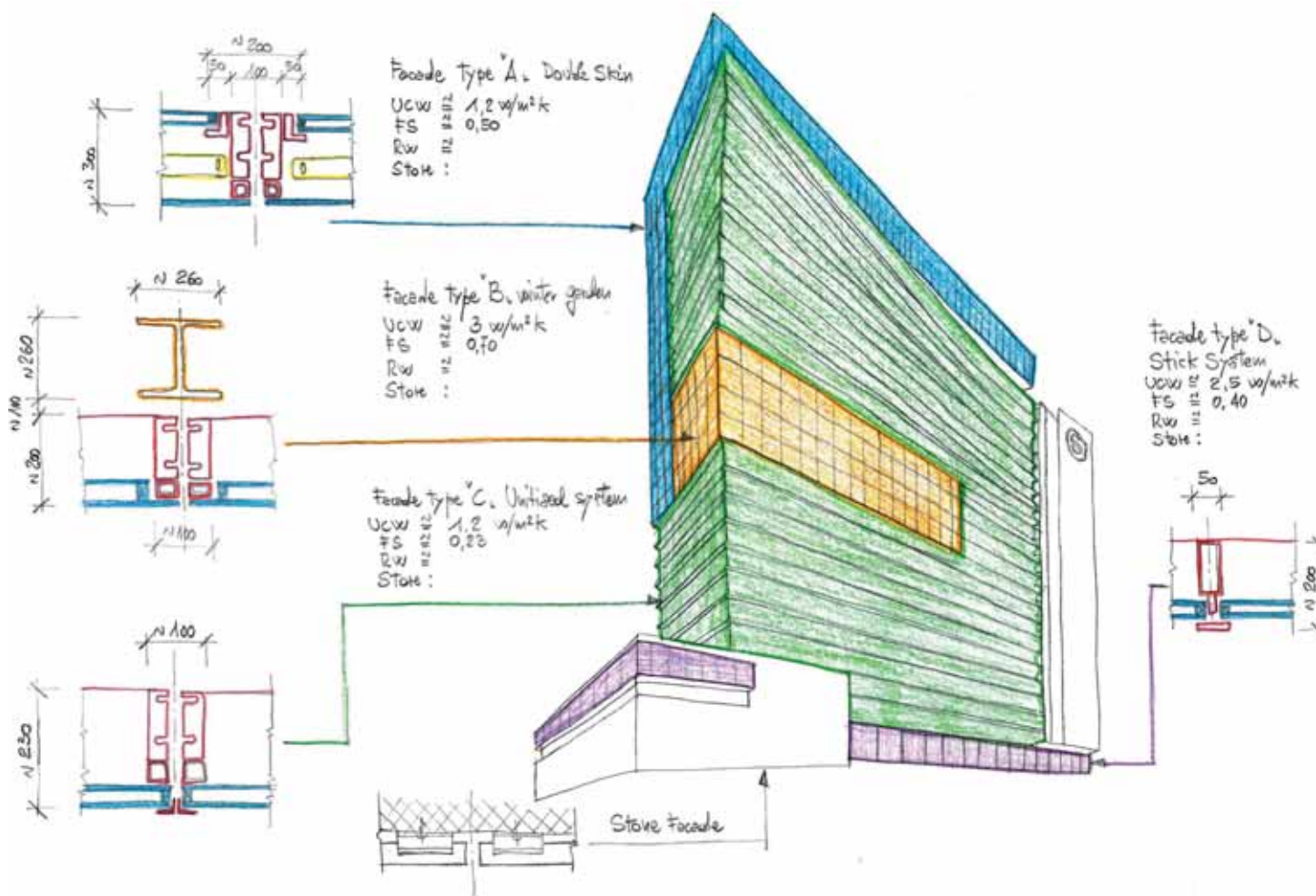
FACADE ENGINEER

Un ruolo chiave nel team per un progetto di qualità

FACADE ENGINEER

a key role in the design team, for development of high-quality projects

Giuseppe Fusaro



La diffusione sempre più importante nell'edilizia attuale delle facciate continue, o curtain wall, ha portato alla richiesta da parte dei progettisti di soluzioni costruttive più ardite e caratterizzanti non solo per gli aspetti architettonici ma anche per quelli prestazionali e per i sistemi costruttivi. Le facciate sono quindi diventate a tutti gli effetti componenti essenziali della costruzione: non sono più dei semplici involucri o chiusure indipendenti ma diventano parte integrante dell'edificio, unendo l'architettura con la struttura e soprattutto coinvolgendo l'impiantistica sia passiva che attiva. Alle facciate continue quindi viene ora richiesto un ruolo che non soddisfi più il solo aspetto architettonico dell'edificio ma affronti e soddisfi tutte le possibili soluzioni tecnologiche applicabili. Questa richiesta si rende possibile attraverso specifiche conoscenze dei sistemi costruttivi, dei materiali, delle tecniche di produzione e posa in opera, oltre che dell'impiego di software dedicati che ottimizzino le soluzioni architettoniche

in armonia con quelle costruttive. La tecnologia delle facciate consente oggi di realizzare involucri con differenti caratteristiche e prestazioni che passano dalla classica facciata continua alle facciate a doppia pelle ventilate e attive, alle facciate respiranti per arrivare alle facciate CCF.

The ever-increasing diffusion in modern construction of curtain wall systems has led to the demand from designers of the most bold and characteristic design solutions not only for architectural aspects but also related to performances and construction systems. The facades have become to all intents and purposes essential components of building construction, they are no longer simple envelope or independent enclosures but become an integral part of the building integrating the architecture together with the structure and, above all, involving both passive and active plant building. To the continuous facades, therefore, is now required a role that no longer only suits the architectural aspect of the building but faces and meets all applicable possible technological solutions. This request is made possible through specific knowledge of construction systems, materials, production and installation techniques, as well as with the use of dedicated software that optimizes architectural and constructive solutions. Facade technology today enables the achieving of building envelopes with different characteristics and performances ranging from the classic curtain wall to the double skin facade ventilated and active, to the breathing facades and the CCF facades.

PROGETTAZIONE DELLE FACCIATE CONTINUE E STUDIO DEL SISTEMA EDIFICIO

La possibilità di applicare all'edificio diverse tipologie di facciata continua ha comportato la necessità di dare origine ad una specializzazione che, se in Italia trova origini piuttosto recenti, all'estero è presente invece da molto tempo: si tratta del settore denominato *Facade Engineering*. Il motivo per cui in Italia questa specializzazione è di recente introduzione ed ancora oggi non è molto richiesta, non è dovuto alla mancanza di conoscenza o di capacità – va infatti ricordato che le società italiane nella costruzione di facciate continue sono tra

le più accreditate al mondo – bensì va ricercato nel fatto che proprio queste società hanno messo direttamente a disposizione dei clienti le loro conoscenze indirizzando a volte le scelte verso prodotti specifici o preferenziali che non sempre hanno portato però all'ottimizzazione e soprattutto integrazione delle facciate con le restanti componenti della costruzione. Oggi la consapevolezza da parte dei committenti di voler realizzare un involucro che risulti ottimale sotto tutti gli aspetti e sia, nel contempo, il più possibile integrato con l'intero edificio sia per gli aspetti architettonici che prestazionali, ha fatto sì che lo studio e l'analisi della sola facciata risulti non sufficiente per

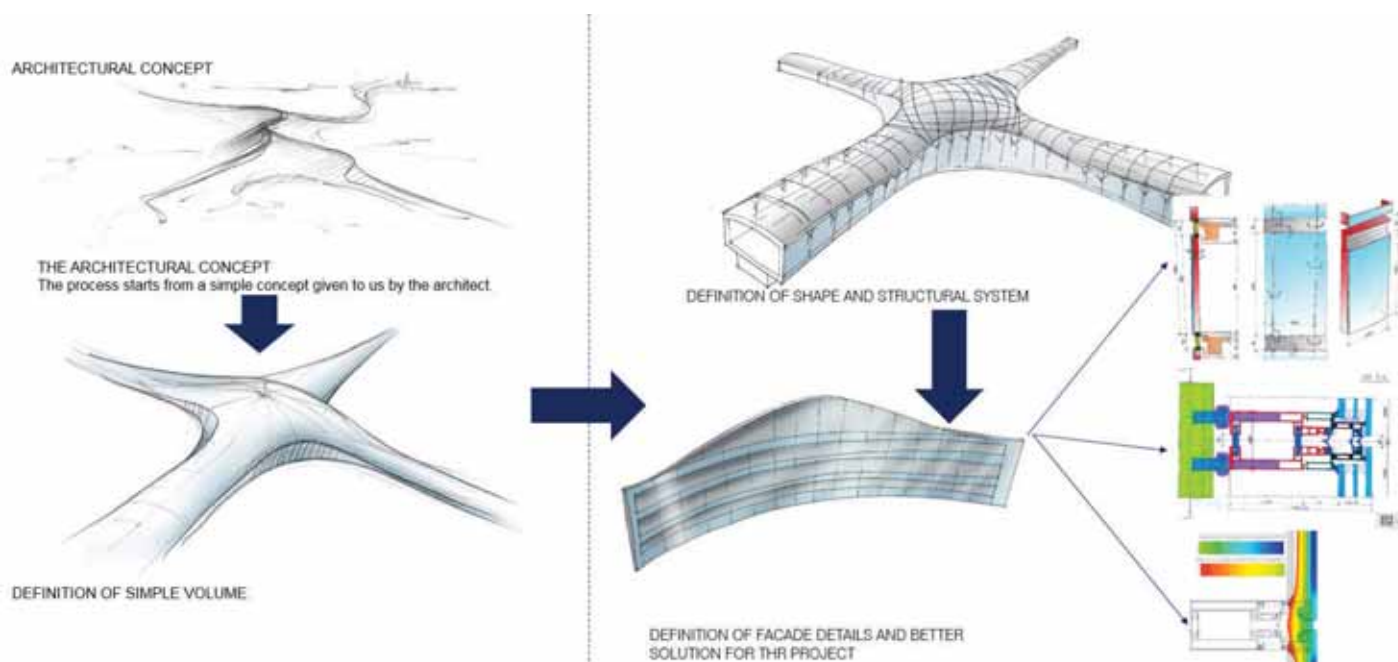


Fig. 1 - Schema fasi del progetto (dallo schizzo al dettaglio)

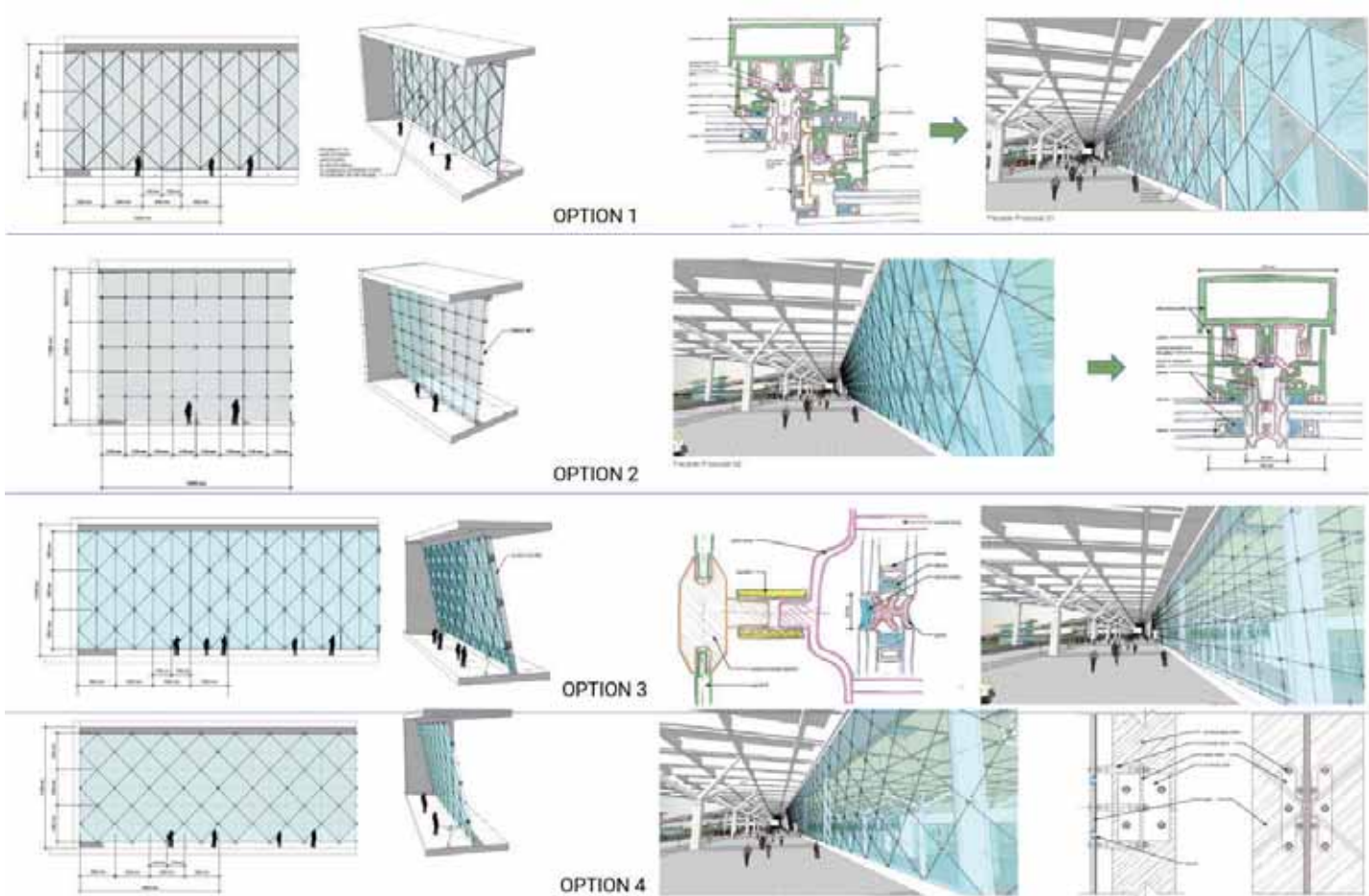


Fig. 2 - Esempio di proposta preliminare per architetto

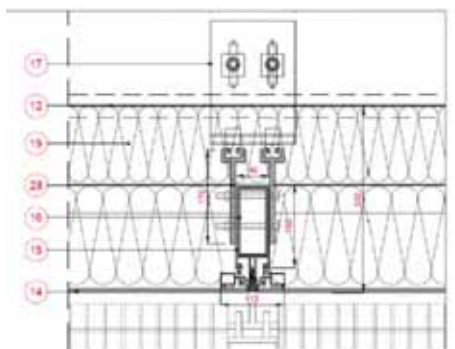
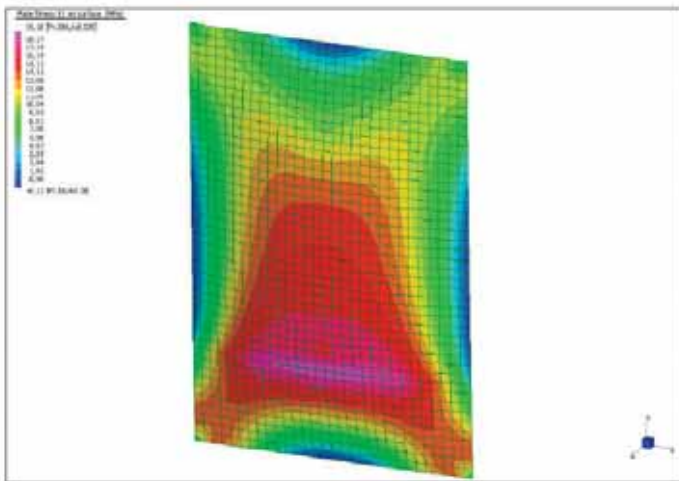


Fig. 3 - Esempio di Value Engineering, dal calcolo statico al dettaglio

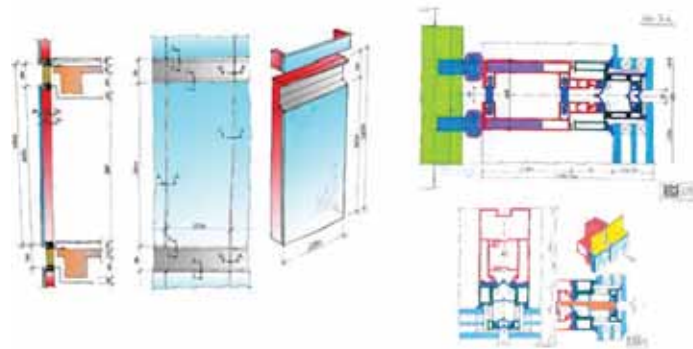
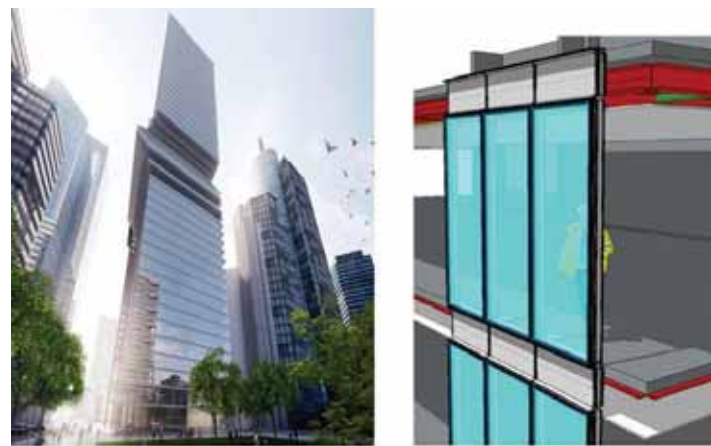


Fig. 4 - Esempio tipico di concept/preliminary design



Fig. 5 - Esempio tipico di tender

l'ottenimento del "progetto edificio integrato".

Da questo la presenza di un Facade Engineer risulta importante se non essenziale. La sua attività è rivolta essenzialmente a tre diversi interlocutori i quali, per loro natura, richiedono approfondimenti e sviluppi che presentano livelli diversi oltre che un diverso approccio, pur mantenendo ovviamente invariato l'obiettivo comune che è la realizzazione dell'opera. Anche i diversi momenti che caratterizzano una costruzione, sia in termini temporali che di sequenza di sviluppo delle attività, coinvolgono il Facade Engineer in maniera diversa. Sulla base delle esperienze maturate si possono quindi individuare questi tre principali interlocutori:

- Il Progettista dell'edificio (architetto o ingegnere);
- Il General Contractor (investitore o impresa generale);
- Il Costruttore delle facciate continue.

Sebbene nelle valutazioni tecniche del progetto il *Facade Engineering* tenga in considerazione tutti gli aspetti che coinvolgono le facciate, a seconda del suo interlocutore vengono approfonditi in maniera diversa i vari argomenti.

Per l'Architettura dell'edificio la ricerca della forma, dei materiali e la modellazione delle superfici risulta ovviamente preponderante nello sviluppo del progetto e da queste richieste discendono poi tutte le altre caratteristiche. L'approfondimen-

to e definizione dei requisiti architettonici avviene tramite un confronto continuo con il progettista con l'impiego di sketch, di modelli generali, l'individuazione delle forme e sagome oltre che tramite schemi rappresentativi, consentendo passo-passo di individuare e definire i principali componenti delle facciate sia per materiali che dal punto di vista geometrico. La successiva fase diventa quella di definire in dettaglio questi componenti, progettando non solo dal punto di vista strutturale ma anche da quello delle prestazioni fisiche l'intera facciata.

Per Il General Contractor risulta preponderante invece l'attività di *value engineering*, intesa non solo come ottimizzazione dei vari componenti e materiali, ma anche delle diverse fasi dei lavori oltre che della possibilità di individuare sistemi costruttivi già presenti sul mercato oppure, qualora si trattasse di componenti *custom*, di facilitarne la reperibilità.

Infine per il Costruttore o esecutore della facciata continua, che normalmente trova definite già le caratteristiche architettoniche, prestazionali e temporali, l'aspetto più importante è l'ingegnerizzazione del prodotto ovvero la possibilità di rendere semplificata ma soprattutto industrializzata la fase di progettazione, produzione e posa in opera, ottimizzando ovviamente i componenti impiegati ma garantendo il mantenimento delle prestazioni richieste dal progetto.

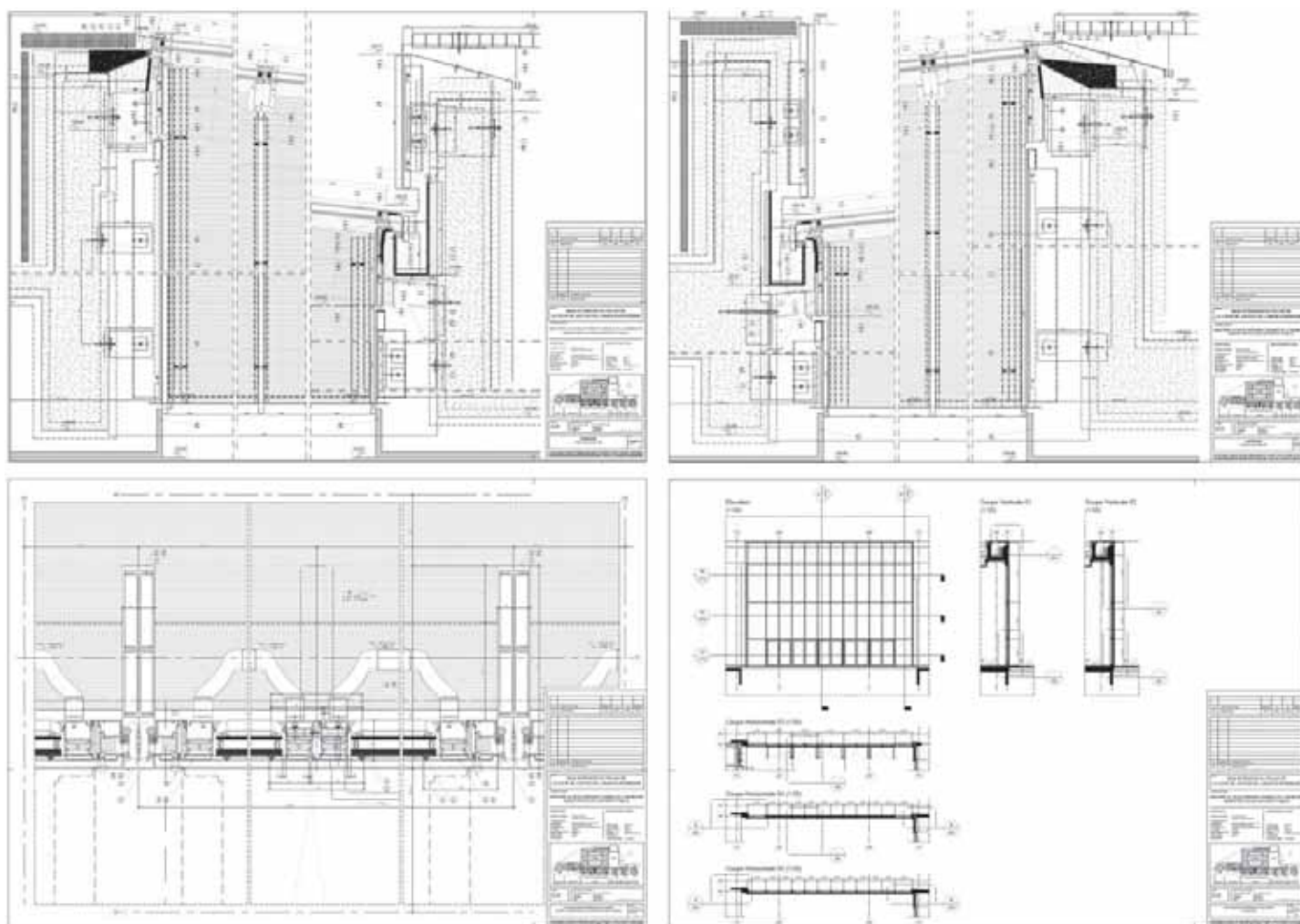


Fig. 6 - Esempio di progetto esecutivo

Sebbene questo approccio progettuale sia tradizionale e nella maggior parte dei casi comunque applicato dai singoli soggetti coinvolti, la presenza di un Facade Engineer rende questi passaggi e confronti organici e, soprattutto, sempre collocati all'interno di un processo controllato in ogni sua fase così da poter affrontare nei tempi e nei modi più corretti tutte le problematiche al fine di garantire che l'esecuzione delle opere soddisfi le esigenze iniziali.

In molte occasioni, infatti, i progetti vengono rimessi in discussione dal General Contractor oppure dal costruttore delle facciate, a causa della inevitabile e abituale messa a punto delle attività di costruzione, per la scelta dei materiali e/o dei sistemi costruttivi adatti, per l'analisi delle sequenze delle varie attività oppure dei tempi di realizzazione. La conseguenza in molti casi è un grande dispendio di tempo ed energie da parte di tutti i soggetti coinvolti che devono, dopo la fase di aggiudicazione, individuare valutare e risolvere, anche attraverso confronti non sempre facili, queste problematiche.

La presenza del Facade Engineer al contrario fa emergere, e quindi risolvere, queste problematiche fin dalle prime fasi dell'opera, sia che si tratti di quella progettuale che di *value*

engineering piuttosto che di industrializzazione del prodotto. Consente l'ottimizzazione delle attività previste, dei componenti adottati, tenendo in considerazione tutte le diverse esigenze della costruzione senza per questo obbligare il progettista, il General Contractor o l'esecutore delle opere ad adottare soluzioni di ripiego o riconducibili a specifici prodotti commerciali.

La presenza di questa figura professionale consente infatti di mantenere inalterati gli aspetti essenziali del progetto quali l'architettura, le prestazioni e la realizzazione delle attività, lasciando però spazio alle singole compagnie di proporre prodotti e soluzioni più idonee alle loro capacità.

La presenza di un Facade Engineer evita che le scelte siano condizionate dalle proposte di uno specifico fornitore o di un sistema costruttivo ma, al contrario, evidenzia gli aspetti architettonici e prestazionali necessari lasciando lo spazio ai vari fornitori di proporre soluzioni proprie ed ottimizzate senza per questo alterare il progetto, mantenendo quindi invariate le prescrizioni progettuali. Il coinvolgimento in fine di un Facade Engineer, fin dalle prime fasi progettuali o meglio di concezione del progetto, assieme agli altri progettisti quali architetti

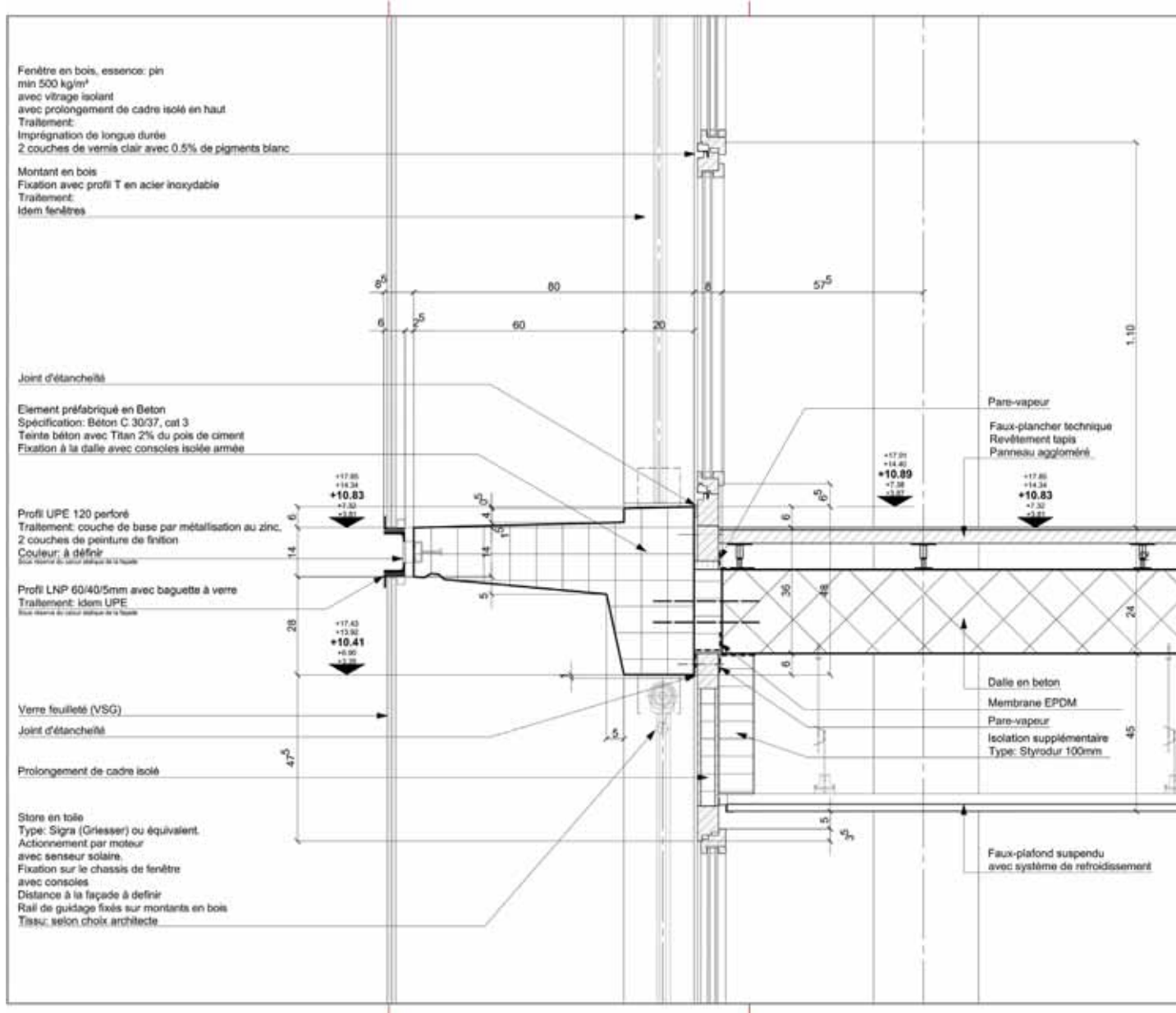


Fig. 7 - Stralcio progetto architettonico sezione verticale facciata a doppia pelle

ti, strutturisti e soprattutto impiantisti, consente di affinare le soluzioni ottimizzando tutti questi aspetti e, come detto, integrando le facciate continue con tutte le restanti opere scegliendo le migliori prestazioni e *performance* senza penalizzare l'uno o l'altro settore ma al contrario ottenendo il massimo da ognuno.

Per meglio capire quali siano le fasi progettuali dove il Facade Engineer può intervenire per dare il miglior apporto alla realizzazione dell'opera, riportiamo di seguito i livelli tipici del progetto di facciate continue (figure 1 - 6):

- Progetto di *concept*;
- Progetto preliminare;
- Progetto di *tender*;
- *Value engineering*;
- Progetto esecutivo.

Indipendentemente dalla tipologia del progetto e dalla fase in

cui il Facade Engineer viene coinvolto, si possono individuare i seguenti *step* essenziali che ovviamente avranno approfondimenti e livelli di dettaglio diversi:

- Definizione dei parametri architettonici richiesti, forma, tipologia costruttiva, dimensione dei profili e tipologia dei componenti principali e secondari.
- Identificazione e scelta dei materiali da impiegare per quanto riguarda sia gli elementi strutturali che quelli di tamponamento.
- Definizione dei parametri prestazionali richiesti o necessari, quali le prestazioni energetiche: trasmittanza termica, fattore solare, riflettenza ed il potere fonoisolante, sia dei singoli materiali che dell'intera facciata continua.
- Definizione delle caratteristiche strutturali dell'opera che si deve integrare con le facciate continue quali le deformate dovute ai carichi per pesi propri, di esercizio o accidentali,

gli spostamenti per le azioni del sisma e del vento, le dilatazioni termiche.

- Definizione delle fasi e sequenze di esecuzione dell'opera, integrazione con le altre attività previste ed opere secondarie che compongono la costruzione.
- Individuazione del sistema costruttivo più idoneo per la realizzazione dell'edificio in ragione della tipologia di facciata continua prevista.
- Valutazione dell'organizzazione del cantiere per stabilire la possibilità o necessità di eseguire eventuali attività di assemblaggio a piè d'opera, il tipo di sollevamenti in quota, lo stoccaggio dei materiali e la protezione dei manufatti dopo la posa.
- Considerazioni sugli accorgimenti per la migliore integrazione delle facciate continue con le opere civili definendo le tolleranze costruttive, lo studio dei sistemi di attacco, i reali carichi agenti dovuti alle facciate continue con eventuale rimodellazione strutturale. Modellazione in ambiente BIM delle facciate continue per l'inserimento nel modello globale dell'edificio a verifica e definizione di tutte le opere previste.
- Stesura dei capitolati tecnici, definizione delle norme di riferimento e delle specifiche tecniche dei materiali.
- Ottimizzazione dei componenti, sia ai fini delle prestazioni che delle diverse fasi del lavoro in cantiere, con determinazione delle sezioni minime per i vari componenti.

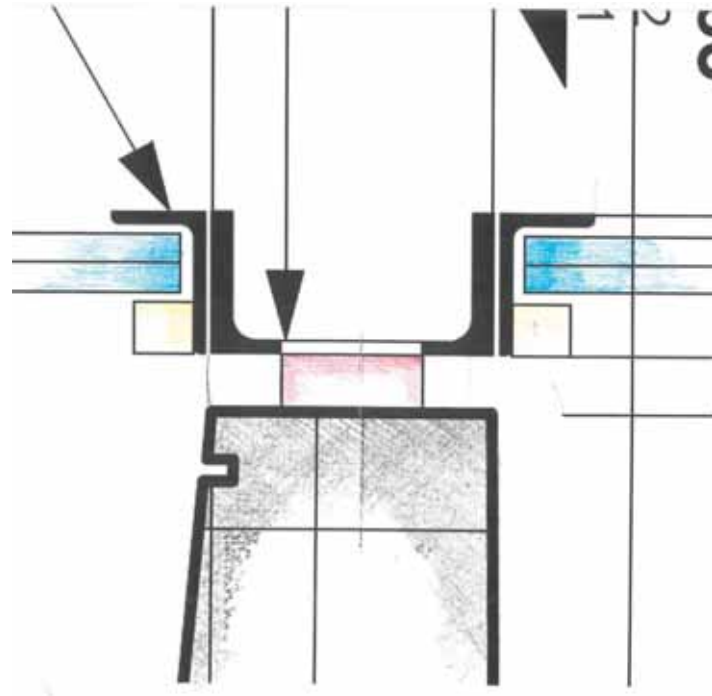


Fig. 8 - Dettaglio architettonico attacco della pelle esterna della facciata a doppia pelle

- Stesura di un piano di manutenzione delle facciate che coinvolga sia le operazioni più tipiche quali la pulizia che quelle più complesse come il ripristino delle tenute AEV nonché degli elementi costruttivi che si possono danneggiare.

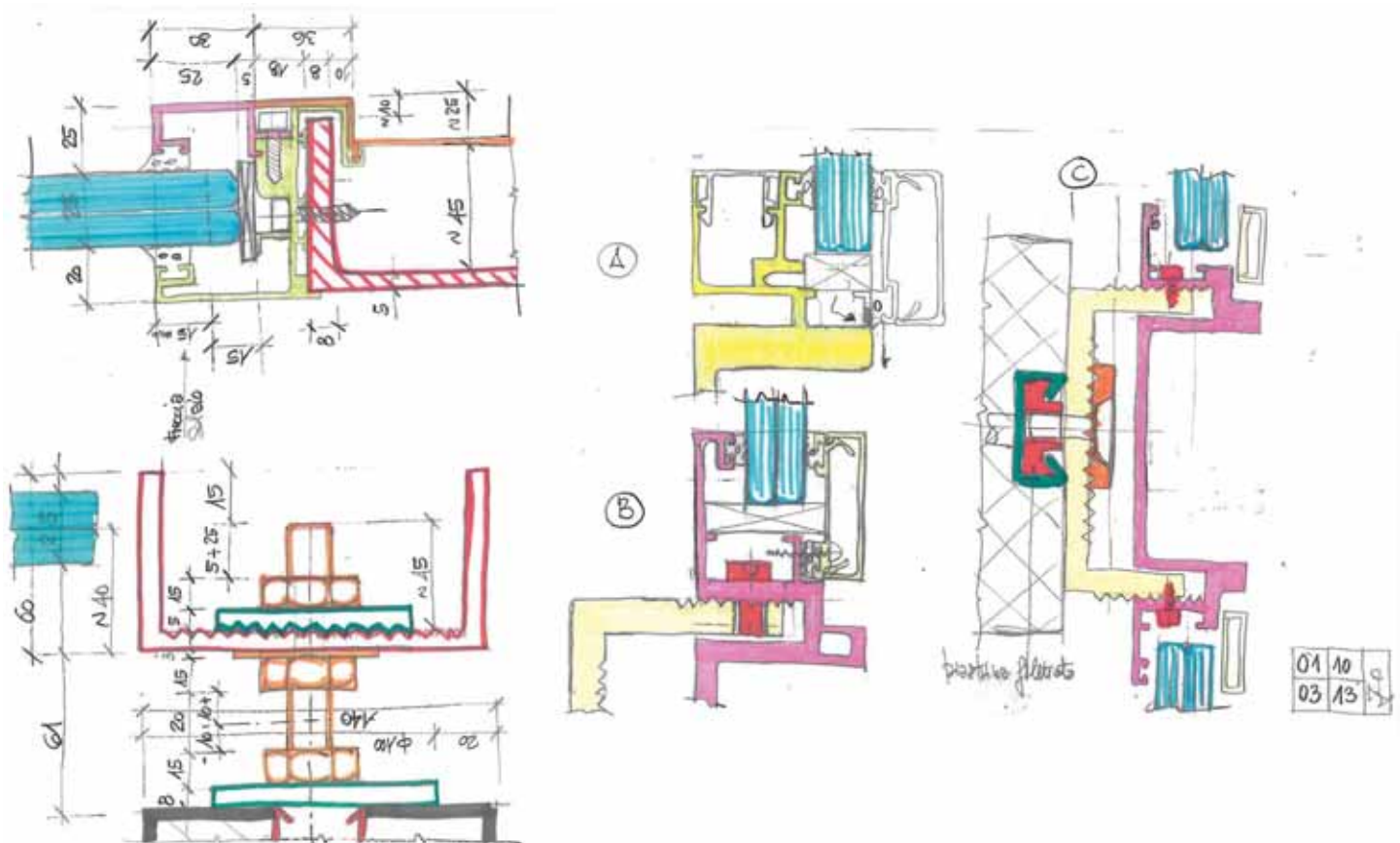


Fig. 9 - Schizzi preliminari di studio delle possibili soluzioni e determinazione degli ingombri

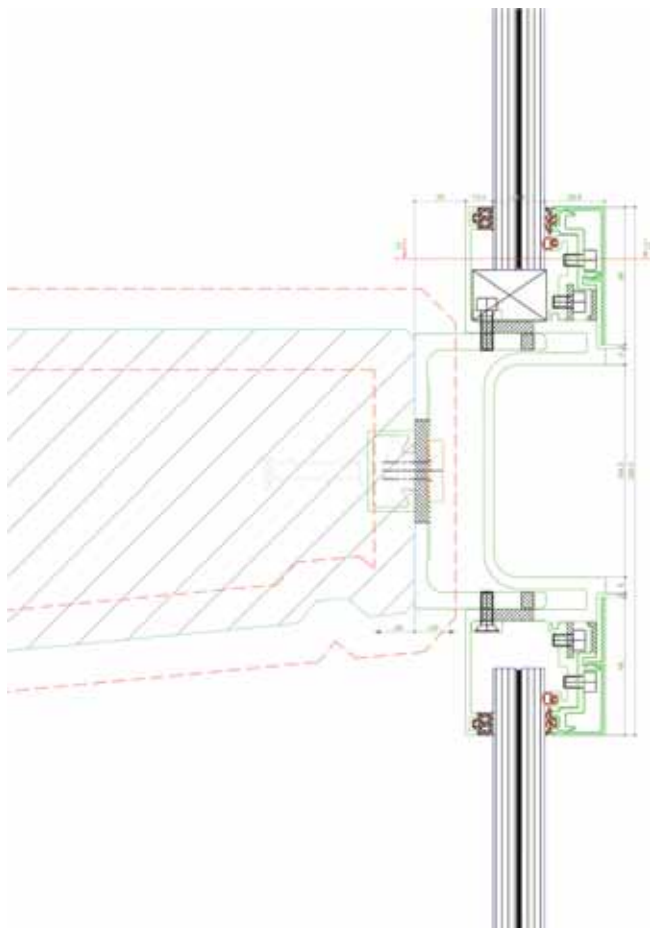


Fig. 10 - Disegno esecutivo del sistema di facciata nella soluzione definitiva eseguita con profili di alluminio

ALCUNI ESEMPI DI SVILUPPO DELLA PROGETTAZIONE INTEGRATA DELLE FACCIATE CONTINUE.

Progetto "A" (Lussemburgo)

Questo progetto presenta la caratteristica di integrazione ed ottimizzazione pressochè completa di tutte le fasi tipiche. Sono infatti stati affrontati tutti i processi di sviluppo della facciata, partendo dal progetto architettonico si è arrivati alla definizione di specifici profili delle facciate continue passando attraverso la scelta del sistema costruttivo della struttura, garantendo il risultato architettonico, tecnico, economico e prestazionale richiesto (figure 7 - 12).

Il tema richiesto dal progettista architettonico era la realizzazione di una facciata a doppia pelle avente la superficie rivolta verso l'interno in materiali classici come il legno, il ballatoio in calcestruzzo a vista e la superficie esterna composta da soli vetri senza profili verticali quali montanti ma solo un marcapiano orizzontale in profilati di acciaio avente sezione a "C". Per ragioni di tempi di esecuzione, sezioni di calcestruzzo molto sottili e, soprattutto, grado di finitura dei cementi faccia a vista, l'impresa esecutrice delle opere civili ha richiesto l'impiego di ballatoi in calcestruzzo prefabbricato. Questa scelta da un lato ha risolto le problematiche sopradescritte, dall'altro però, dovendo ridurre al

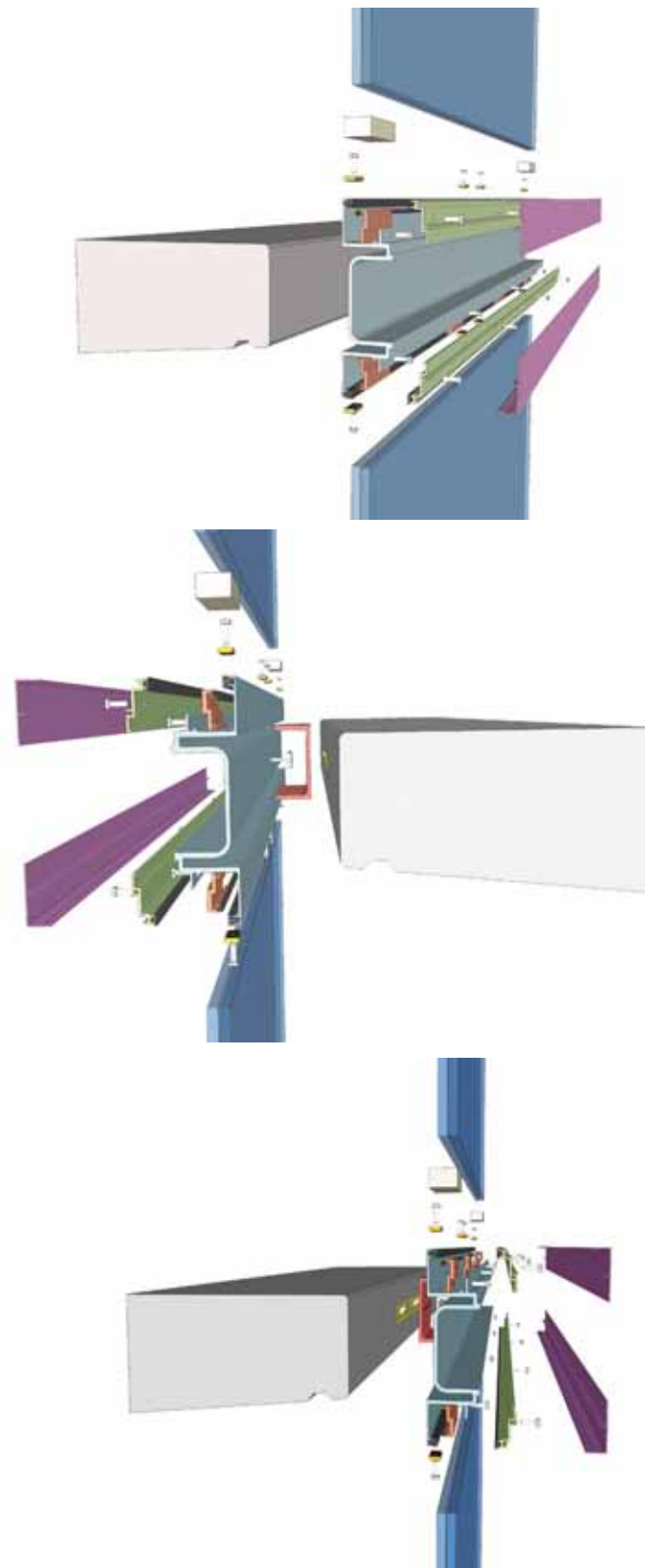


Fig. 11 - Esploso dei singoli elementi che compongono il sistema di facciata

minimo le sezioni resistenti, ha conseguentemente creato problemi di importanti deformazioni dovuti sia ai pesi delle facciate che ai carichi di esercizio. Le facciate quindi hanno dovuto compensare queste inevitabili deformazioni (figura 8).

Il punto di partenza per il design delle facciate è ovviamente



Fig. 12 - Immagine stralcio del progetto ultimato

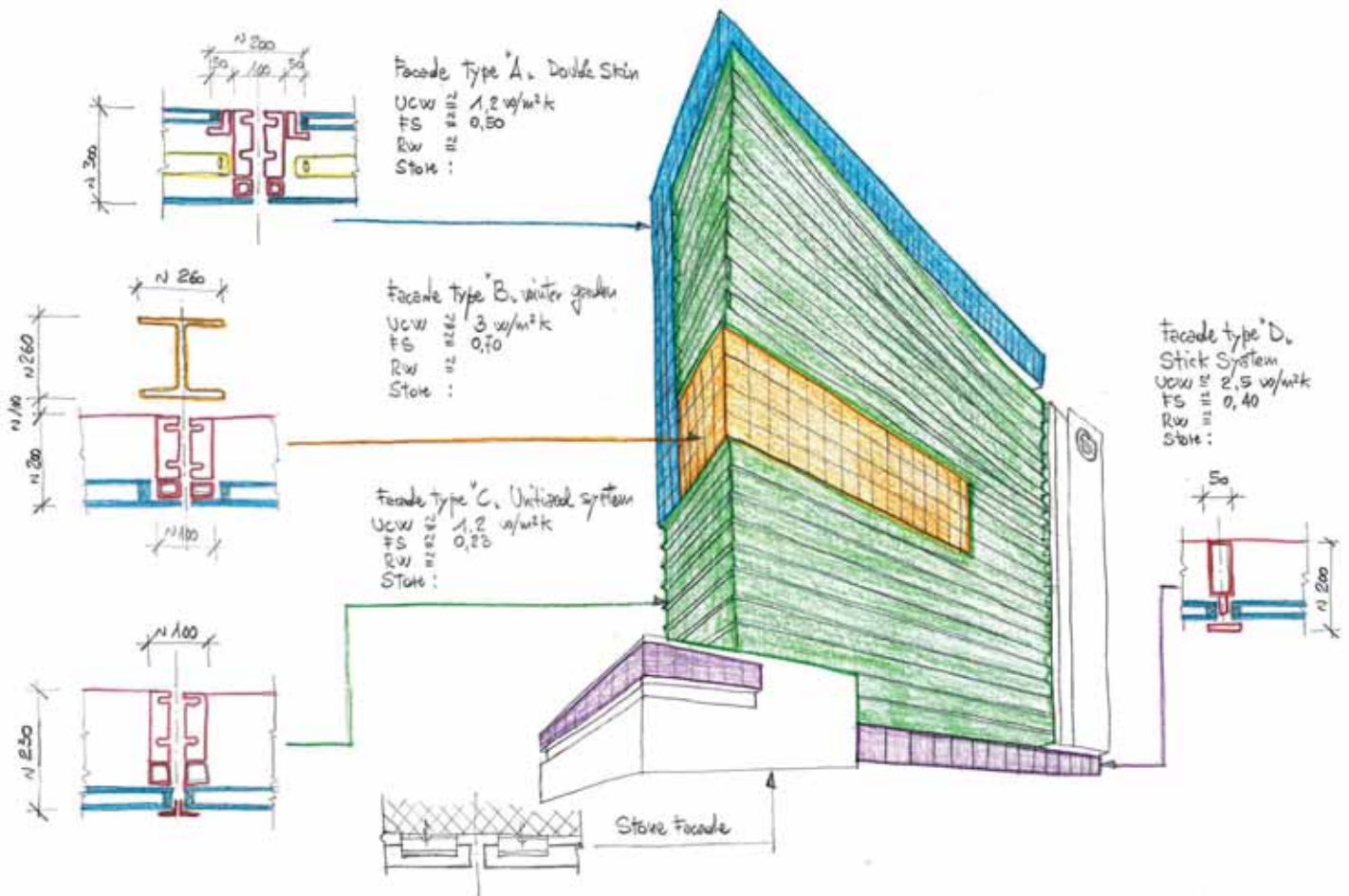


Fig. 13 - Individuazione tipologie facciate

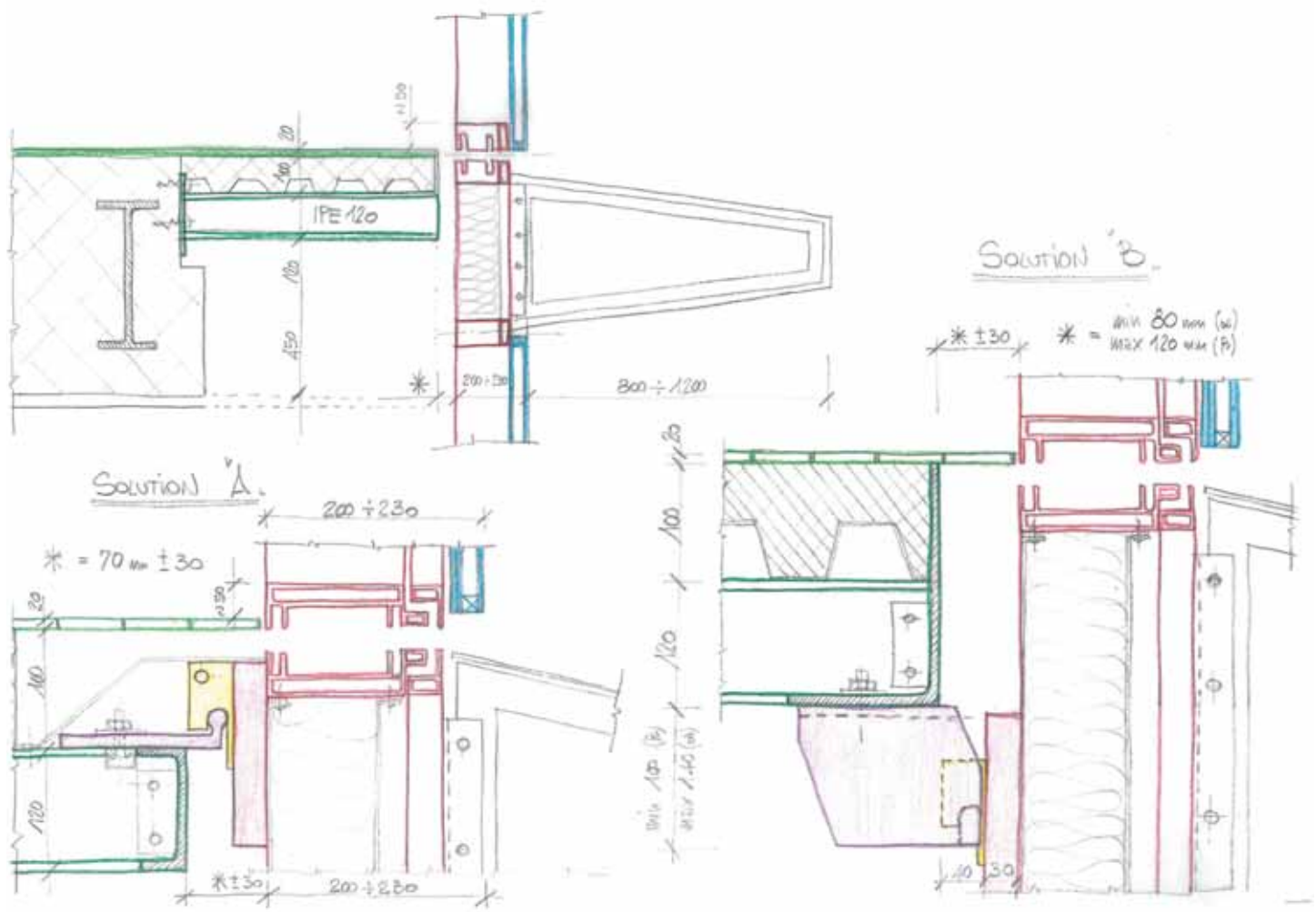


Fig.14 - Schizzi dei sistemi costruttivi

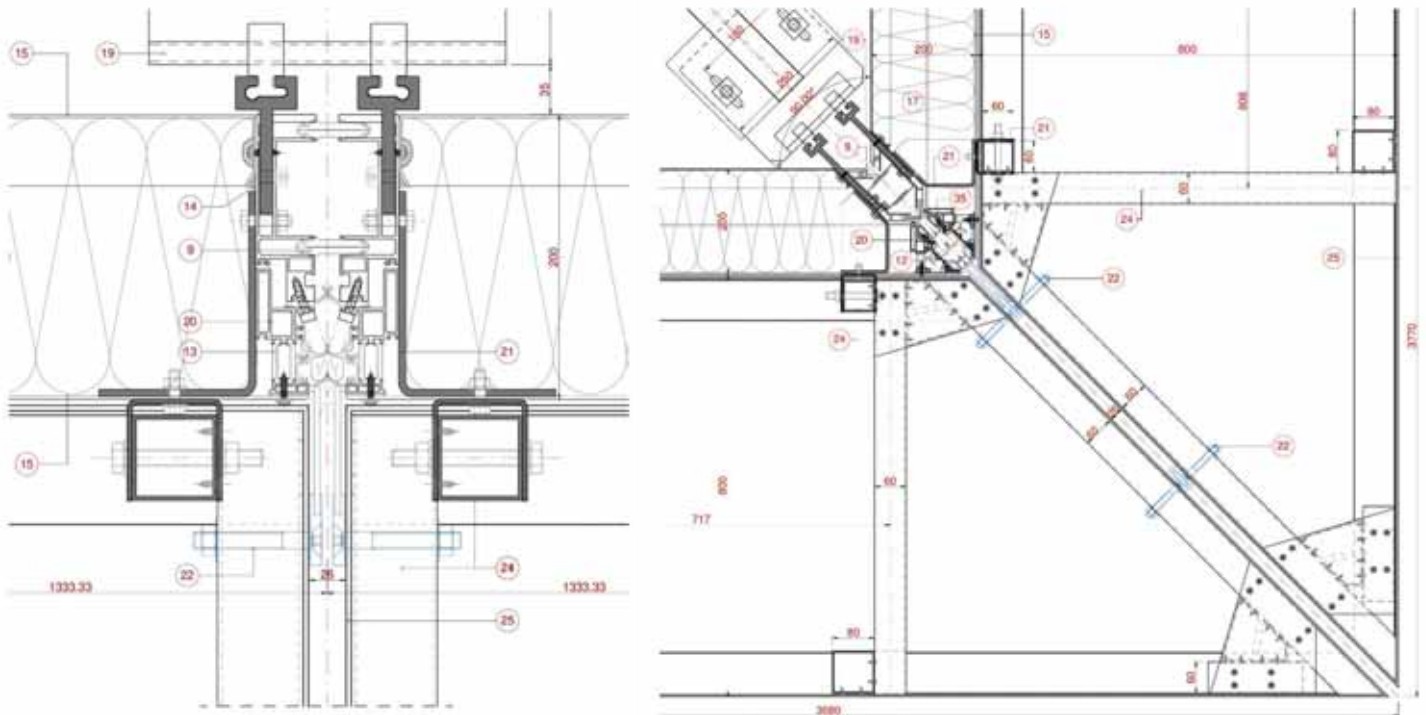


Fig. 15 - Dettaglio Attacco shading alle cellule di facciata

stato il progetto architettonico dove si sono definiti gli ingombri principali e le caratteristiche dei materiali.

Le analisi del progetto e lo studio delle soluzioni costruttive hanno messo in evidenza diversi aspetti sia riguardanti la scelta dei materiali da impiegare che dei sistemi di attacco delle facciate che dovevano prendere in considerazione le tolleranze delle opere civili oltre che i movimenti e le deformate che i vari elementi costruttivi presentavano.

La scelta iniziale di impiegare un profilo di acciaio che facesse funzione sia di marcapiano sia di sostegno dei profili di alluminio - che a loro volta sorreggono i vetri - risultava complessa e poco funzionale. Le caratteristiche che sono state prese in considerazione per valutare e decidere quale soluzione adottare sono state:

- La protezione superficiale del profilo di acciaio: la particolare collocazione e la presenza dei profili reggi vetro avrebbe creato dei ristagni d'acqua in posizioni difficilmente raggiungibili per la manutenzione e riparazione.
- Le tolleranze costruttive dei profili di acciaio per altro sottoposte al trattamento di zincatura a caldo e successiva verniciatura a polveri poliesteri termoindurenti non risultavano compatibili con le soluzioni architettoniche richieste.
- Il collegamento di questi profili marcapiano aventi sezione a "C" alle opere civili e tra i vari spezzoni risultava evidente quindi troppo invasivo per le richieste architettoniche.

La soluzione che rispondeva a tutte queste problematiche è stata individuata nella revisione e cambiamento totale del sistema di facciata messa in atto fin dalla fase di progettazione. Il profilo di acciaio è stato sostituito da uno speciale profilo estruso in lega di alluminio EN 6082 e lega EN 6005 A, entrambe allo stato fisico T6, da produrre *custom* e che comprendesse in unico elemento sia il marcapiano che i profili reggi vetro e che, allo stesso tempo, consentisse le regolazioni necessarie per gestire le tolleranze costruttive oltre che i movimenti dovuti alle deformate pur senza mostrare alcun bullone o vite a vista. Anche le staffe di attacco al ballatoio in calcestruzzo prefabbricato sono state realizzate a disegno per coniugarsi con il profilo marcapiano e, allo stesso tempo, riducendo al minimo gli ingombri a vista oltre che per eliminare le lavorazioni di foratura sul cantiere.

La ventilazione dell'intercapedine tra le due pelli costituita dal ballatoio stesso, si è ottenuta lasciando una fuga verticale aperta tra i vetri con larghezza di circa 50 mm. Questa scelta ha ottenuto un duplice risultato: consentire la comunicazione tra il ballatoio e l'esterno e nello stesso tempo garantire ai vetri l'adeguato "movimento e rotazione" generato dalle dilatazioni termiche e, soprattutto, dalle inflessioni dei vari conci in calcestruzzo con cui è stato realizzato il ballatoio. La dimensione di questa feritoia è stata determinata dal calcolo termico con l'impiego di specifici software per l'analisi fluidodinamica CDF.

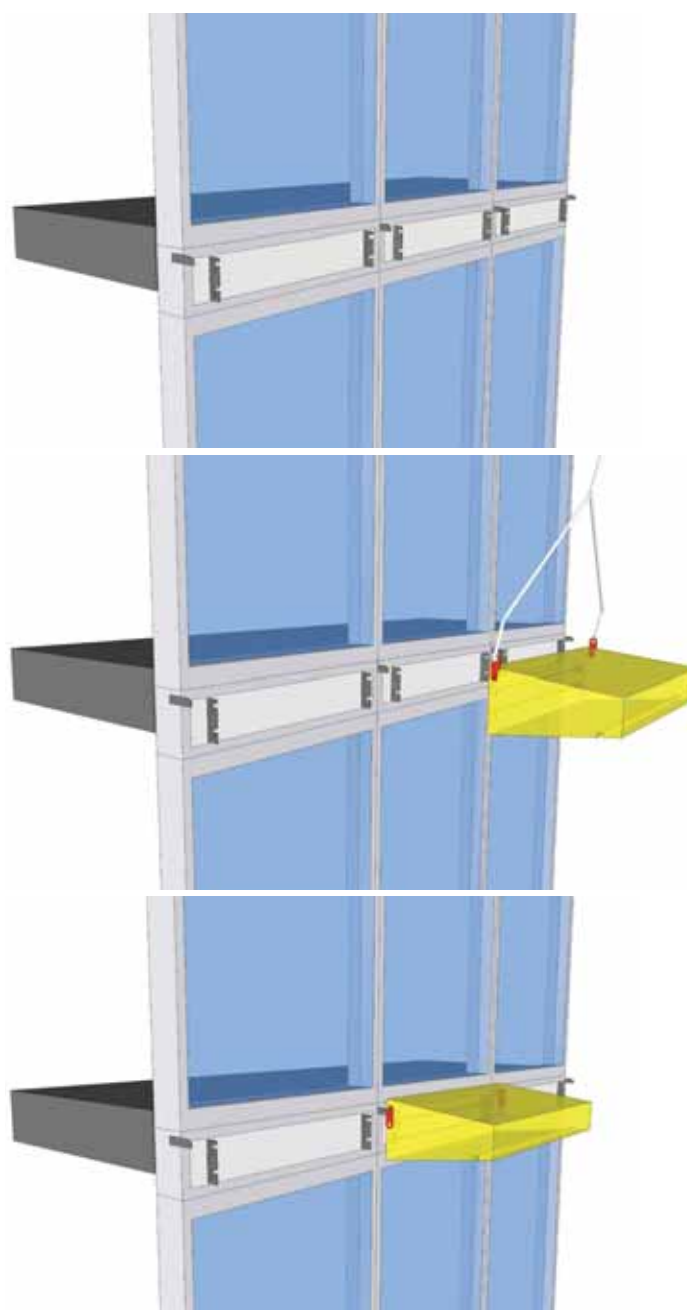


Fig. 16 - Montaggio shading. (a) Predisposizioni dell'attacco sulle cellule di facciata; (b) Sollevamento e posizionamento sulle cellule di facciata; (c) Aggancio dello shading alla facciata

A completamento dello studio generale della facciata, si è elaborato anche lo studio in dettaglio dei profili di alluminio previsti.

Progetto "B" (Bruxelles)

La caratteristica principale di questo progetto (figure 13 - 17) che ha contraddistinto le soluzioni e le scelte costruttive, è che si tratta della ristrutturazione ed ampliamento di un edificio posto in un quartiere centrale della città. Tra le varie richieste del committente-finanziatore, le principali riguardavano la flessibilità del sistema costruttivo delle facciate in modo da avere la possibilità di eseguire i lavori in momenti diversi e in condizioni di cantiere limitate per la presenza pressoché continua degli occupanti. Le opere civili infatti erano previste per lotti, con la



Fig. 17 - Immagine dell'edificio

necessità di spostare di volta in volta gli occupanti dell'immobile nei piani non coinvolti dai lavori. Inoltre, per ragioni di tempi di esecuzione molto ristretti, il sistema costruttivo delle facciate doveva essere facilmente reperibile sul mercato ma non per questo alterare i principi costruttivi ed architettonici o limitare la scelta ad uno specifico prodotto o produttore. Particolare attenzione è inoltre stata data alla logistica del cantiere ed agli spazi messi a disposizione per le movimentazioni e stoccaggio che, trovandosi in una via centrale della città, risultavano particolarmente ridotti. La prima fase è stata la definizione delle soluzioni costruttive delle facciate da adottare per le diverse zone dell'edificio in accordo con le richieste architettoniche. Con l'ausilio di semplici sketch sono state individuate le varie aree e messe in evidenza le caratteristiche e particolarità tipiche di ogni sistema di facciata sia dal punto di vista delle prestazioni che del valore economico. Solo dopo il confronto con tutte le figure coinvolte nello sviluppo del progetto, e a seguito quindi della definizione e scelta dei sistemi costruttivi, si è passati allo studio dettagliato dei sistemi di facciata e alla verifica delle prestazioni strutturali e fisiche. La necessità di avere una forte flessibilità del sistema costruttivo è stata particolarmente caratterizzante nella progettazione del *cantilever* marcapiano o *shading* esterno di perimetro che, oltre

ad essere presente ad ogni piano, ha una sporgenza variabile. La richiesta era di realizzare un sistema costruttivo che consentisse l'installazione degli elementi modulari in fasi e momenti diversi a seconda delle necessità del cantiere, che prevedevano l'installazione durante la posa delle cellule agendo dal piano dell'edificio oppure a posa della facciata ultimata, lasciando delle zone libere per la movimentazione dei materiali, evitando così possibili danneggiamenti, oppure in una unica soluzione ed agendo solo dall'esterno con l'impiego di autogrù e piattaforme o gondole dal tetto. Qualunque fosse la soluzione da adottare era richiesto di non avere fissaggi, fori o staffaggi a vista provvisori e tanto meno definitivi e nello stesso tempo che non venisse compromessa la prestazione di tenuta AEV della retrostante facciata. Con queste condizioni, la soluzione è stata quindi di eseguire delle predisposizioni sulle cellule di facciata che consentissero l'aggancio con sistema a baionetta dei frangisole esterni senza alcun collegamento diretto alle solette. La trattenuta o anti-sganciamento è stata realizzata con un sistema a chiavistello a scomparsa che serviva anche da sistema di sollevamento. Nessuna parte di questo sistema di aggancio è visibile all'esterno e nello stesso tempo è possibile rimuovere questi frangisole sporgenti per ogni eventuale successiva operazione di manutenzione.

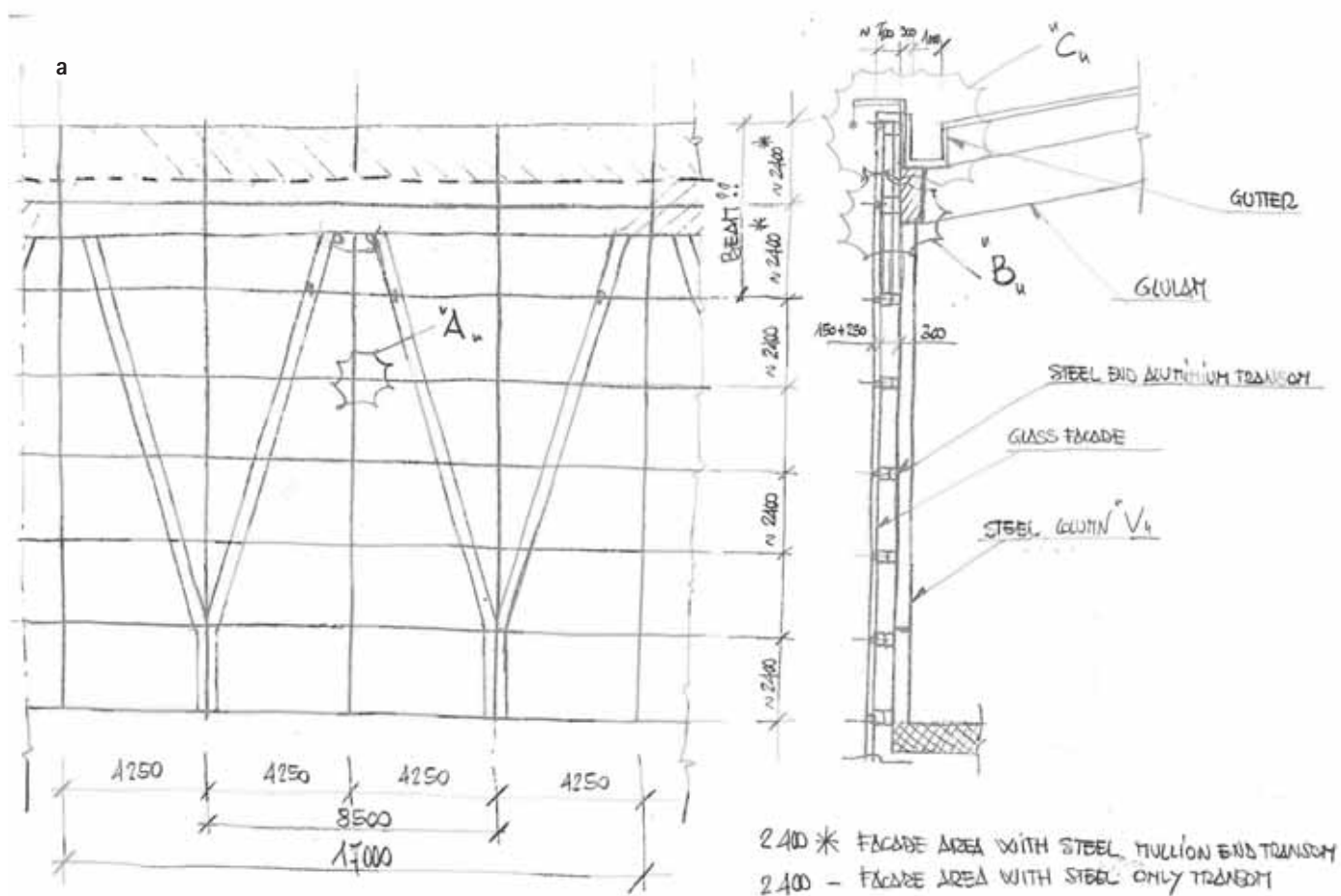
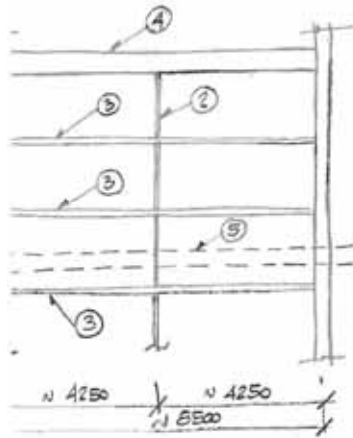
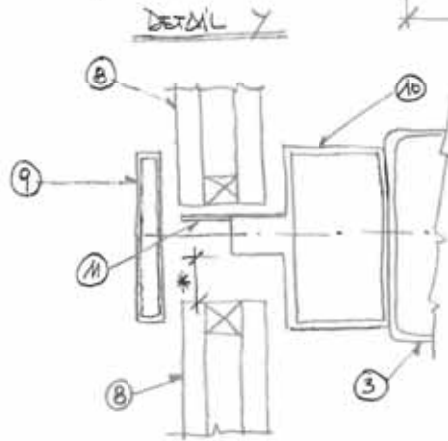
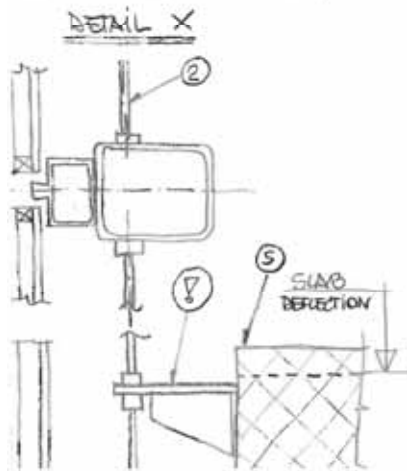


Fig. 18a e. alle pagine seguenti, b, c, d, e - Sketch delle soluzioni di facciate e struttura portante

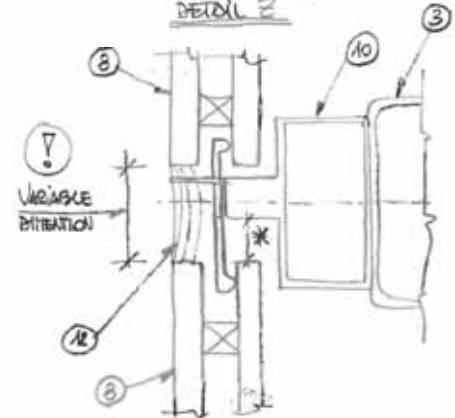
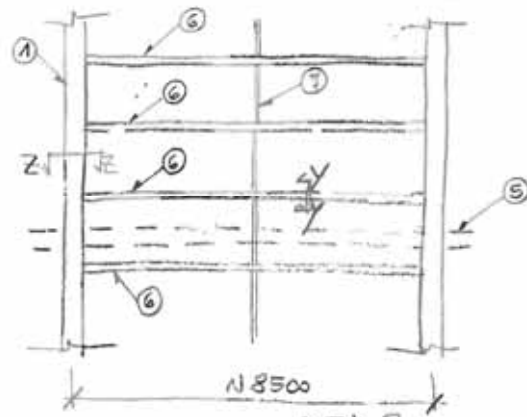
SOLUTION A.



- 1 = STEEL TRUSS/COLUMN
- 2 = TENSION ROD/SMALL TRUSS
- 3 = STEEL TRANSOM
- 4 = STEEL BIG TRANSOM
- 5 = SLAB
- 6 = STEEL TRUSS
- 7 = SMALL TRUSS (ALUMINIUM)
- 8 = GLASS
- 9 = COVERING PROFILE
- 10 = ALUMINIUM TRANSOM
- 11 = GLASS SUPPORT
- 12 = SILICON JOINT

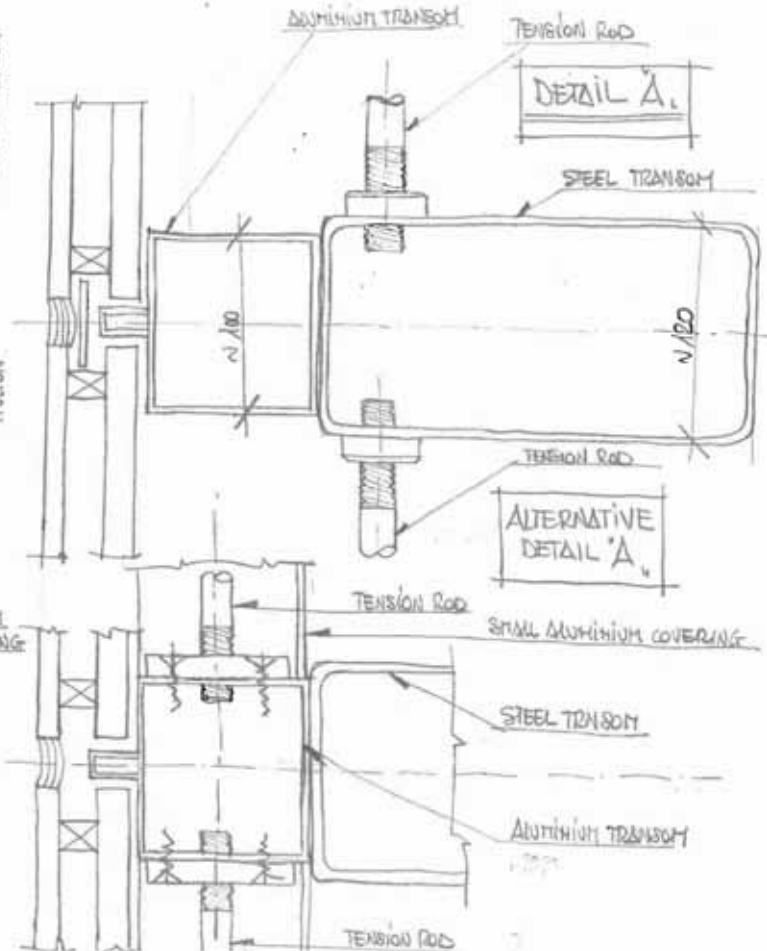
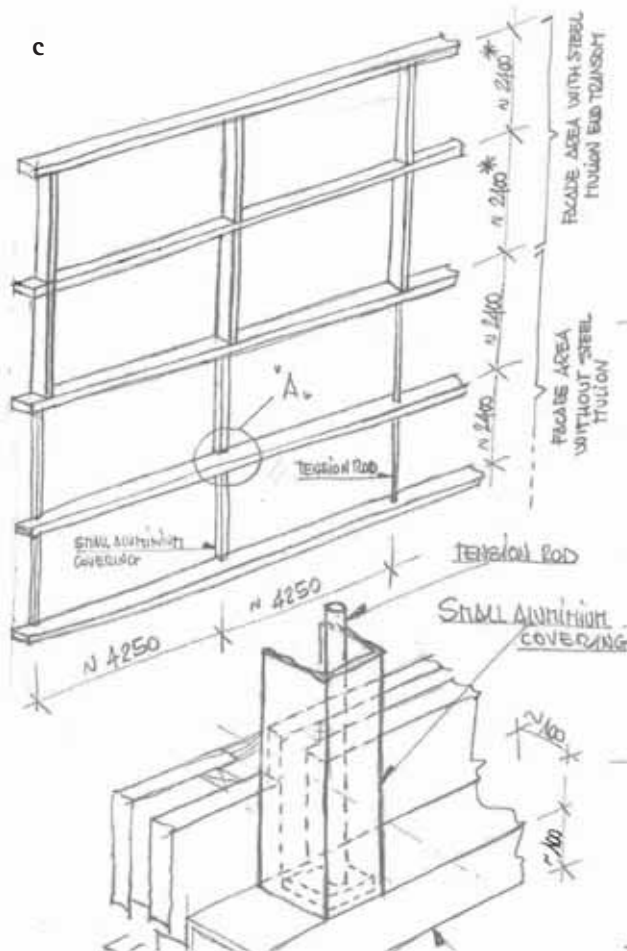


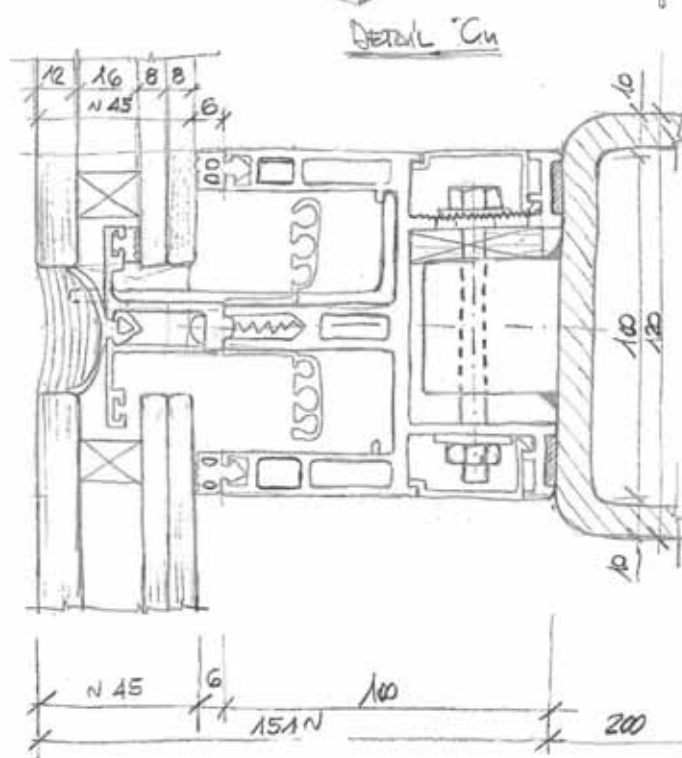
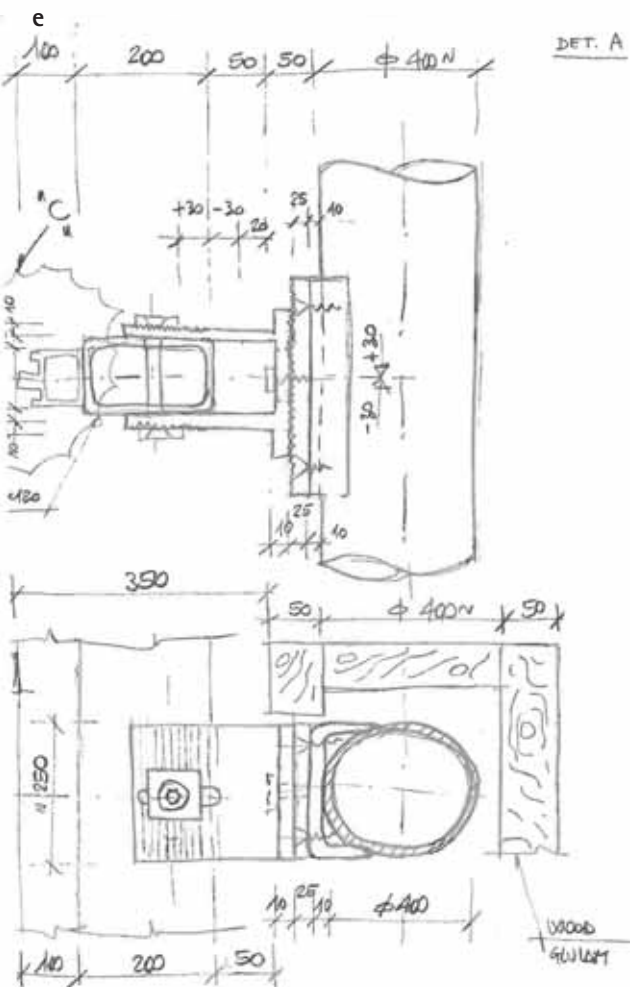
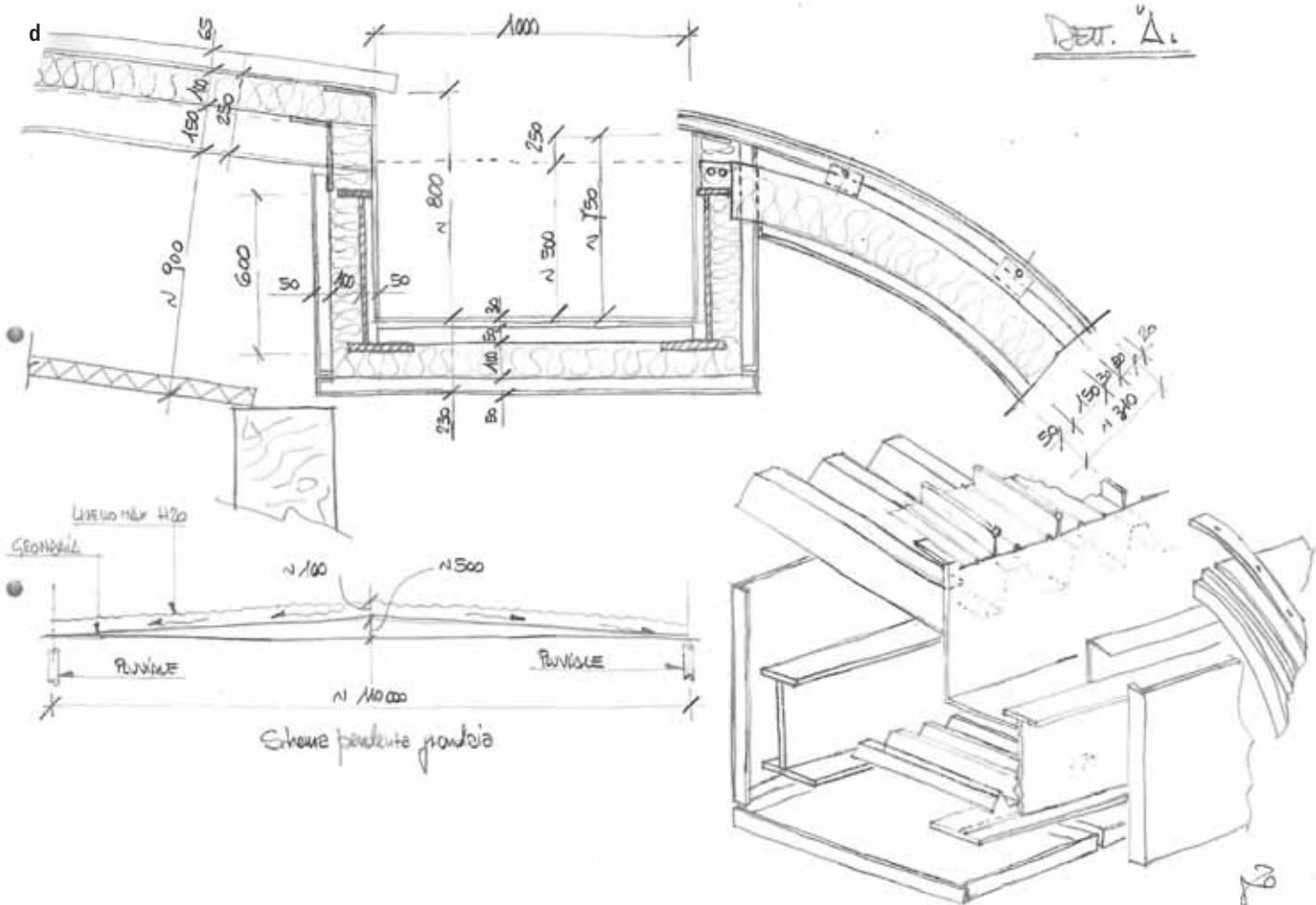
SOLUTION B.



* = VERTICAL JOINT FOR TOLERANCE AND DEFLECTION SLAB

c





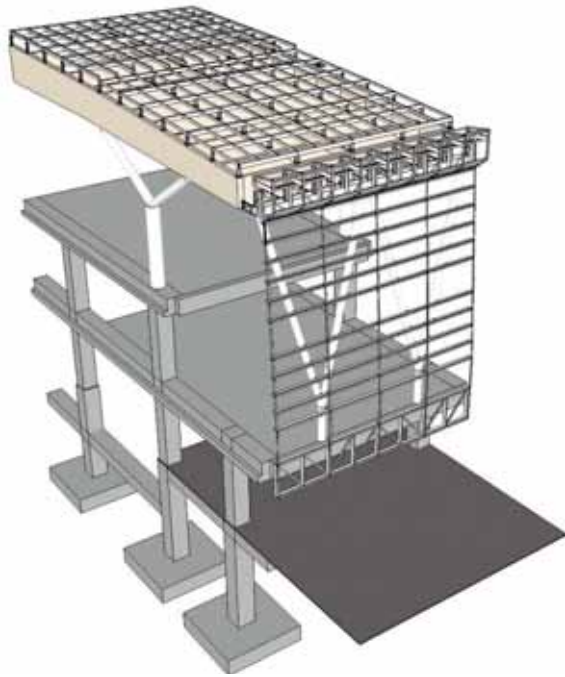


Fig. 19 - Schema assonometrico delle soluzioni di facciate e struttura portante

PROGETTO "C" (DUBAI)

L'aspetto più caratterizzante e particolare di questo progetto, ancora in corso e in fase di *preliminar design*, sono le dimensioni delle facciate, intese non tanto come superficie ma come dimensioni in altezza. I vari corpi di fabbrica che compongono l'intero intervento presentano forme e dimensioni rilevanti soprattutto per le luci libere d'inflexione dei montanti delle facciate. Il sistema costruttivo delle facciate si potrebbe considerare del tipo tradizionale se non fosse che le altezze dei montanti delle facciate presentano altezze variabili fino a 30 m di lunghezza.

Per ragioni derivate dal sistema costruttivo dell'edificio ed in particolar modo della copertura che prevedeva l'impiego di vari materiali quali il calcestruzzo, l'acciaio ed il legno la-

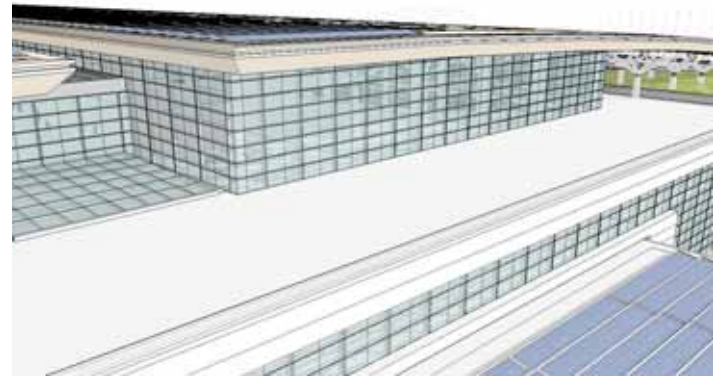


Fig. 20 - Modello architettonico della porzione di facciata analizzata

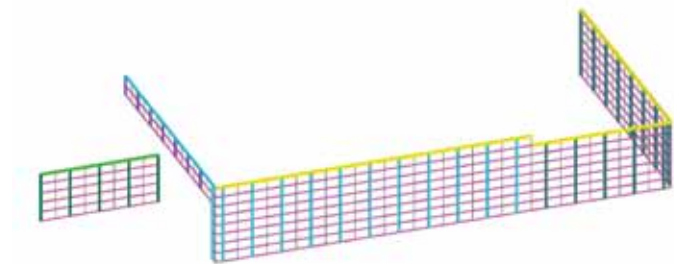


Fig. 21 - Modello di calcolo della facciata avente altezza di circa 16,80 m e lunghezza circa 54,00 m

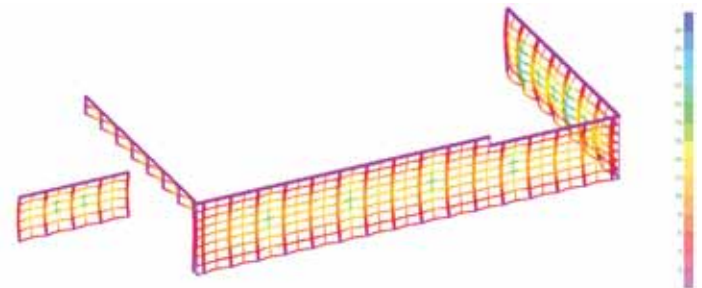


Fig. 22 - Simulazione della deformata della struttura reggi facciata

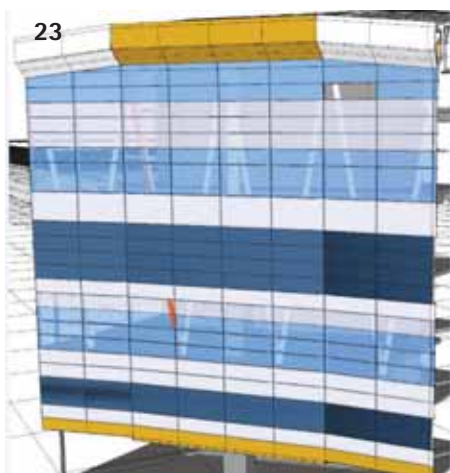


Fig. 23 - Modello architettonico porzione di facciata.

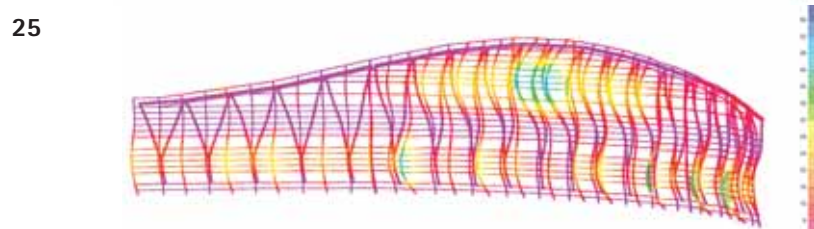
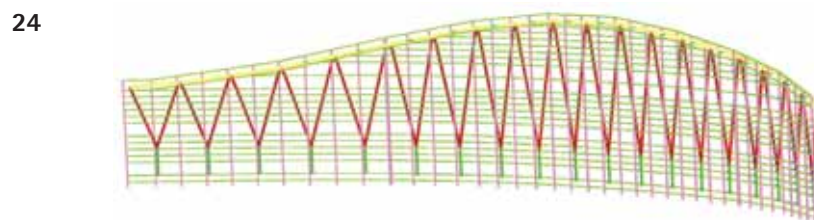


Fig. 24 - Modello di calcolo della facciata avente altezza di circa 31,20 m e lunghezza totale circa 200 m.
Fig. 25 - Simulazione della deformata della struttura reggi facciata

mellare, e visti i notevoli carichi applicati sia per i pesi propri che per le azioni del vento e del sisma, le facciate non sono state progettate come da prassi considerandole appese ai solai intermedi o copertura, bensì appoggiate a terra o meglio al solaio di primo livello. In particolare la scelta di appoggiare le facciate è stata determinata dal fatto che in molte zone le travi di banchina della copertura sono previste in legno lamellare quindi con deformazioni non compatibili con i giunti delle facciate continue. Si è quindi dovuto adottare un diverso schema statico che prevedeva la realizzazione di grandi telai in acciaio, a volte collegati alle colonne in calcestruzzo, che sostenevano i profili in alluminio ed i vetri in maniera indipendente dalle strutture degli edifici.

Date queste caratteristiche si è reso necessario cambiare l'approccio di calcolo delle strutture che sorreggono le facciate continue. La presenza di azioni sismiche a fronte di pareti di grande altezza ha comportato una modellazione strutturale globale e non come da prassi riferita solo alla facciata continua ed ai suoi singoli componenti. Di fatto si è reso necessario rivedere le soluzioni costruttive dell'edificio per limitare movimenti e carichi indotti tra lo stesso e le facciate continue.

Sono stati creati infine due modelli BIM per le facciate, uno strutturale ed uno architettonico. Mediante *script* sviluppati all'interno della Maffeis Engineering S.p.A., dal modello FEM si genera il modello strutturale BIM completo di tutte le informazioni definite nell'analisi strutturale. In questo modo vi è piena conformità e soprattutto corrispondenza degli elementi e dati. Il modello architettonico è generato con sistemi di Visual Programming e successivamente dettagliato e popolato delle informazioni quantitative e qualitative, necessarie per la stima dei costi oltre che per la programmazione delle attività e *planning* di cantiere.

ing. Giuseppe Fusaro

Facade Director, Maffeis Engineering

(Massimo Maffeis, Davide Chesini, Ermanno Fusaro, Andrea Biasi)

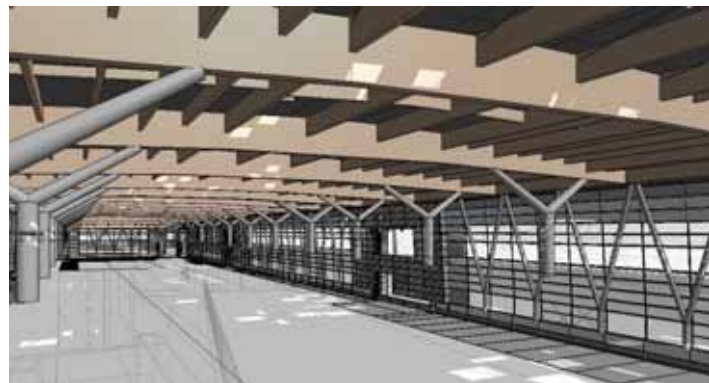


Fig. 26 - Stralcio modellazione 3D vista interna strutture e facciate in ambiente BIM



Fig. 27 - Stralcio modellazione 3D architettonica vista interna facciate in ambiente BIM

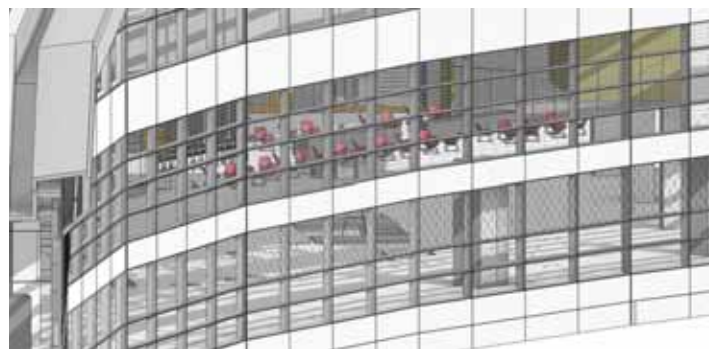


Fig. 28 - Stralcio modellazione 3D architettonica vista esterna facciate in ambiente BIM

Dipartimento Facade Engineering, Maffeis Engineering S.p.A.

Nel panorama delle società di servizi d'ingegneria la società Maffeis Engineering S.p.A. di Solagna (VI) si è sempre distinta per la progettazione di strutture metalliche ed in particolare strutture a cavi con coperture leggere. La forte propensione per l'innovazione e la spiccata capacità di una ampia visione dei servizi dell'ingegneria, conseguenza anche della importante presenza nei mercati internazionali, ha portato il titolare e fondatore ing. Massimo Maffeis alla creazione di un nuovo dipartimento che analizza progetta e studia le facciate continue cioè il Facade Engineering.

Lo sviluppo di questo nuovo dipartimento è stato affidato ad un gruppo di progettisti che possiedono diverse competenze e conoscenze maturate in molti anni di lavoro presso società di costruzione di facciate continue. L'esperienza di queste persone ha fortemente caratterizzato il modo di affrontare e sviluppare i progetti così che, alle nozioni tecniche e ingegneristiche, si è aggiunta l'approfondita conoscenza del prodotto e della cantierizzazione.

Il gruppo oggi è composto da più di quindici persone dedicate esclusivamente alla progettazione delle facciate continue e conta all'interno persone con esperienza trentennale.

PROGETTO DI UN PADIGLIONE INTEGRALMENTE VITREO

costruito mediante telai ibridi TVT di grande luce

DESIGN OF A FULLY GLAZED PAVILION

built with long spanned hybrid TVT frames

Maurizio Froli, Dario Maesano, Francesco Laccone



La richiesta architettonica di una progressiva, completa smaterializzazione delle strutture portanti può essere soddisfatta solo entro certi limiti mediante l'impiego esclusivo di vetro strutturale. Quando a questa esigenza si aggiunge quella del superamento di grandi luci o grandi altezze è indispensabile ricorrere a sistemi costruttivi di tipo ibrido vetro-acciaio nei quali il vetro, fragile ma resistente a compressione, viene posto in associazione simbiotica con l'acciaio, duttile e resistente a trazione. Nella presente nota viene presentato lo studio di fattibilità di un padiglione integralmente vetrato costituito da una serie di telai trasversali ad alta trasparenza tamponati e controventati da pannelli vitrei ibridi precompressi. Le traverse dei portali, aventi circa 20 metri di luce, ed i piedritti, alti circa 8 metri, sono progettati mediante elementi del tipo TVT γ -bis (Travi Vitree Tensegrity). La capacità della costruzione di sostenere in sicurezza elevate condizioni di carico statico e dinamico è dimostrata attraverso analisi numeriche multi-scala tarate sulla base dei risultati sperimentali raccolti nelle campagne di test effettuati sui prototipi TVT β e TVT γ e spinti fino a rottura.

The architectural demand for a complete de-materialisation of load bearing structures can be satisfied only in limited cases with the exclusive structural use of glass. Otherwise, it is necessary to use hybrid glass-steel structures to achieve challenging applications as long spanned or high rise constructions. Hence, glass, fragile but highly compressive resistant, is associated with steel, ductile and tensile resistant. The present research presents the feasibility study for a fully glazed pavilion, made of six TVT γ -bis (Travi Vitree Tensegrity) portal frames and hybrid pre-stressed panels as bracing system. The frames are about 20 m spanned and 8 m height. The structural performance to withstand heavy static and dynamic loads is assessed by means of multiscalar FEM numerical analyses, calibrated on the collapse tests performed on TVT β e TVT γ prototypes.

Fig. 1 - Alcune realizzazioni contemporanee in vetro strutturale: (a) Apple cube, New York, USA [1]; (b) Stazione ferroviaria di Strasburgo, Francia [2]; (c) Centrale trigenerativa Diamante, Parco del Pratolino (FI) [3]

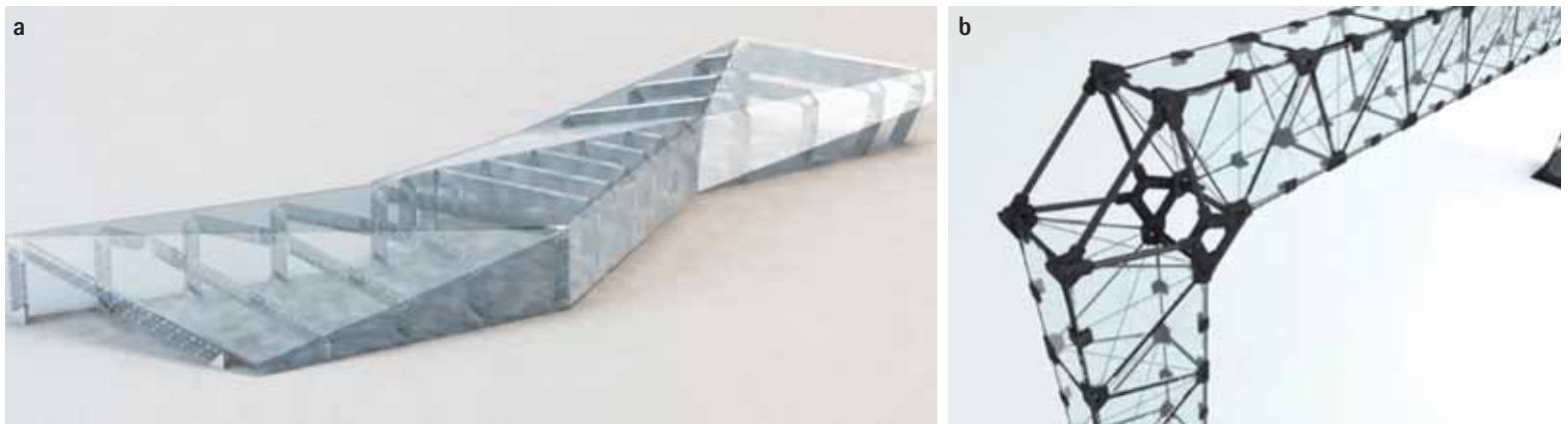


Fig. 2 - Progetto pilota di una Galleria Energetica [13]: (a) vista d'insieme; (b) portale e giunto angolare

1. INTRODUZIONE

Nel secolo scorso, grazie alle visioni di alcuni grandi progettisti e al progresso tecnologico, il vetro si è affermato come materiale da costruzione evolvendo dall'utilizzo in elementi secondari, quali ad esempio i pannelli per finestrate, verso l'impiego in elementi strutturali di più alto impegno statico

come travi, colonne, solai, *curtain walls*, coperture, fornendo così una risposta alla crescente richiesta di immaterialità dell'involucro e delle strutture portanti. Le strutture vitree assumono di conseguenza un valore altamente iconico, talvolta semplicemente per mezzo di forme pure, come nel caso del *glass cube* di Apple [1] (figura 1a).

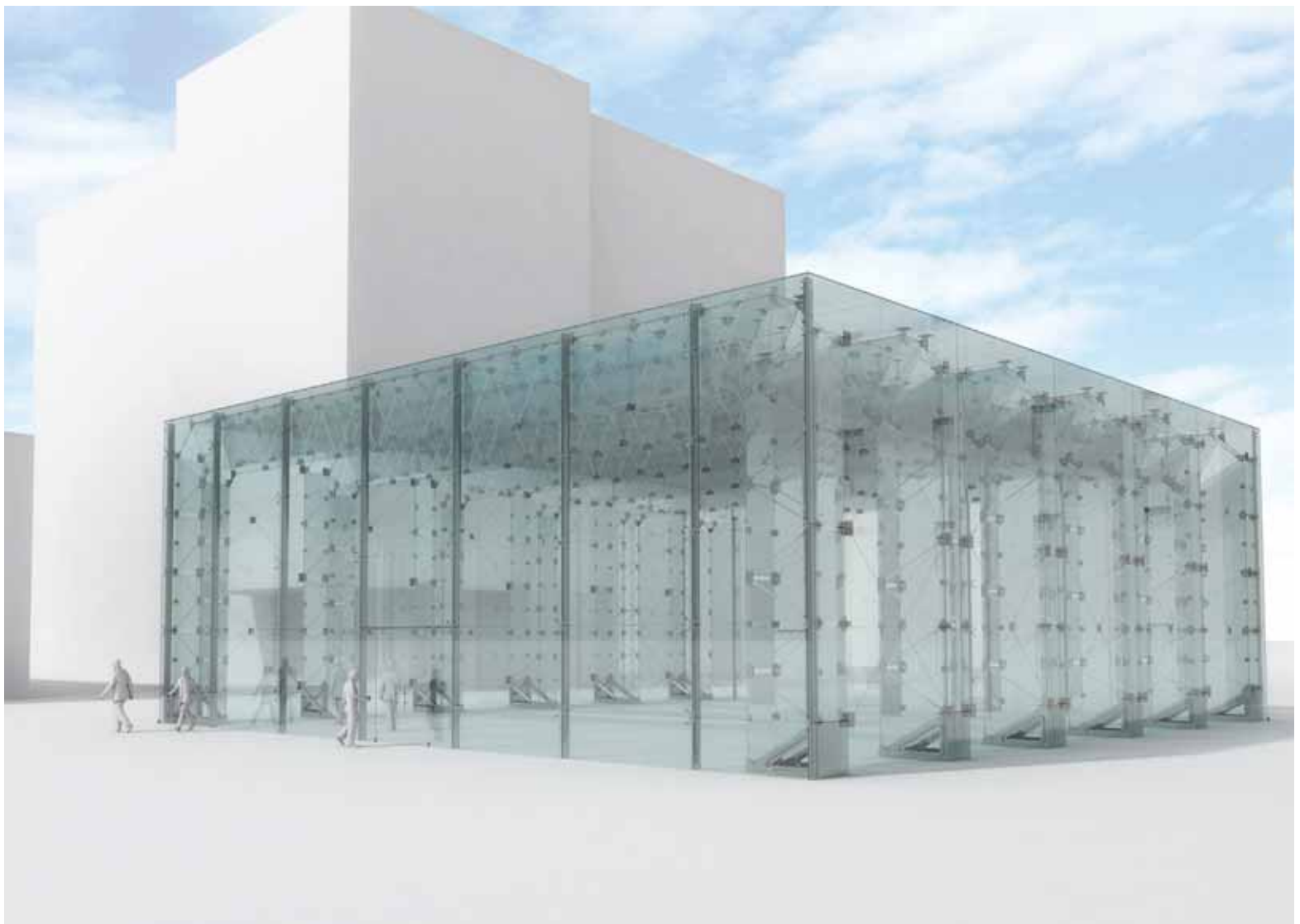


Fig. 3 - Immagine renderizzata del TVT Pavilion

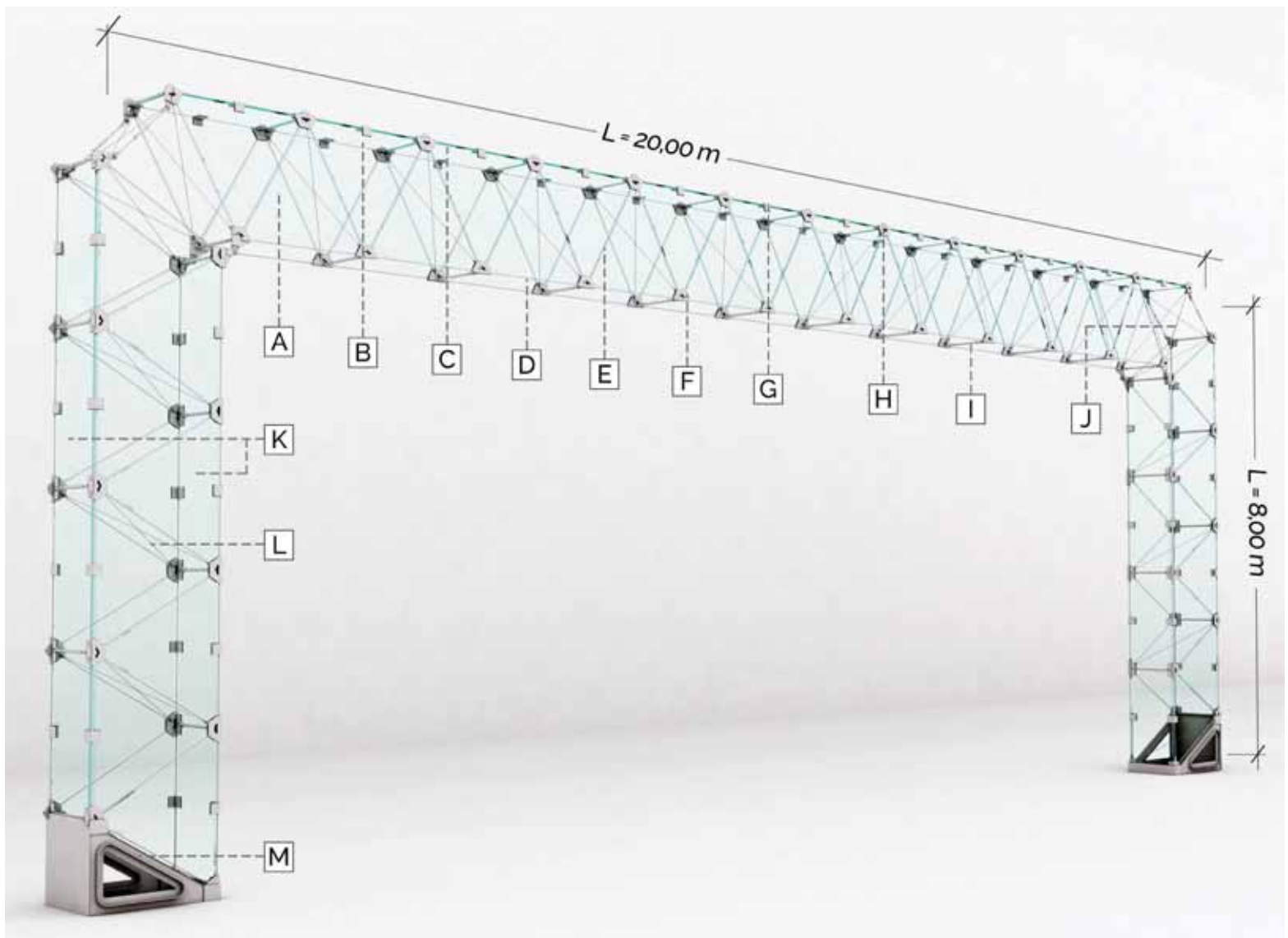


Fig. 4 – Telaio principale in sistema TVT γ -bis: A) pannello vitreo triangolare di parete del traverso (lato 1500 mm, spessore 10+1,52+10 mm); B) pannello quadrangolare di estradosso (724×1497 mm, spessore 10+1,52+10 mm); C) trefolo longitudinale superiore preteso \varnothing 11,3 mm; D) trefolo longitudinale inferiore preteso \varnothing 11,3 mm; E) trefolo diagonale preteso \varnothing 9,3 mm; F) nodo quadrivalente inferiore; G) nodo di fissaggio intermedio; H) nodo quadrivalente superiore, vincolo del controvento di falda; I) collegamento trasversale; J) giunto traverso-piedritto; K) pannello quadrangolare per flangia di estradosso e intradosso (724×1497 mm, spessore 10+1,52+10 mm); L) diaframma preteso; M) giunto di base del piedritto.

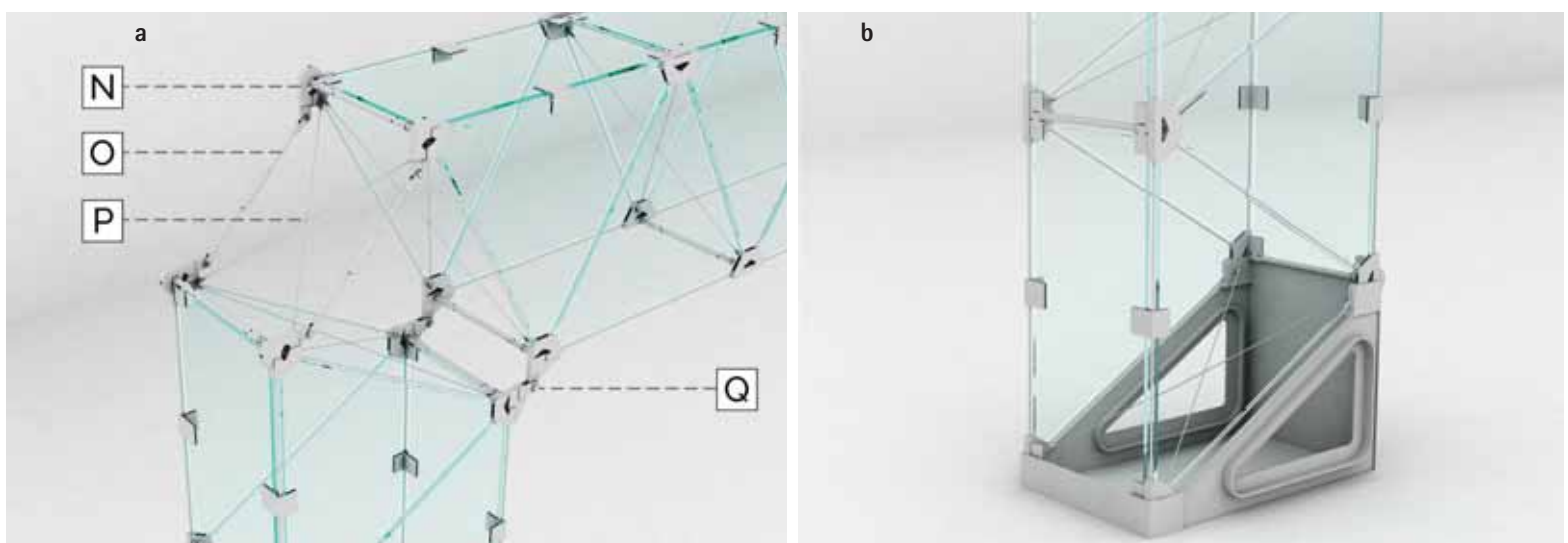


Fig. 5 – Giunzioni del telaio principale in sistema TVT γ -bis (a) traverso-piedritto e (b) base del piedritto: N) Nodo di estremità del traverso; O) barra con estremità a forcella e manicotto di regolazione; P) funi a crociera; Q) giunto a pettine con perno M24

Grazie alla trasparenza, alla durabilità e alle innalzate qualità meccaniche, il vetro strutturale ben si presta anche agli interventi sul costruito. Una nuova 'pelle' trasparente viene spesso usata per avvolgere edifici esistenti, migliorandone di conseguenza anche le prestazioni energetiche o creando nuovi spazi come mostrato nella *hall* della Stazione ferroviaria di Strasburgo [2] (figura 1b). Negli impieghi su manufatti di pregio, l'intervento risulta poco invasivo e ben riconoscibile; il valore dell'esistente viene preservato e all'opera viene conferito un aspetto più moderno.

Come ulteriore vantaggio, l'involucro trasparente può essere dotato di nuove funzioni grazie alla capacità del vetro laminato di incapsulare nell'intercalare dispositivi quali celle fotovoltaiche, sistemi luminescenti, sensori e apparecchi programmabili. La centrale trigenerativa Diamante testimonia questo tipo di progettazione integrata in cui i pannelli fotovoltaici *glass-embedded*, corredati di un opportuno sistema di accumulo, colmano il fabbisogno energetico dell'illuminazione pubblica del parco del Pratolino a Firenze [3] (figura 1c).

Tuttavia, le modalità di crisi fragile e la scarsa e aleatoria resistenza a trazione del vetro lo rendono da solo inadatto a superare le grandi luci richieste nelle moderne costruzioni e perciò è necessario ibridarlo con materiali metallici o più in generale duttili, sfruttandone l'azione composita [4]. L'effetto dell'introduzione del rinforzo metallico è duplice: in primo luogo, agisce unendo i lembi di eventuali lesioni in modo analogo alle barre di acciaio nel calcestruzzo fessurato, e inoltre scongiura la crisi fragile e perciò improvvisa dell'elemento. Se il componente metallico viene anche preteso, in modo da esercitare una precompressione nel vetro, la resistenza apparente a trazione di quest'ultimo risulta innalzata (elementi ibridi ad armatura attiva). I vantaggi connessi all'adozione dell'ibridismo sono stati messi in luce da numerose ricerche ed esperienze sperimentali: travi ibride con cavo esterno a singola anima vitrea [5] e a doppia anima [6], travi vitree con rinforzo metallico incollato lungo le fibre tese [7], travi ibride con sezione a T e cavo parabolico [8], travi a sezione scatolare rinforzata [9]. Nonostante le ottime prestazioni attestate, gli esempi citati evidenziano come la ricerca, focalizzandosi prevalentemente sullo sviluppo di travi, si sia limitata all'analisi di sistemi piani. Di conseguenza si riscontra ad oggi la mancanza di sperimentazioni su sistemi costruttivi in grado di estendere il campo di azione alle geometrie tridimensionali e alle grandi luci.

All'interno del filone di ricerca riguardante l'ibridismo vetro-acciaio si collocano le Travi Vitree Tensegrity (TVT), ideate e sviluppate presso l'Università di Pisa, proprietaria dei relativi diritti brevettuali. Questi elementi costruttivi, la cui progettazione è ispirata ai principi del *Fail-Safe Design* (FSD) [10],

aggiungono all'idea dell'ibridismo e della precompressione anche quella della segmentazione della compagine strutturale, la cui integrità globale è garantita esclusivamente mediante la presollecitazione. In tal modo, oltre ad ottenere allo SLU modalità di collasso duttili, superato lo SLE di decompressione viene inibita la formazione delle fessure nel vetro a causa del distacco dei nodi di acciaio dai pannelli vitrei, i quali si sottraggono alla loro messa in trazione [11], [12].

L'intento di progettare tramite il sistema modulare TVT un'opera di alto valore iconico, energeticamente sostenibile e standardizzata, ha portato all'ideazione della Galleria Energetica [13] (figura 2). La ricerca morfologica di questo padiglione è stata influenzata da esigenze architettoniche, energetiche e di *comfort*, che hanno condotto alla definizione di un organismo fortemente sviluppato longitudinalmente e caratterizzato da diverse variazioni nell'inclinazione delle falde di copertura. La soluzione strutturale adottata, dovendo garantire adattabilità e serialità, si è basata sull'utilizzo di portali in sistema TVTγ diversi tra loro per forma e altezza al fine di rispondere ai cambiamenti in sezione e in pianta.

Le giunzioni trave-piedritto sono state concepite tramite aste tubolari a sezione circolare di lunghezza variabile, regolabili per avvitamento di adeguati manicotti, in modo da consentire la formazione di angoli variabili fra piedritto e trasverso. Mentre nel proprio piano i telai sono sufficientemente rigidi e resistenti, la funzione di controvento longitudinale è assolta da apposite aste telescopiche in acciaio, tamponate da pannelli in vetro, i quali non sono perciò chiamati a svolgere alcuna funzione stabilizzante.

Nell'ambito delle principali tendenze di ricerca relativa all'ibridismo vetro-acciaio, il sistema costruttivo della Galleria Energetica è stato ulteriormente sviluppato attraverso la definizione di un nuovo modello progettuale. Obiettivo del presente lavoro, quindi, è stato quello di investigare la fattibilità architettonica, strutturale e tecnologica di un padiglione trasparente denominato *TVT pavilion*, basato sulle seguenti innovazioni:

- L'uso di un telaio principale evoluto di tipo TVTγ-bis di luce 20 metri circa, derivato dalla TVTγ mediante la sostituzione delle barre pretese con trefoli che innalzano trasparenza, resistenza allo SLU e duttilità;
- La semplificazione e la smaterializzazione del giunto angolare fra trasverso e montante, sostituendo le aste tubolari con barre regolabili, nonché del giunto alla base dei montanti;
- Un sistema di controventamento di falda e di parete trasparente e diffuso, costituito da pannelli ibridi, precompressi e modulari.

Sul piano analitico, lo studio teorico del comportamento meccanico del *TVT Pavilion* è stato affrontato a più livelli, dal

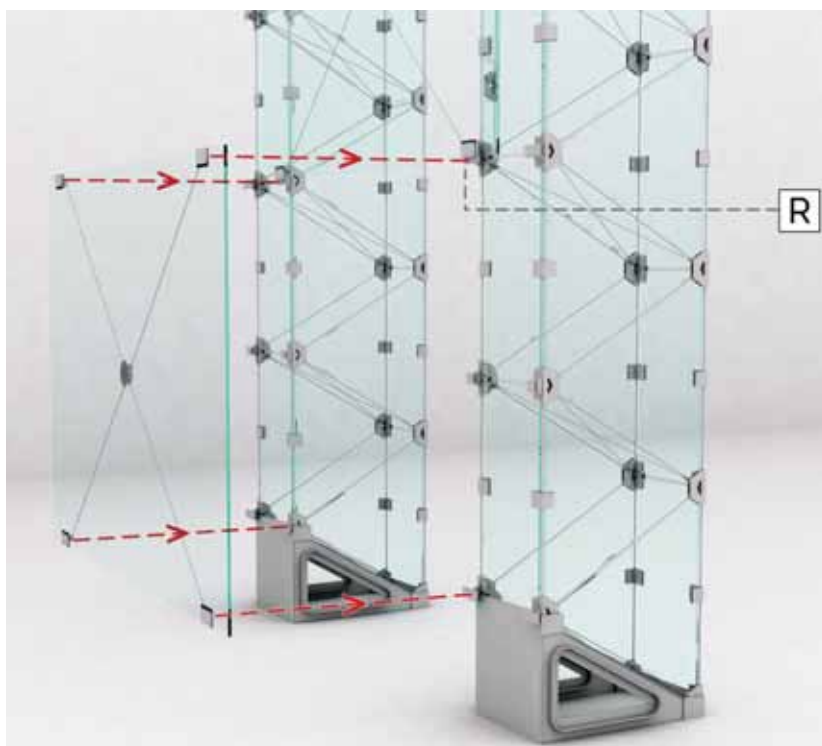


Fig. 6 – Sistema di controvento ibrido longitudinale di parete: R) dispositivo di ancoraggio delle estremità del pannello di controvento al nodo del telaio TVT γ -bis mediante tacco e piolo

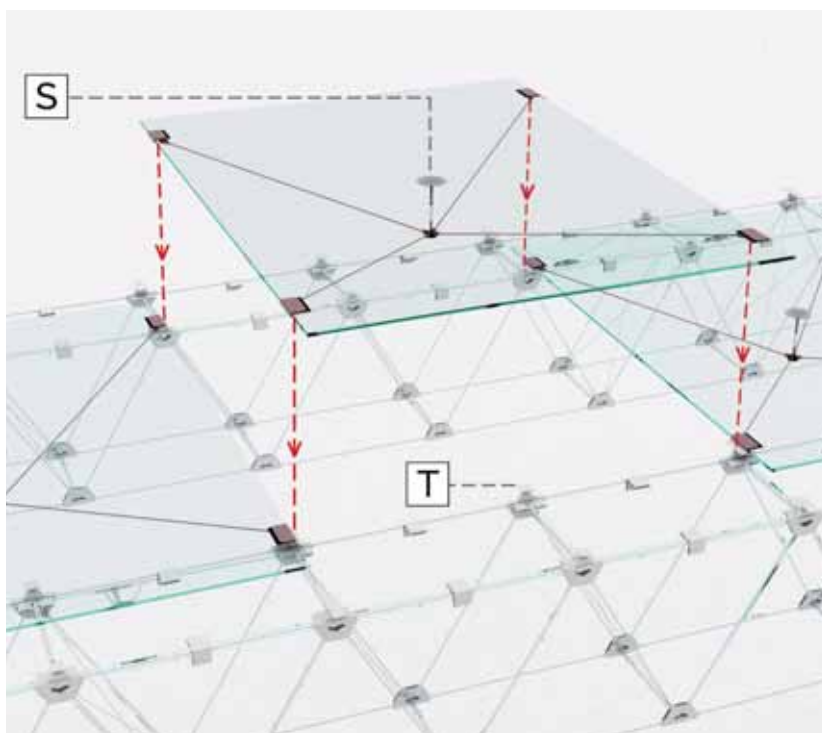


Fig. 7 – Sistema di controvento ibrido longitudinale di falda: S) puntone metallico; T) nodo monolaterale di appoggio intermedio per il pannello

locale al globale, superando le difficoltà che avevano relegato le investigazioni strutturali della Galleria Energetica al solo telaio. Dopo la descrizione strutturale e geometrica del padiglione e delle sue componenti, sono presentate nel seguito le strategie di modellazione numerica e di analisi, accompagnate dalla discussione dei principali risultati.

2. DEFINIZIONE GEOMETRICA E STRUTTURALE DEL TVT PAVILION

Il padiglione ha la forma di un parallelepipedo a pianta rettangolare lungo 21940 mm, largo 20595 mm ed alto 8076 mm [14]. L'intero involucro vitreo è sostenuto da 6 telai di luce netta 20395 mm, posti ad interasse di 4300 mm. I principali elementi strutturali costituenti il *TVT Pavilion* sono dunque: i telai trasversali, la struttura di controventamento di falda e di parete, le facciate anteriore e posteriore (figura 3).

2.1 Telai trasversali

Il telaio trasversale di base è un portale monopiano e monocam-pata che utilizza il sistema costruttivo denominato TVT γ -bis sia per il traverso che per i due piedritti (figura 4). In questo sistema costruttivo, l'impiego di trefoli come armatura longitudinale e di parete, in sostituzione delle barre pretese, evita la presenza di punti di giunzione intermedi e conseguentemente la diminuzione di area resistente. Inoltre, grazie all'elevato limite di snervamento del trefolo, è necessaria una minor sezione trasversale con notevoli guadagni sia in termini meccanici che di trasparenza. La progettazione è tale da mantenere i vantaggi allo SLU e allo SLE manifestati dai precedenti sistemi TVT e confermati da numerose evidenze sperimentali.

Il traverso in sistema TVT γ -bis ha una sezione a U rovescia composta da pannelli vitrei: ciascuna delle due anime segmentate, distanziate di 800 mm, è costituita da una successione di 23 pannelli triangolari equilateri di lato 1500 mm organizzati in schema *Warren* ([A] di figura 4), mentre la flangia orizzontale superiore è realizzata da una successione di 12 pannelli quadrangolari ([B] di figura 4). La distanza trasversale tra gli appoggi superiori della trave è di 18856 mm, l'altezza netta della stessa è di 1401 mm. Le due pareti gemelle d'anima sono accoppiate mediante traversi a sezione tubolare [I] avvitate ai 25 nodi metallici, opportunamente forniti di perni. Come provato dalle successive analisi, non si è reso necessario l'inserimento di pannelli rettangolari vitrei al lembo compresso delle estremità del traverso. Perciò è stata mantenuta la sezione a U rovescia per l'intero sviluppo della trave, beneficiando di un ridotto peso e della semplicità tecnologica e di assemblaggio.

I piedritti sono dotati di una sezione scatolare vitrea in sistema TVT γ -bis per un'altezza di 7271 mm. Ciascuna delle due pareti parallele al piano medio del telaio è composta da 8 lastre triangolari vitree connesse mediante 10 giunti metallici e altrettanti collegamenti trasversali, mentre le flange ([M] di figura 4) sono entrambe realizzate da 4 lastre rettangolari.

Nel giunto agli angoli del portale (dettaglio [J] di figura 4) i 4 nodi di estremità della trave sono collegati ai rispettivi 4 nodi dei piedritti (figura 5a). All'estradosso, il collegamento è ottenuto tramite una coppia di barre con estremità a forcella e perno M14, regolabili centralmente mediante un manicotto filettato (dettaglio [O] di

figura 5). Una coppia di funi a crociera aumenta la rigidezza torsionale (dettaglio [P] di figura 5a). All'intradosso, il collegamento dei nodi di estremità avviene tramite un giunto a pettine con perno M24, eccentrico di 65 mm rispetto ai nodi TVT γ -bis (dettaglio [Q] di figura 5a). Graduando opportunamente la lunghezza delle barre di estradosso si possono ottenere ampiezze dell'angolo tra piedritto e montante comprese tra 60° e 120°, con possibilità di soddisfare numerose esigenze architettoniche.

Il giunto alla base dei piedritti (figura 5b) trasmette alla fondazione le azioni del portale e risolve il problema del passaggio dal piano di posa alla geometria segmentata triangolare. Una coppia di piastre di diversa altezza ripristina la continuità delle flange di intradosso ed estradosso; le anime, invece, si compongono di una coppia di piastre triangolari con foro triangolare ometotico irrigidito da una nervatura trasversale. In tal modo, pur innalzando il rapporto tra parti vuote e piene della connessione, si crea una maglia chiusa triangolare molto rigida la cui sezione resistente è cruciforme.

La sequenza costruttiva del *TVT Pavilion* avviene secondo le seguenti fasi:

- Posizionamento dei pilastri e loro precompressione;
- Assemblaggio a piè d'opera e presollecitazione delle traverse fino alla compensazione della freccia da peso proprio strutturale e portato;
- Installazione delle traverse sui pilastri e loro vincolamento;
- Montaggio dei pannelli verticali laterali;
- Montaggio delle lastre di copertura.

2.2 Il controventamento di falda e di parete

Il rivestimento esterno del *TVT Pavilion* funge anche da controventamento longitudinale (figure 6 e 7) ed è realizzato da una serie di pannelli vitrei, ibridi e precompressi, solidali ai portali. La strategia adottata per il contrasto delle azioni orizzontali è stata quella del controventamento diffuso, rispondente ai principi di ridondanza e robustezza del FSD. Infatti, tutti i pannelli sono contemporaneamente attivati all'insorgenza dell'azione e trasferiscono la stessa in modo diffuso ai telai. Inoltre, in caso di accidentale rottura di uno di essi, i rimanenti pannelli sono in grado di assorbire il sovraccarico aggiuntivo con un percorso alternativo.

Il pannello rettangolare trasparente traduce in soluzione ibrida vetro-acciaio il classico controvento metallico di campo a crociera: una lastra rettangolare vitrea HSG a tre strati (due strati strutturali da 8 mm ed uno strato sacrificale esterno da 5 mm; intercalare in PVB da 1,52 mm) viene precompressa mediante una coppia di cavi diagonali pretesi incrociati, le cui estremità si installano ai vertici del pannello. In tal modo, lungo le diagonali del pannello vengono indotti dei flussi di compressione in grado di compensare le trazioni indotte dall'esterno. Inoltre, le armature metalliche intervengono ad assorbire le trazioni diagonali nel caso di fessurazione accidentale del pannello vitreo.

Il trasferimento delle azioni mutue tra pannello vitreo e crociera metallica avviene all'interfaccia di appositi incavi realizzati nel vetro, i quali consentono l'ingresso di un tacco

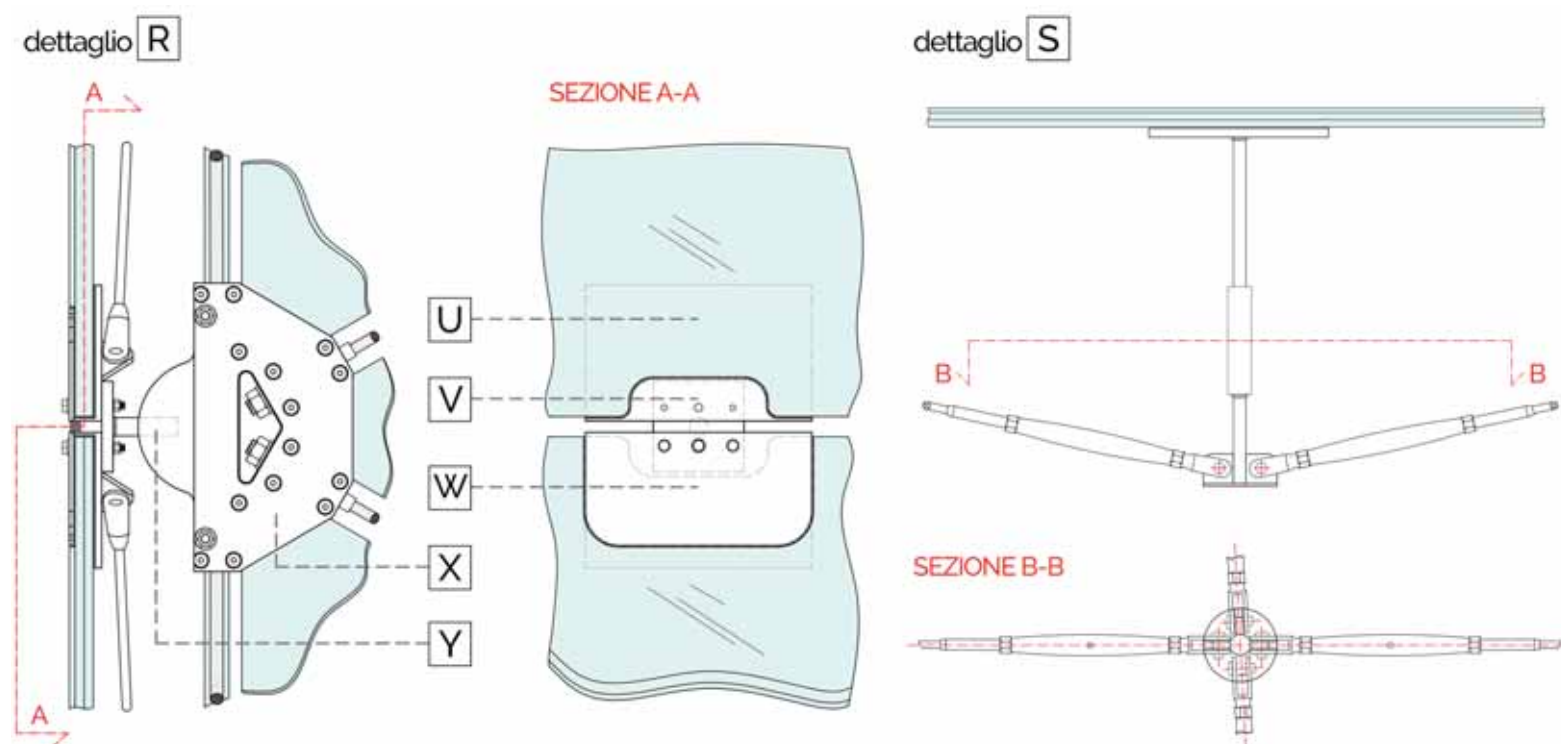


Fig. 8 – Viste di dettaglio dei pannelli di controvento: U) Pannello vitreo con incavo sagomato raggiato; V) tacco di contrasto in acciaio saldato su piastra fornita di perno per il tirante; W) piastra di chiusura; X) nodo del telaio TVT γ -bis; Y) piolo in acciaio

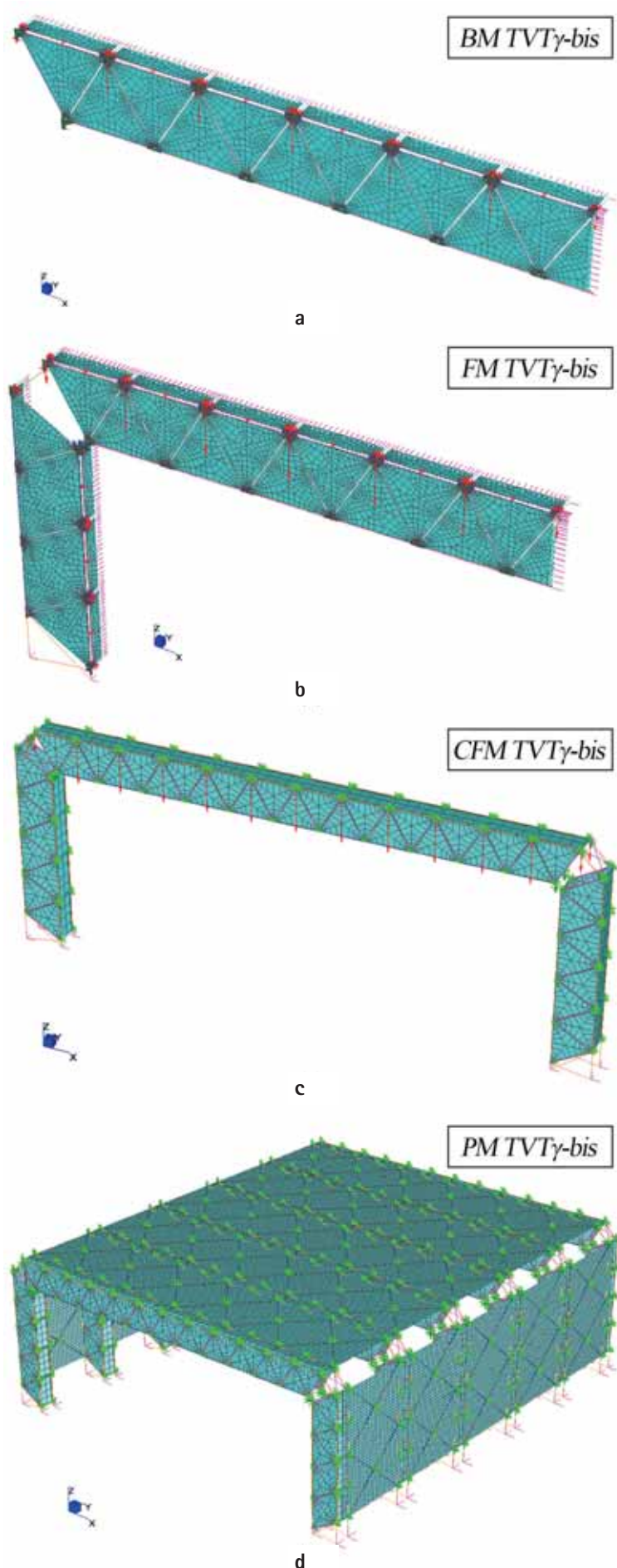


Fig. 9 - Modelli FEM:
 (a) BM TVT γ -bis; (b) FM TVT γ -bis; (c) CFM TVT γ -bis; (d) PM TVT γ -bis

metallico di contrasto (dettaglio [W] di figura 8). La funzione di questo dispositivo meccanico è la stessa che il nodo esplica nel telaio, ovvero trasferisce per semplice contatto unilaterale le tensioni di compressione al vetro. La coppia di cavi viene fissata all'intradosso del pannello tramite una piastra saldata al di sotto del tacco. Dunque, il pannello vitreo viene presollecitato a piè d'opera. La posa del pannello di controvento avviene per bullonatura di questi contrasti a una piastra dotata di piolo metallico (dettaglio [X] di figura 8), quest'ultimo avvitato ai nodi di estradosso dei telai TVT γ -bis sottostanti.

I controventi di falda e quelli di parete si differenziano per la posizione dei cavi a crociera rispetto al pannello vitreo e dunque per la modalità di precompressione. Nei pannelli del controventamento di parete, le barre diagonali pretese agiscono in un piano aderente a quello della lastra di vetro (figura 6). Nel punto d'intersezione delle barre è incollata al vetro per laminazione una borchia metallica allo scopo di favorire una migliore redistribuzione delle tensioni lungo il piano medio.

In copertura, a causa della presenza dei carichi verticali in fase d'esercizio (figura 7), il pannello di vetro non viene precompresso parallelamente al suo piano medio bensì secondo uno schema statico assimilabile a quello di una trave sbadacchiata. Le barre diagonali si incontrano all'estremo inferiore di un puntone metallico a sezione circolare, posto in corrispondenza del baricentro del pannello vitreo. La pretensione dei tiranti diagonali innesca nel sistema una precompressione di entità tale da favorire una monta nella mezzeria del pannello. Quest'ultima è in grado di annullare la freccia prodotta dal peso proprio. Al fine di escludere eccessive concentrazioni di tensione, tra l'estremo superiore del puntone e la lastra di vetro è incollato per laminazione un piatto circolare di diametro 200 mm (dettaglio [S] di figura 8). Inoltre, in corrispondenza della mezzeria del lato minore del pannello di controvento, il carico fuori dal piano è ulteriormente supportato da un dispositivo di appoggio a piastra e piolo avvitato sul nodo di portale sottostante (dettaglio [T] di figura 7).

Così composti, i dispositivi di controventamento risultano completamente trasparenti, esclusa la minimale presenza dei cavi a crociera e del rispettivo collegamento baricentrico. Gli stessi pannelli fanno parte dell'involucro e sono attrezzabili in maniera integrata in modo tale da garantire, oltre ai requisiti strutturali, le necessarie capacità di isolamento, schermatura, tenuta all'acqua ed eventuale produzione energetica e funzioni ICT. Compatibilmente con le esigenze di modularità e standardizzazione, al fine della riduzione dei costi di produzione, sono state definite solo 2 tipologie di lastre in copertura e 2 per le pareti laterali.

2.3 Le facciate frontali

Le facciate frontali tamponano il primo e l'ultimo telaio tra-

sversale TVT γ -bis. Ciascuna di esse ricopre una superficie di circa 160 m² (20595×8076 mm) e si compone di 40 pannelli raggruppabili in 4 tipologie di lastre standardizzate. La parete è stata progettata come una superficie continua vetrata sorretta da montanti in alluminio a sezione ellittica nervata. Un'asolatura in testa a ogni montante garantisce il trasferimento alla struttura delle sole azioni fuori dal piano della facciata e contemporaneamente esclude il trasferimento di forze verticali. Gli interassi dei piedritti sono scanditi in funzione della geometria del telaio TVT γ -bis.

Ogni pannello di vetro è supportato puntualmente ai vertici mediante un sistema commerciale tipo *spider*. Un giunto di silicone strutturale da 15 mm consente le deformazioni e le tolleranze tra i diversi elementi.

3. MODELLAZIONE E ANALISI

L'analisi del comportamento meccanico, finalizzata a verificare la resistenza e la stabilità sia dell'opera globale che dei suoi singoli componenti, è stata effettuata mediante modelli numerici agli elementi finiti (FEM). Sono stati realizzati modelli numerici multiscala, locali e globali, a partire dallo studio della trave e del telaio, fino alla definizione dell'intera struttura. Nei diversi modelli sono state condotte analisi elastiche lineari e non lineari introducendo non linearità materiche, vincolari e geometriche. I principali modelli globali realizzati sono riportati in figura 9 e qui di seguito elencati:

a) *BM TVT γ -bis (Beam Model)*: modello tridimensionale di un

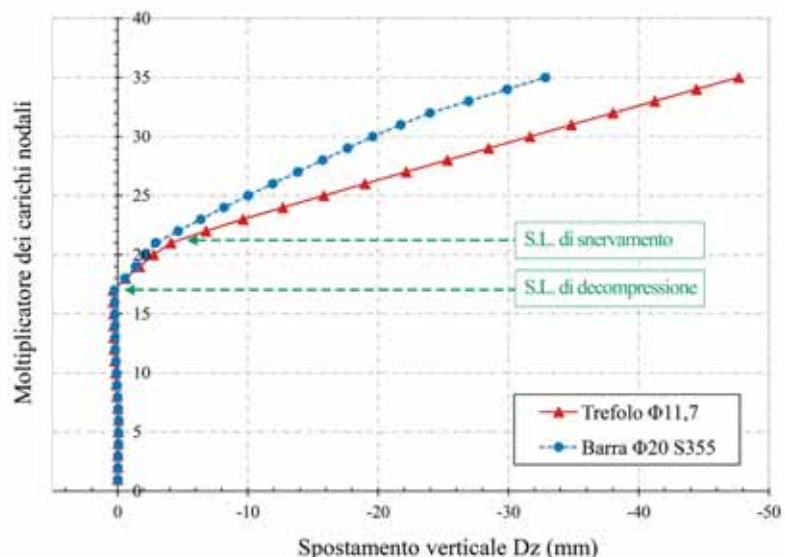


Fig. 10 - Confronto tra travi armate TVT γ -bis con armatura attiva a barre pretese e a trefoli pretesi: moltiplicatore di carico-spostamento in mezzeria

quarto di trave, ottenuto in base a considerazioni di simmetria geometrica e dei carichi, usato per interpretare il comportamento di trave incernierata ai nodi di estremità e per studiare i fenomeni di instabilità.

b) *FM TVT γ -bis (Frame Model)*: modello tridimensionale comprendente un quarto di trave e metà piedritto, simmetrico rispetto alla mezzeria del portale e al piano medio del telaio, utilizzato per studiare il comportamento globale dell'insieme trave-piedritto. Esso è, in particolare, finalizzato alla de-

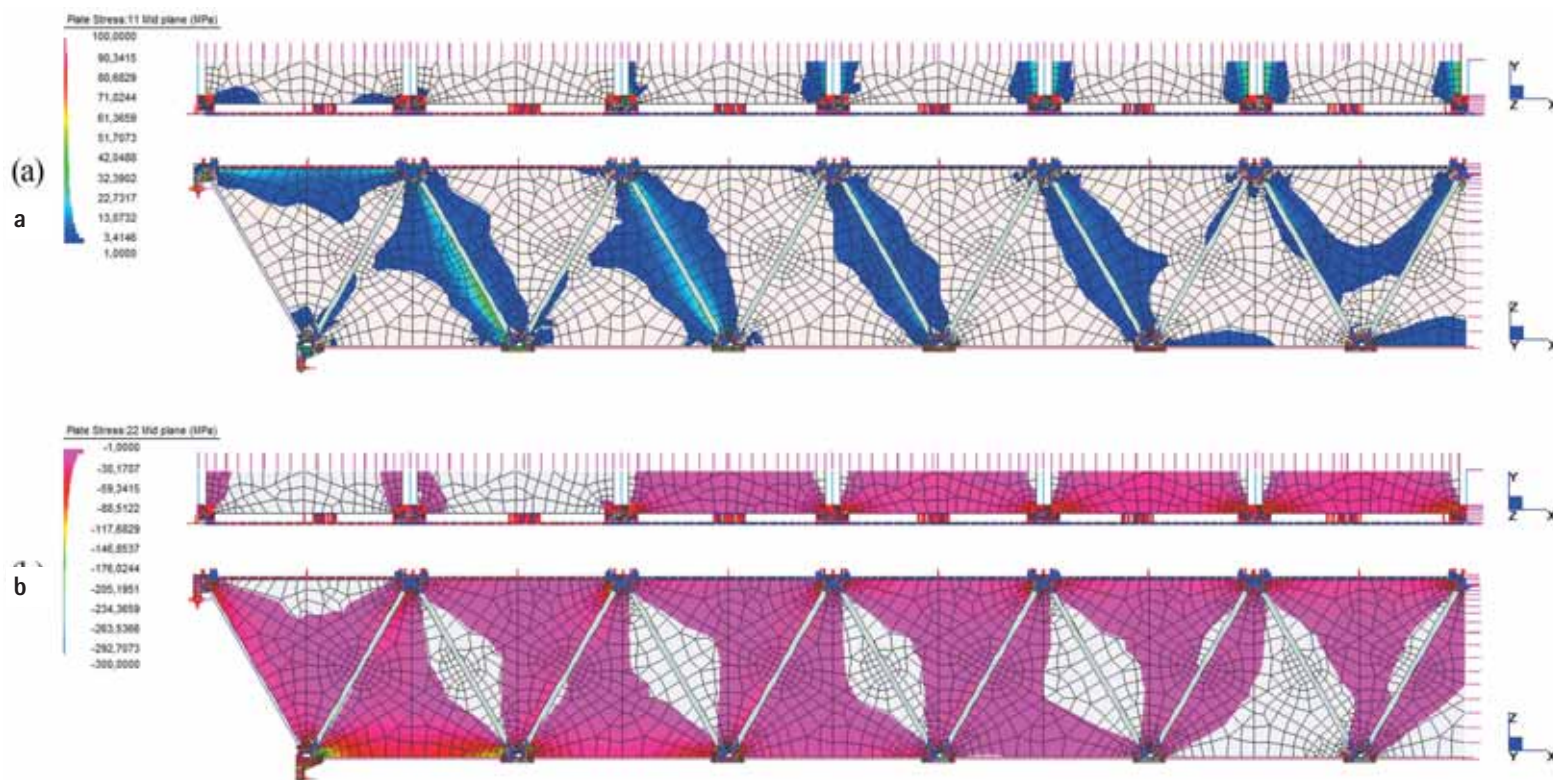


Fig. 11 - BM TVT γ -bis, risultati analisi statica non lineare allo SLU: (a) tensioni di trazione; (b) tensioni di compressione

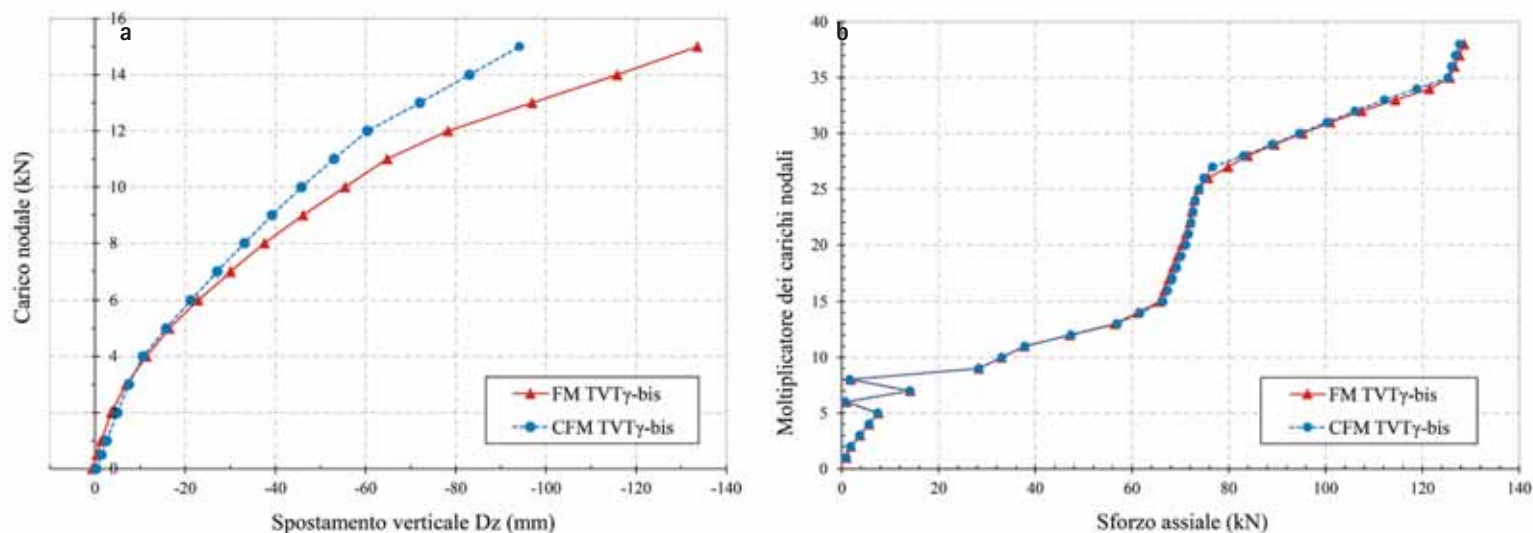


Fig. 12 – Confronto tra i risultati ottenuti con i due modelli FM TVT γ -bis e CFM TVT γ -bis: (a) grafico spostamento in mezzeria-moltiplicatore dei carichi nodali; (b) sforzi assiali agenti nella mezzeria del corrente inferiore.

finizione ed alla valutazione meccanica del giunto d'angolo del portale.

c) *CFM TVT γ -bis (Complete Frame Model)*: modello tridimensionale rappresentativo dell'intero telaio, semplificato ma calibrato rispetto al precedente in modo da ottenere le stesse prestazioni statiche ed essere utilizzato come telaio del PM TVT γ -bis.

d) *PM TVT γ -bis (Pavilion Model)*: modello globale dell'intera opera costituito da 6 CFM TVT γ -bis e dai pannelli di involucro esterno.

Le imperfezioni (geometriche, del sistema, della distribuzione dei carichi), che usualmente vengono tradotte in un campo di spostamenti anelastici equivalente, non sono state prese in considerazione nelle modellazioni appena citate ma unicamente nella fase di dimensionamento della trave. Infatti, negli studi dei precedenti sistemi TVT, si è osservato che i risultati del modello numerico sono scarsamente sensibili alle imperfezioni. Infine, i pannelli sacrificali sono considerati solo con la loro influenza in termini di peso, mentre, a favore di sicurezza, l'*interlayer* dei pannelli laminati è stato modellato solo come un vincolo fuori dal piano trascurandone la rigidità a taglio.

3.1 Modello BM TVT γ -bis

Nella fase preliminare, la trave è stata dimensionata secondo lo schema *Warren* allo scopo di localizzare la distribuzione delle compressioni e delle trazioni attese nei correnti e diagonali. Successivamente, è stato costruito un modello tridimensionale con elementi *beam* quali aste, *cable* come trefoli, *plate* per i pannelli e varie tipologie di *link* per modellare i contatti e le parti rigide, sulla base delle acquisite esperienze. Lo spessore delle lastre vitree di 10+1,52+10 mm è stato validato da una

opportuna analisi di *buckling* non lineare in un modello locale di concio di trave composto da due pannelli triangolari di parete ed uno rettangolare superiore.

Nella modellazione in esame, i vincoli assegnati al sistema sono di cerniera in corrispondenza dei nodi metallici di estremità e vincoli a bipendolo lungo tutti i punti dei piani di simmetria, ovvero piano trasversale in mezzeria della trave e piano medio longitudinale. Il peso proprio della struttura è calcolato automaticamente a partire dalla densità dei materiali, mentre, per le analisi non lineari, i carichi esterni applicati ai nodi sono incrementati ad assegnati intervalli di carico (figura 9a).

Una apposita analisi comparativa sul sistema TVT γ -bis è stata eseguita al fine di scegliere la soluzione migliore tra l'armatura attiva a barre pretese oppure a trefoli pretesi, quest'ultima poi definitivamente adottata. Il carattere non lineare di entrambe le tipologie di armature metalliche è stato introdotto nel modello tramite un differente legame sforzo-deformazione del materiale. Dal confronto tra le due travi si evince una perfetta sovrapposizione dei grafici moltiplicatore-spostamento per quanto concerne la prima fase di carico, ovvero fino all'attingimento dello stato limite di decompressione dei pannelli (figura 10).

Superato questo limite, si ha una sostanziale differenza di rigidità: la trave armata con barre pretese subisce a parità di carico una minore deformazione, tuttavia manifesta anche una minore duttilità. Al contrario, i trefoli permettono l'attingimento a maggiori risorse duttili, seppur questa soluzione manifesti un minore rigidità.

L'analisi FEM del *BM TVT γ -bis* ha confermato il comportamento statico atteso dalle distribuzioni degli sforzi normali nei correnti calcolati secondo il modello *Warren*, mentre, a livello

deformativo, il confronto è poco rilevante in quanto la deformabilità dipende principalmente dai pannelli triangolari vetri appartenenti al piano verticale.

I risultati più significativi sono riportati in figura 11, dove sono mostrate le tensioni massime di trazione e compressione per analisi statiche non lineari, superato il limite di decompressione. Le sollecitazioni maggiori si distribuiscono lungo le zone prossime all'estremità, dove le trazioni nel vetro sono comunque contenute entro il limite di 9 MPa.

3.2 Modelli FM TVT γ -bis e CFM TVT γ -bis

Il modello in esame (figura 9b) mette in luce il preciso comportamento statico e deformativo del traverso, influenzato dalla rigidezza offerta dal giunto e dal piedritto. All'intradosso, il giunto a pettine della connessione angolare è stato modellato tramite elementi *plates*, mentre il vincolo a perno dei nodi è stato schematizzato con elementi *link* e *beam*; la barra tra i nodi di estradosso è costituita da elementi *beam*.

In questa configurazione il trefolo longitudinale inferiore raggiunge lo snervamento in corrispondenza della mezzeria per un carico ai nodi prossimo ai 12 kN, manifestando come prevedibile deformazioni superiori a quelle del modello precedente. Tuttavia questa configurazione di carico nodale uniforme non rispecchia la reale richiesta progettuale, in cui l'appoggio intermedio della lastra di controvento (dettaglio [T] della precedente figura 7) sostiene un carico circa 3 volte inferiore di quello dei nodi adiacenti (ovvero quelli provvisti di tacco e piolo).

In mezzeria si registra il maggior sforzo assiale nel relativo tratto del corrente inferiore e dunque il maggiore distacco dei pannelli vetri dagli alloggiamenti nodali in corrispondenza del vertice inferiore del pannello. Sul piano deformativo, una aggiuntiva monta iniziale al traverso viene esercitata con una ulteriore pretensione dei trefoli di estradosso dei piedritti.

L'elevato livello di dettaglio raggiunto dal FM TVT γ -bis ne ha limitato l'implementazione in un modello globale rappresentativo del PM TVT γ -bis. Pertanto esigenze di snellezza computazionale hanno richiesto il ricorso ad una modellazione semplificata che garantisca risultati paragonabili ai precedenti. A questo scopo è stato realizzato il CFM TVT γ -bis (figura 8c), il quale è caratterizzato da una risoluzione geometrica meno dettagliata sia in termini di suddivisione delle superfici sia nella riduzione dei punti di contatto unilaterale *link* tra nodi e vetro; le flange composte da pannelli vetri rettangolari sia della trave che dei piedritti sono state modellate come *beam-equivalenti*, definiti da apposite leggi sforzo-deformazione dedotte da analisi locali dei pannelli.

I risultati ottenuti mostrano un forte accordo in termini di prestazioni allo SLU: dalla figura 12a si evince una sovrapposizio-

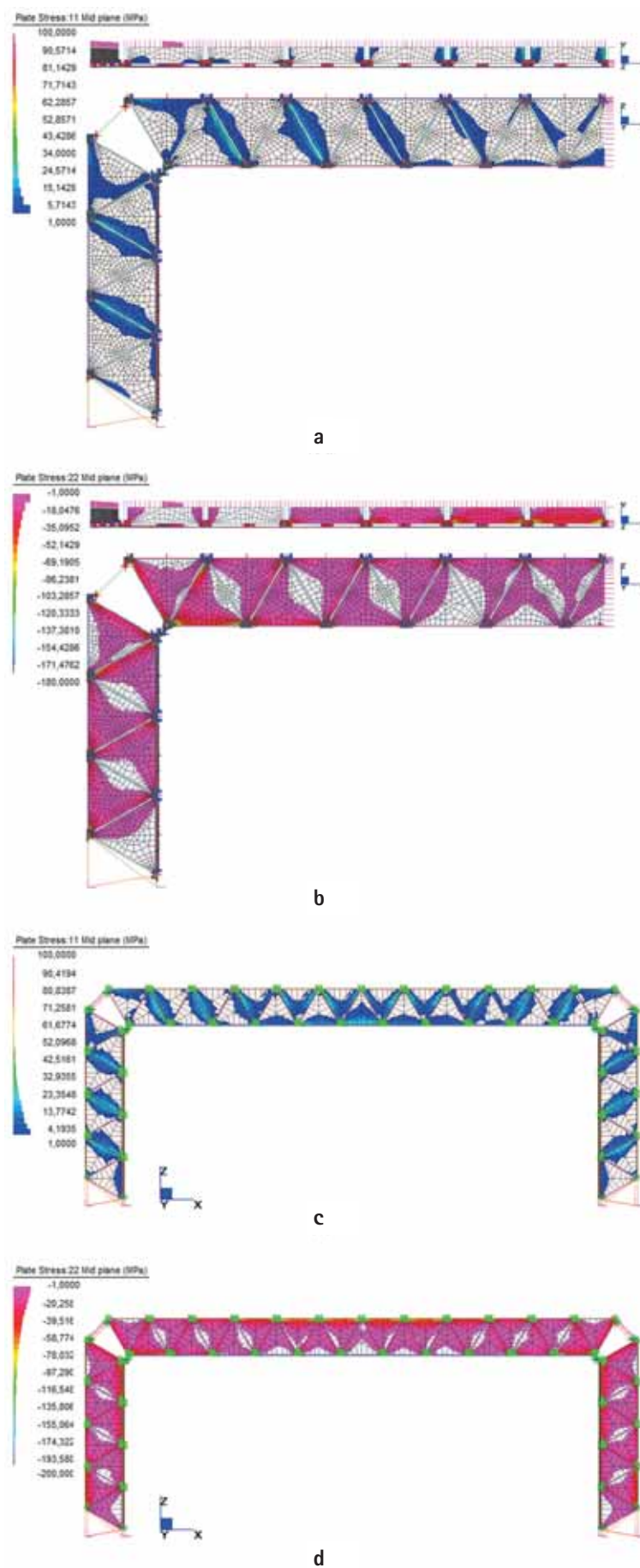


Fig. 13 - Risultati analisi statica non lineare allo SLU e confronto tra FM TVT γ -bis (a), (b) e CFM TVT γ -bis (c), (d): (a) e (c) tensioni di trazione; (b) e (d) tensioni di compressione.

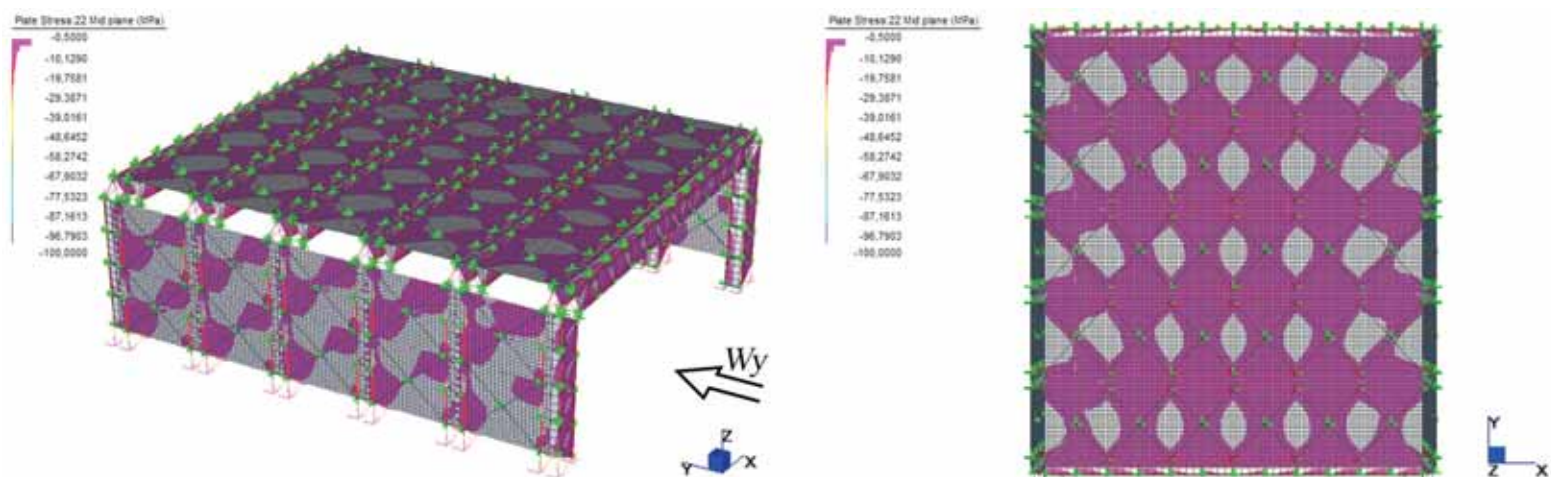


Fig. 14 - PM TVT γ -bis, risultati analisi statica non lineare allo SLU, tensioni di compressione: (a) vista globale; (b) pianta.

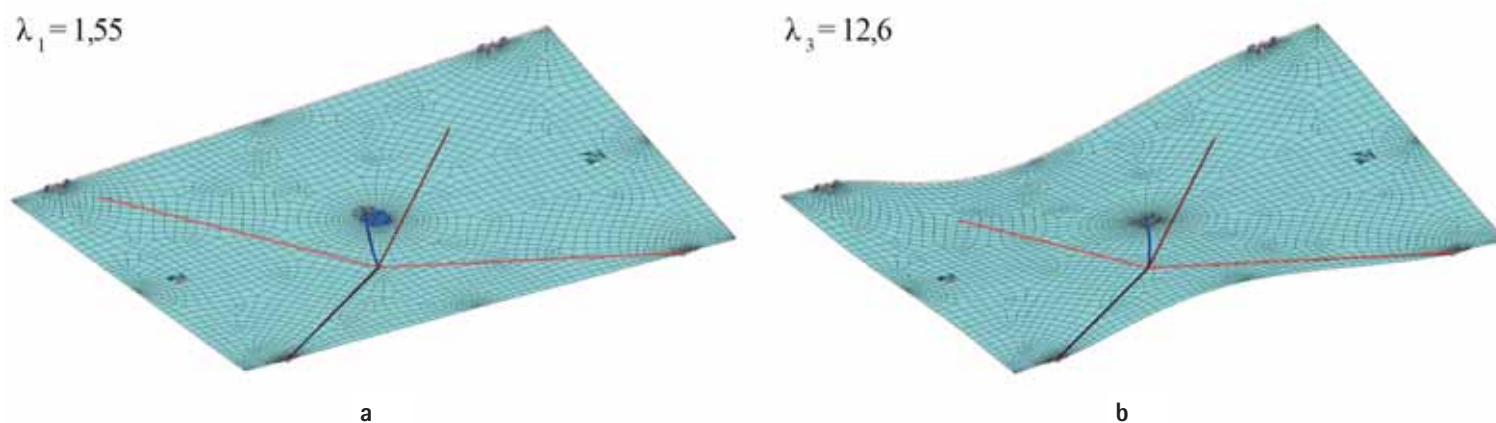


Fig. 15 - Modi significativi dell'analisi di buckling per il controvento di falda

ne delle curve dei due modelli a telaio fino alla messa in opera di tutti gli elementi costituenti ed una consecutiva maggiore rigidità della curva che definisce il comportamento del CFM TVT γ -bis sotto carichi d'esercizio. In questo secondo tratto, sia lo stato limite di decompressione dei pannelli che il successivo snervamento dei trefoli, avvengono per i medesimi carichi nodali, ma con spostamenti che differiscono del 10%.

Nonostante le semplificazioni introdotte, le tensioni dei pannelli calcolate con i due modelli risultano in buon accordo tra loro se valutate a un'opportuna distanza dai vertici degli stessi, dove l'influenza da localizzati fenomeni di picco è mitigata (figura 13). Gli sforzi assiali nei correnti superiori risentono degli elementi *beam*-equivalenti, pertanto non è possibile distinguere con precisione le sollecitazioni competenti al vetro da quelle dei trefoli superiori. Il comportamento dei correnti inferiori dei due modelli, come si osserva in figura 12b, è invece in perfetto accordo. Questo risultato abilita l'uso del CFM TVT γ -bis all'impiego come telaio nel modello globale PM TVT γ -bis, realizzato allo scopo di verificare il carico ultimo di collasso e il rispetto della gerarchia strutturale del FSD.

3.3 Modello PM TVT γ -bis

Il modello PM TVT γ -bis (precedente figura 9d) è composto da 6 modelli CFM TVT γ -bis posti ad un interasse di 4300 mm e controventati da superfici planari discretizzate riprodotte sia i pannelli di copertura che quelli laterali. Le facciate sono state escluse da questa modellazione ed è stata computata unicamente l'azione da esse trasmessa ai nodi dei portali di estremità dovuta al vento. Tale semplificazione è compatibile con il funzionamento strutturale dell'opera; l'analisi e la verifica delle facciate è stata condotta separatamente secondo le linee guida della CNR DT 210 [15].

I pannelli costituenti l'involucro sono collegati ai telai tramite elementi *link*, riprodotte la geometria ed il funzionamento dei tacchi. Infatti, nella fase di precompressione del vetro, i *link* consentono lo spostamento relativo dei vertici dei pannelli sotto la pretensione delle barre, e successivamente, consentono la trasmissione delle azioni longitudinali e trasversali tra i telai.

Le azioni considerate nell'analisi del PM TVT γ -bis sono peso proprio, vento (trasversale e longitudinale), neve e carico va-

riabile di copertura, come da [16]. Ritenuta preponderante l'azione del vento, l'opera è stata posizionata nella provincia di Trieste al fine di massimizzarne l'entità del carico. Le combinazioni sismiche, a causa delle non elevate masse in gioco, non sono state considerate nell'analisi poiché di effetto inferiore alle azioni eoliche. Lo schema di carico per le analisi non lineari effettuate ricalca le sequenze di montaggio dell'opera. Nelle combinazioni con azione del vento dominante, si osservano le sollecitazioni maggiori sull'involucro e la caratteristica formazione di meccanismi resistenti tipo tirante-biella (figura 14) nel piano medio dei pannelli di controventamento laterale e di copertura. La precompressione, imposta in fase di montaggio del pannello, favorisce l'assorbimento delle tensioni di trazione che si sviluppano nella fase d'esercizio del padiglione. Contenute all'interno dei limiti posti dalle raccomandazioni tecniche [15], le tensioni maggiori si registrano nelle lastre dei telai principali, dove i valori di trazione sono sovrastimati rispetto a quelle del FM TVT γ -bis garantendo un ulteriore margine di sicurezza.

Nessun fenomeno di crisi locale o globale è stato riscontrato al variare delle combinazioni di carico e lo sforzo assiale nei correnti di mezzera, quali elementi metallici più sollecitati, non attinge in nessun caso al limite di snervamento. All'aumentare del carico, lo stato limite ultimo per snervamento del trefolo inferiore del traverso precede sempre quello di instabilità locale dei pannelli, nel rispetto del principio di gerarchia strutturale e duttilità. Inoltre il fenomeno instabile nel pannello è calibrato secondo le modalità di crisi illustrate in figura 15. Nella fattispecie per un controvento ibrido di falda soggetto ad azione del vento, i primi modi instabili riguardano il puntone metallico, mentre solo mobilitando carichi maggiori il pannello vitreo abbandona la sua configurazione di equilibrio. Ulteriori margini di sicurezza possono essere raggiunti aumentando la sezione del puntone metallico.

Per quanto concerne il controllo degli spostamenti allo SLE, il modello *PM TVT γ -bis* risulta inadatto per questa lettura, essendo stato concepito in base a equivalenze di prestazioni statiche allo SLU. Si rende quindi necessaria una modellazione più sofisticata al fine di superare le semplificazioni introdotte.

4. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

L'ibridismo vetro-acciaio si conferma come unica strategia costruttiva in grado di permettere a strutture in vetro il raggiungimento di grandi luci nel rispetto del FSD. Il sistema costruttivo TVT segmentato e precompresso affianca all'ottimizzazione del comportamento meccanico dei due materiali elevate prestazioni allo SLU e allo SLE ed elevata standardizzazione dei componenti strutturali.

Le scelte tecniche e tecnologiche adottate nel progetto di un

padiglione vitreo ibrido TVT di grandi dimensioni sono state convalidate dai risultati numerici, opportunamente calibrati sulle precedenti esperienze sperimentali condotte sul prototipo TVT. Il TVT Pavilion rappresenta una soluzione in grado di superare le concorrenti strutture vitree dello stato dell'arte totalizzando una maggiore superficie coperta, grazie all'impiego del portale TVT γ -bis di grande luce (20 metri) e il sistema di controventamento diffuso a pannelli ibridi vitrei precompressi. La smaterializzazione dell'involucro risulta pressoché totale. La standardizzazione delle lastre e degli elementi metallici, inoltre, facilita il processo costruttivo e la rapida sostituzione di elementi eventualmente danneggiati. I possibili impieghi sono assai vari: padiglioni espositivi e fieristici, coperture di beni storico-archeologici o di pregio e, in generale, involucri evoluti. Infatti, l'opportuna presenza di una lastra sacrificale nei pannelli laminati di tamponamento laterale e superiore consente di incapsulare nel sottile strato di *interlayer* moderni dispositivi per la produzione energetica, l'illuminazione o la comunicazione.

I limiti del precedente progetto pilota della Galleria Energetica sono stati definitivamente superati. Le migliorie apportate dal sistema costruttivo TVT γ -bis, rispetto al predecessore TVT, hanno permesso di raggiungere maggiori luci con un aumento di trasparenza. Inoltre, rispetto alle barre pretese, la scelta dei trefoli incrementa la duttilità della struttura e la capacità di sopportare maggiori carichi, scontando per contro un aumento di deformazioni allo stato limite d'esercizio, tuttavia compreso entro limiti accettabili. La presenza metallica del trefolo, tramite una calibrata progettazione dei rapporti tra le parti strutturali, assicura la precedenza della crisi per snervamento rispetto al *buckling* del pannello o in generale alla rottura fragile del vetro, in accordo con la filosofia del FSD.

La soluzione angolare del portale, ammettendo varie inclinazioni del traverso rispetto al piedritto, consente grande libertà progettuale. L'impiego di pochi e semplici elementi strutturali innalza il livello di trasparenza di questa connessione.

Il sistema di controventamento longitudinale rappresenta uno degli elementi più innovativi del *TVT Pavilion*, assolvendo efficacemente e in modo diffuso al sostegno delle azioni orizzontali tramite la formazione di un meccanismo a bielle diagonali. A livello tecnologico, il tacco ne costituisce l'elemento chiave, esplicando una funzione analoga al nodo del telaio principale, ovvero trasmettere per contatto con il vetro dapprima le azioni della pretensione delle barre e successivamente delle reazioni del resto della struttura. La predisposizione di un appoggio intermedio tra i tacchi ha alleviato questi ultimi da eccessivi carichi verticali.

La strategia analitica multilivello adottata ha permesso, con modellazioni FEM locali e globali, di indagare ogni aspetto

della costruzione sotto vari scenari di carico e di vincolo, verificando agli SLU la sussistenza della gerarchia delle parti e della ridondanza strutturale. Nell'ambito degli SLE, resta tuttavia migliorabile la descrizione del comportamento deformativo, limitata dalle difficoltà computazionali conseguenti alla contemporanea presenza di non linearità geometriche e del contatto. La massa totale dell'opera è risultata assai contenuta, quindi l'azione dominante ai fini delle verifiche strutturali si è dimostrata essere il vento anziché il sisma, in analogia alle costruzioni in vetro di facciate e coperture. I risultati delle analisi confermano il verificarsi delle prestazioni strutturali attese nei riguardi della formazione di meccanismi di crisi controllabili e desiderati, nonché della buona diffusione delle compressioni nei pannelli di vetro che compon-

gono la struttura.

Prof. Ing. Maurizio Froli,
Associato di Tecnica delle Costruzioni, DESTeC - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni, Sezione Strutture, Università di Pisa.

Ing. Dario Maesano,
Ingegnere civile, Trevi SpA.

Ing. Francesco Laccone,
Dottorando, DESTeC - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni, Sezione Strutture, Università di Pisa.

BIBLIOGRAFIA

- [1] O'Callaghan J. (2005). *Adventures with Structural Glass*. Glass Structures 2001-2005. Glass Processing Days; Proc. intern. symp. Tampere: Eas Print Oy.
- [2] Baldassini, N., & Raynaud, J. (2010). Free-form, form finding and anisotropic grid shell. In *Symposium of the International Association for Shell and Spatial Structures (50th. 2009. Valencia). Evolution and Trends in Design, Analysis and Construction of Shell and Spatial Structures: Proceedings*. Editorial Universitat Politècnica de València.
- [3] Froli M., Masiello G. (2010). Una centrale solare trigenerativa alla corte del granduca di Toscana. In *Inossidabile* (p. 16). CENTRO INOX SERVIZI srl.
- [4] Kozłowski, M. (2012). Hybrid glass beams. Review of research projects and applications. *Arch. Civ. Eng. Environ*, 5, 53-62.
- [5] Jordão, S., Pinho, M., Martin, J. P., Santiago, A. and Neves, L. C. (2014), Behaviour of laminated glass beams reinforced with prestressed cables. *Steel Construction*, 7: 204-207. doi:10.1002/stco.201410027
- [6] Weller, B., & Engelmann, M. (2014). Deformation of Spannglass beams during post-tensioning. In *Challenging Glass 4 & COST Action TU0905 Final Conference* (pp. 285-294). CRC Press.
- [7] Louter, C., Cupa, J., & Lebet, J. P. (2014). Exploratory experimental investigations on post-tensioned structural glass beams. *Journal of Facade Design and Engineering*, 2(1-2), 3-18.
- [8] Belis, J., Louter, C., Verfaillie, K., Van Impe, R., & Callewaert, D. (2006). The effect of post-tensioning on the buckling behaviour of a glass T-beam. *International symposium on the application of architectural glass ISAAG 2006: conference proceedings* (pp. 129-136).
- [9] Bos, F. P., Veer, F. A., Hobbelman, G. J., & Louter, P. C. (2004). Stainless steel reinforced and post-tensioned glass beams. In *Proceedings of the 12th International Conference of Experimental Mechanics (ICEM12)*, Bari, Italy.
- [10] Haldimann M., Luible A., Overend M. (2008): "*Structural Use of Glass*". Zürich: IABSE.
- [11] Froli M., Lani L. (2010). *Glass Tensegrity Trusses*. *Structural Engineering International*, N°4.
- [12] Froli M., Mamone V. (2014). *A 12 meter long segmented, post-tensioned steel-glass beam (TVT Gamma)*. *Challenging Glass 4 & COST Action TU0905 Final Conference*. London: Louter, Bos & Belis (Eds.) ©2014 Taylor & Francis Group.
- [13] Froli, M., Masiello, G., Melis, A., Mamone, V., & Giammattei, M. (2014). *The Energy Gallery: a pilot project in Pisa*. *Engineered Transparency*. International Conference at Glasstec, Düsseldorf.
- [14] Maesano D. (2016). *Un involucro integralmente vitreo costruito mediante telai TVT di grande luce: studio di fattibilità*. Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile e delle Costruzioni Civili, relatore: Prof. Ing. Maurizio Froli. Pisa: Università di Pisa (online).
- [15] CNR DT 210 (2012). "*Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il controllo di costruzioni con elementi strutturali di vetro*". Consiglio Nazionale delle Ricerche 2012.
- [16] NTC (2008). "*Norme tecniche per le costruzioni*" Ministero delle Infrastrutture, Min. Inf 14.

QUANDO L'INVOLUCRO È PROTAGONISTA LO SKYLINE DAI DUE VOLTI

A Roma Stahlbau Pichler realizza la pelle del nuovo headquarters BNL – Gruppo BNP PARIBAS

WHEN THE ENVELOPE IS THE PROTAGONIST THE TWO-FACED SKYLINE

Stahlbau Pichler realizes the skin of the new BNL - BNP PARIBAS Group headquarters in Rome

Eleonora Negri



La nuova struttura si trova in zona Roma Tiburtina e si estende su una superficie complessiva di circa 85.000 mq. Il progetto dello studio 5+1AA Alfonso Femia Gianluca Peluffo nasce all'insegna della sostenibilità, dell'innovazione e della funzionalità. Elevati standard per ridurre l'impatto ambientale e i costi di gestione, spazi e servizi per i dipendenti con aree dedicate alla formazione, ristorante aziendale, un asilo nido, un'area fitness, un auditorium e un parcheggio interrato. Con questo progetto lo studio 5+1AA ha saputo trasformare i vincoli energetici, ambientali e urbanistici in vantaggi progettuali.

L'edificio nella sua forma assume un importante valore simbolico

rinvenibile nelle caratteristiche stesse che lo definiscono, così come volute dallo studio 5+1AA.

La disposizione planimetrica: la composizione procede lineare sul lato rivolto a levante, mentre affacciandosi a ponente si deforma attraverso linee spezzate ma mai taglienti.

La reazione alla luce: la pelle stessa dell'edificio lo rende camaleontico grazie alla capacità di rispondere in maniera differente alla luce nelle diverse ore del giorno e durante le diverse stagioni dell'anno.

La hall d'ingresso: è evidenziata secondo un rapporto di unione-separazione che diviene, secondo le parole degli stessi architetti,

Fig. 1 - La nuova sede BNL – Gruppo BNP PARIBAS



Fig. 2 - Facciata lato ovest



Fig. 3 - Facciata lato est

una trasparenza-terrazza per quattro livelli e scopre la cisterna d'acqua del Mazzoni, elemento originale ed intatto.

L'edificio si estende longitudinalmente all'area, piccola e stretta. L'idea classica di fronte-retro è stata abbandonata in favore di una composizione dinamica degradante dal punto più alto a quello più stretto, con una capacità di "modificarsi" in funzione dell'incidenza dei raggi solari nel corso della giornata. Sviluppato su due piani di facciata, una lineare e una che lavora sulla deformazione del piano stesso, la sua caratteristica principale è la smaterializzazione.

LE DUE FACCE DEL PROGETTO

Stahlbau Pichler si è occupata dell'intera facciata dell'edificio, sia della parte vetrata che della parte ventilata perfezionata con l'interessante e distintiva soluzione architettonica in ceramica. Per il lato ovest l'azienda ha lavorato con un sistema di facciata a cellule, mentre per il lato opposto l'intervento di Stahlbau Pichler si è incentrato sulla realizzazione del sistema a *Bow Window*, operando con la ceramica per l'aspetto estetico e con le facciate ventilate per quello funzionale. Per la realizzazione di queste ultime l'azienda ha adottato il sistema a montanti e traversi (figura 1).

BOW WINDOW

Il *Bow window* è composto nel dettaglio da:

- Struttura interna in tubolari in acciaio;
- Bancale inferiore e superiore in pannelli scatolari composti in profili estrusi e sagomati di alluminio con taglio termico, isolati internamente con lana di roccia;
- Finitura interna in lamiera di alluminio.

LATO OVEST

In questo progetto mancano volutamente frangisole e sistemi di schermatura.

Sul lato Ovest, il fronte principale di ben 230 metri lineari, ritroviamo 15.000 mq di facciata vetrata continua a celle. Per soddisfare questo prospetto lunghissimo e movimentato da una serie di sbalzi, è stato adoperato un sistema in alluminio a taglio termico e vetrocamera costituita da due lastre di vetro di spessore 10 mm accoppiate e distanziate tra loro con un giunto ermetico (studiato per impedire l'infiltrarsi di polveri e condense). Il vetro esterno, monolitico e temperato, ha elevati valori di riflessione luminosa e la trasmittanza termica della facciata è decisamente interessante (figura 2).

TELAI

I telai autoportanti assemblati con vetro strutturale sono tutti appesi alle staffe ancorate al solaio con possibilità di dilatare verso il basso. I telai sono assemblati con profili estrusi appositamente studiati, completi di guarnizioni ed accessori (fissi, apribili, porte), mentre



Fig. 4 -Dettaglio della facciata ventilata, lato est. Sono ben visibili le piastrelle in gres porcellanato Snake di 5+1AA e Casalgrande Padana, realizzate sul licenza da Iris Ceramica. Le piastrelle hanno un disegno "diamantato" a farfalla con finitura dorata e sono state posate su una struttura in alluminio che Stahlbau Pichler ha realizzato per minimizzare la fuga



Fig. 5 - La caratteristica struttura a prua

i tamponamenti sono in vetrocamera di varie tipologie (*vision, spandrel*), con la parte retrostante coibentata in corrispondenza delle fasce marcapiano.

La facciata è ancorata alla sottostruttura portante dell'edificio per mezzo di staffe in alluminio/acciaio variamente sagomate, in grado di permettere le regolazioni per le tolleranze di costruzione, montaggio e per i possibili movimenti relativi dell'edificio.

Nei casi tipici le staffe sono ancorate alla soletta in calcestruzzo con il sistema dei profili annegati e, dove non previsto, con ancoraggi di tipo chimico.

In talune zone dell'edificio viene interposto tra le cellule verticali un bancalino sfaccettato che a lati alterni, interno/esterno, ha funzione di giunto tra le varie "cuspidi" previste dal prospetto architettonico.

LATO EST

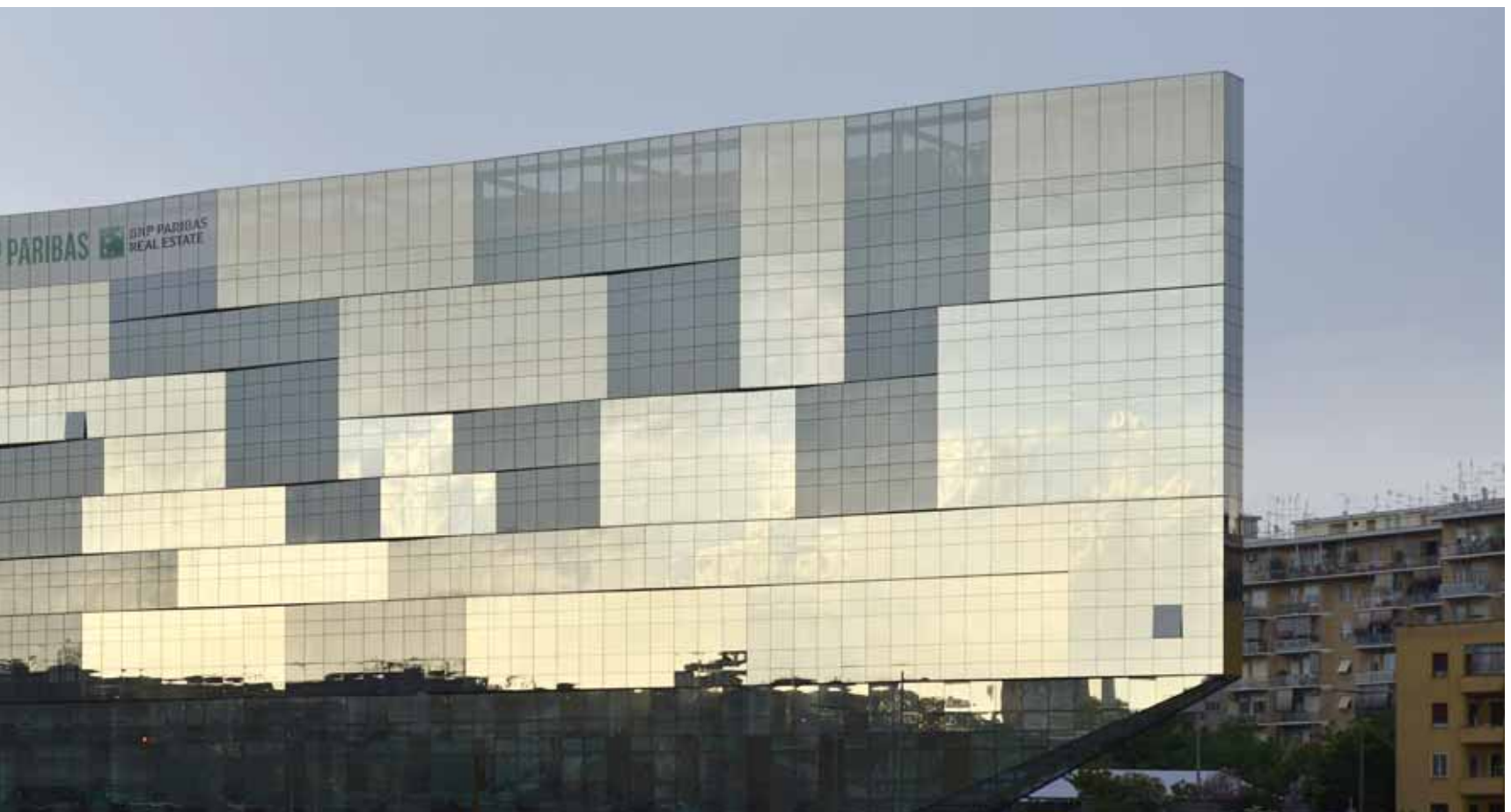
Nel lato est sono stati realizzati 10.000 mq di facciata ventilata, modulati in: facciata senza coibentazione in corrispondenza dei vani freddi, facciata con coibentazione esterna rispetto ai vani caldi, nuclei in cemento armato coibentati all'interno degli uffici. Piastrelle diamantate, 30x60, dalla sagoma tridimensionale, compensano il movimento dell'alto lato di facciata con una finitura esterna che è argomento d'interesse per la dinamica dell'intero edificio. Queste piastrelle speciali sono state disposte in moduli composti da due elementi ciascuno e distribuite



Fig. 6 - Il ponte realizzato nel corpo di fabbrica lascia libera la vista sulla Cisterna Mazzoni



Figg. 7a, 7b - Il montaggio delle facciate



in lunghezza, allo scopo di mantenere il tema del movimento (figure 3 e 4).

Sono ben visibili le piastrelle in gres porcellanato Snake di 5+1AA e Casalgrande Padana, realizzate sul licenza da Iris Ceramica. Le piastrelle hanno un disegno "diamantato" a farfalla con finitura dorata e sono state posate su una struttura in alluminio che Stahlbau Pichler ha realizzato per minimizzare la fuga.

LO SBALZO "A PRUA"

L'edificio si rastrema sia in pianta, seguendo il perimetro del lotto, che in elevazione, rendendo a sbalzo le ultime tre campate e liberando così spazio utile per l'accesso e la via di fuga. L'importante sbalzo è risolto mediante travature reticolari in acciaio nei piani di facciata e, per effetto del comportamento spiccatamente spaziale dovuto all'asimmetria della struttura, disposte anche nei piani di solaio (figura 5).

IL PONTE CENTRALE

La cisterna Mazzoni che insiste sull'area, vincolata dal Codice dei Beni Culturali, ha fatto sì che l'edificio, in corrispondenza di essa, desse forma ad una grande finestra con vista sulla cisterna stessa; in tale zona, libera da pilastri, l'edificio resta sospeso a un "ponte" in copertura mascherato dalle facciate (figura 6).

LA SOSTENIBILITÀ DELL'INVOLUCRO

Un involucro realizzato per metà in cellule vetrate e per metà in facciata ventilata rappresenta un'ottima soluzione sia dal punto di vista tecnologico che economico (figura 7).

La metà trasparente è assorbente, mentre la metà ventilata non è esposta ad irraggiamento diretto: questo meccanismo rende in sostanza l'edificio salubre ad autonomo in termini di efficienza perché in tal modo il corpo architettonico non assorbe né dissipa energia in eccedenza.

La trasmittanza termica della facciata vetrata è pari a $1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ e questo di per sé garantisce ottime *performance*.

Sono stati disposti sensori di CO_2 per determinare la qualità dell'aria e intervenire di conseguenza.

Anche l'illuminazione è stata progettata per essere a basso consumo, dando un ulteriore supporto alla sostenibilità dell'edificio, come pure la climatizzazione gestita da un impianto con 5 gruppi frigoriferi polivalenti.

Si stima che i livelli di efficienza e sostenibilità raggiunti consentiranno l'ottenimento della Classe A e la certificazione LEED Gold.

Eleonora Negri

Ufficio Stampa Stahlbau Pichler

IL PROGETTO IN NUMERI

Superficie tot: 85.000 m²

Superficie interrata: 23.000 m²

Superficie vetrata: 15.000 m²

Superfici ventilate: 10.000 m²

Volume: 93.000 m³

Area coperta: 5000 m²

N°Piani: 15

Resistenza al fuoco: R90

Altezza: 60 m

Classe energetica: A

Tempo realizzazione facciate e installazione: 1 anno

CREDITI

Committente: BNP Paribas Real Estate Property Development spa

Tenant: BNL Gruppo BNP Paribas

Progetto architettonico, urbanistico preliminare e definitivo, progetto paesaggistico: 5+1AA Alfonso Femia, Gianluca Peluffo, Simonetta Cenci (Capo progetto: Marco Corazza – Direzione Artistica: Alfonso Femia – Construction Manager: Alessandro Bellus – Project Manager: Francesca Pirrello)

Progetto architettonico definitivo, coordinamento e Direzione Lavori: Starching

Progetto strutturale: Ing. Mauro E. Giuliani, Redesco Progetti srl

Progetto impiantistico: Ariatta ingegneria dei sistemi srl

General contractor: PGC Parsitalia General Contractor

Facciate vetrate e ventilate: Stahlbau Pichler srl

Foto credits: © OskarDaRiz

Strutture metalliche: MBM

Sul numero 2/2017 di Costruzioni Metalliche trovate un articolo Di Mauro Eugenio Giuliani e Gianluca Vesa sulla progettazione strutturale dell'edificio BNL-Paribas

FIRE SAFETY ENGINEERING

applicata alle facciate di edifici di grande altezza

FIRE SAFETY ENGINEERING

applied to high-rise building facades

Samuele Sassi, Paolo Setti, Giuseppe Amaro, Lamberto Mazziotti, Giuseppe Paduano, Piergiacomo Cancelliere, Mauro Madeddu

La sicurezza al fuoco delle facciate di edifici di grande altezza è un problema complesso, pertanto l'uso di normative antincendio prescrittive non potrebbe essere sufficiente per garantire un adeguato livello di sicurezza. Negli edifici di nuova realizzazione, la sicurezza al fuoco delle facciate può essere gestita mediante un approccio alla progettazione di tipo prestazionale, il quale può essere d'aiuto nell'individuazione delle migliori soluzioni tecnologiche, nella scelta dei materiali in funzione dell'ottimizzazione del rapporto costi/benefici. In questo articolo, la facciata della "Torre Regione Piemonte" (sede degli uffici della Regione Piemonte, progettata dall'arch. Massimiliano Fuksas), in ragione della sua architettura distintiva e agli aspetti tecnologici, viene assunta come caso di studio ed esaminata attraverso la fire safety engineering (FSE).

Fire safety of high-rise building facades is a complex problem, therefore the use of prescriptive fire codes could not be sufficient to ensure a proper building fire safety level. In new high rise buildings the fire safety of facades can be taken into account by means of performance based fire design that can help in the selection of the best technological solutions and material choices.

This article deals with a case study done on the Piedmont Region Headquarters (TORRE REGIONE PIEMONTE) which is one of the highest office buildings in Italy. The "Torre Regione Piemonte" is located in Turin and has 45 storeys and a total height of 183,61 m. The building is characterized by the closed enclosure called "Grand Space" which is continuous for almost the entire height of the building and contains volumes such as offices/meeting rooms named as "Satellites".

In order to fulfil Italian fire safety requirements, the "Torre Regione Piemonte" building has been assessed using the performance based design and fire safety engineering approach. This paper deals with the design process selection of the most representative fire scenarios focusing on the fire resistance performance requirements of structural and glazed elements of the facades. Furthermore, all the simulation, calculations and performance fire resistant requirements of the high rise building have been supported by specific laboratory tests and experimental results, that are reported and discussed within paper.

INTRODUZIONE

La sicurezza al fuoco delle facciate di edifici di grande altezza costituisce un problema complesso e di difficile soluzione se approcciato con le norme di tipo prescrittivo. Negli edifici di nuova realizzazione, la sicurezza al fuoco delle facciate può essere gestita mediante un approccio alla progettazione di tipo prestazionale, il quale può essere d'aiuto nell'individuazione delle migliori soluzioni tecnologiche, nella scelta dei materiali

in funzione dell'ottimizzazione del rapporto costi /benefici.

In questo articolo, la facciata della "Torre Regione Piemonte" (sede degli uffici della Regione Piemonte, progettata dall'arch. Massimiliano Fuksas), in ragione della sua architettura distintiva e agli aspetti tecnologici, viene assunta come caso di studio ed esaminata attraverso la *fire safety engineering* (FSE).

L'edificio si compone di una parte centrale, destinata ad Area Uffici, la quale confina con un volume chiuso che si sviluppa

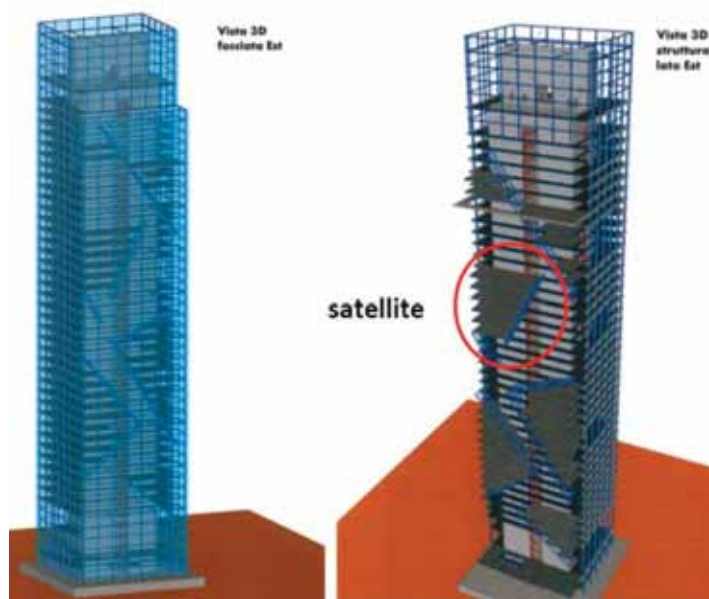


Fig. 1 - Piano tipo della Torre Regione Piemonte con evidenziato l'Area Uffici, i Satelliti e il Grande Vuoto

per l'intera altezza della costruzione, chiamato "Grande Vuoto". All'interno di questo volume sono presenti dei sotto-volumi chiamati "Satelliti", connessi con l'area uffici e impiegati principalmente come *meeting rooms*.

L'area uffici e i "Satelliti" sono realizzati in calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso, il "Grande Vuoto" è delimitato da una struttura in carpenteria metallica con un rivestimento a cellule in alluminio e vetro.

Considerando che la presenza del "Grande Vuoto" ha delle conseguenze dirette sulla sicurezza al fuoco dell'edificio, i cui effetti sono di difficile valutazione con un approccio normativo di tipo prescrittivo, si è optato per l'impiego di un approccio di tipo prestazionale, ricorrendo alle metodologie della FSE.

Nello specifico, sono stati analizzati diversi scenari di incendio, tenendo in considerazione sia gli effetti sulle strutture che quelli sulla sicurezza degli occupanti, al fine di ottimizzare le scelte delle protezioni al fuoco attive e passive.

Al fine di valutare l'andamento delle temperature e la distribuzione dei fumi all'interno degli ambienti, sono stati analizzati 6 differenti scenari di incendio mediante simulazioni con modelli CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Come risultato, in corrispondenza dei punti critici individuati, è stata ottimizzata la protezione passiva al fuoco delle strutture in carpenteria metallica e le prestazioni al fuoco della facciata.

In accordo ai risultati delle simulazioni eseguite, le strutture in acciaio del "Grande Vuoto" sono state protette con vernice intumescente soltanto ai Livelli -2 e -1, mentre le prestazioni di resistenza al fuoco della facciata che separa gli Uffici e il "Grande Vuoto" è stata ottimizzata da una iniziale richiesta di

EI 60 a EW60_(i→o).

Nell'articolo si riportano i risultati delle modellazioni CFD eseguite e le prestazioni di resistenza al fuoco richieste agli elementi strutturali e alle facciate vetrate.

In aggiunta, al fine di verificare se le prestazioni richieste alla facciata di separazione tra Grande Vuoto e Uffici fossero effettivamente conformi a quanto individuato in fase progettuale, sono stati condotti specifici test sperimentali in accordo con la norma EN 1364-3 di cui si riporta un estratto.

DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO

L'edificio "Torre Regione Piemonte" si compone di 2 livelli interrati e 43 piani fuori terra (per un'altezza massima di 183,61 m), con una dimensione in pianta di 45 × 45 m. Tutti i primi tre piani sono dedicati alla hall d'ingresso, composta da due mezzanini adibiti ad area espositiva. I piani superiori sono adibiti a uffici. La vista 3-D e un piano tipo sono rappresentati in figura 1.

L'edificio, come già accennato, si compone di una parte centrale, destinata ad Area Uffici, la quale confina con un volume chiuso che si sviluppa per l'intera altezza della costruzione, chiamato "Grande Vuoto". All'interno di questo volume sono presenti dei sotto-volumi a box chiamati "Satelliti", connessi con l'area uffici e impiegati come *meeting room*. L'area uffici e i "Satelliti" sono realizzati in calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso e sono circondati da una facciata in vetro e alluminio; dall'altro lato, il "Grande Vuoto" è racchiuso all'interno di una facciata avente telaio in acciaio e rivestimento in alluminio e vetro.

In accordo con le norme prescrittive nazionali, i requisiti di sicurezza al fuoco, legati alle prestazioni delle facciate e delle strutture in carpenteria metallica, previsti nel progetto antincendio possono essere riassunti in:

- Per ogni piano adibito ad uffici (ad eccezione delle zone a doppia/tripla altezza - hall di ingresso) è prevista una compartimentazione al fuoco R/REI/EI 120 e l'installazione di un impianto di estrazione forzata di fumo e calore e di un impianto sprinkler.
- Ogni Satellite deve essere compartimentato R/REI/EI 120, ed all'interno di ogni volume è prevista l'installazione di un impianto sprinkler e di una lama d'acqua in corrispondenza delle vetrazioni verso il Grande Vuoto.
- Alle strutture del Grande Vuoto è richiesta una classe di resistenza al fuoco R 60.
- All'interno del Grande Vuoto è prevista l'installazione di un sistema di estrazione forzata di fumo e calore.
- Le facciate di separazione tra due macro zone (incluse quelle di separazione tra gli Uffici e i Satelliti) devono avere una prestazione di resistenza al fuoco non inferiore a EI 60.

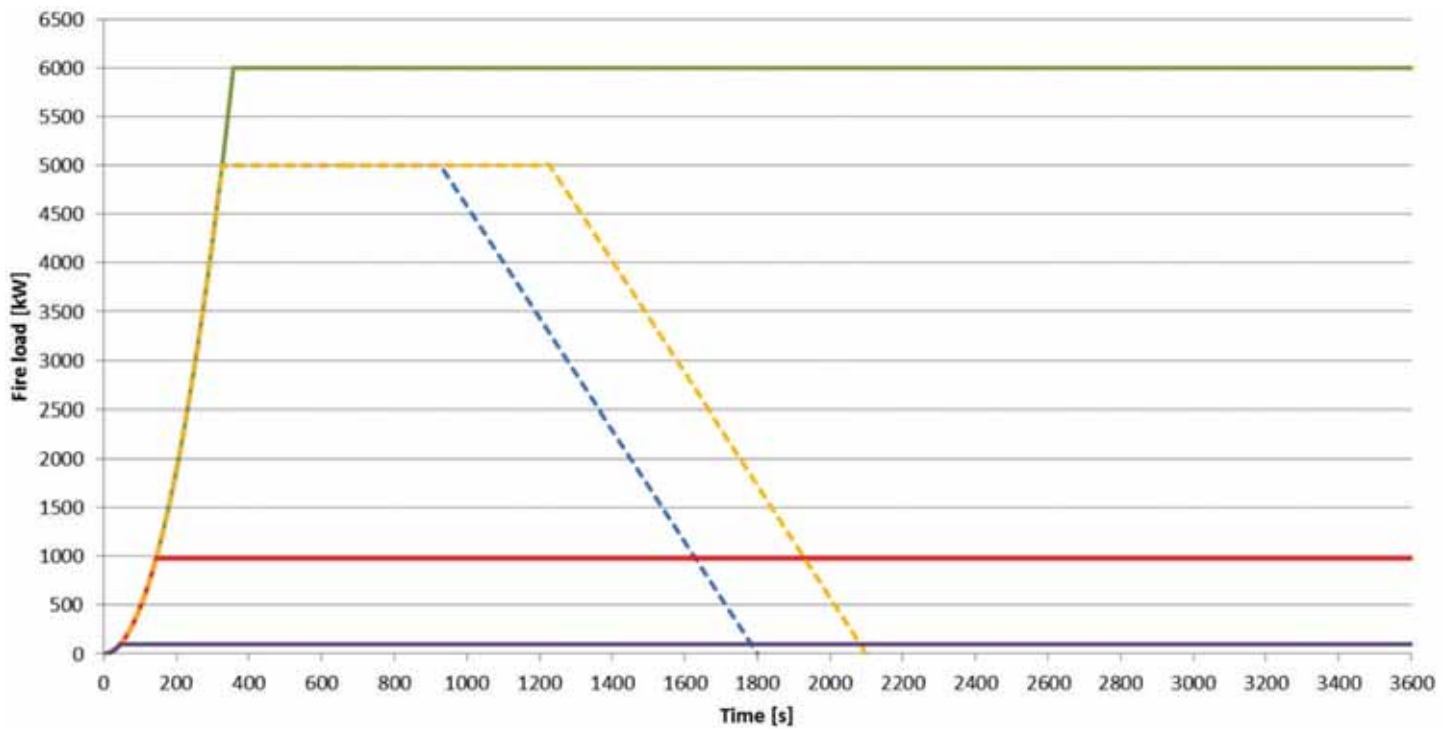


Fig. 2 - Curve HRR definite per i 6 scenari selezionati

PROBLEMI COSTRUTTIVI E FUNZIONALI

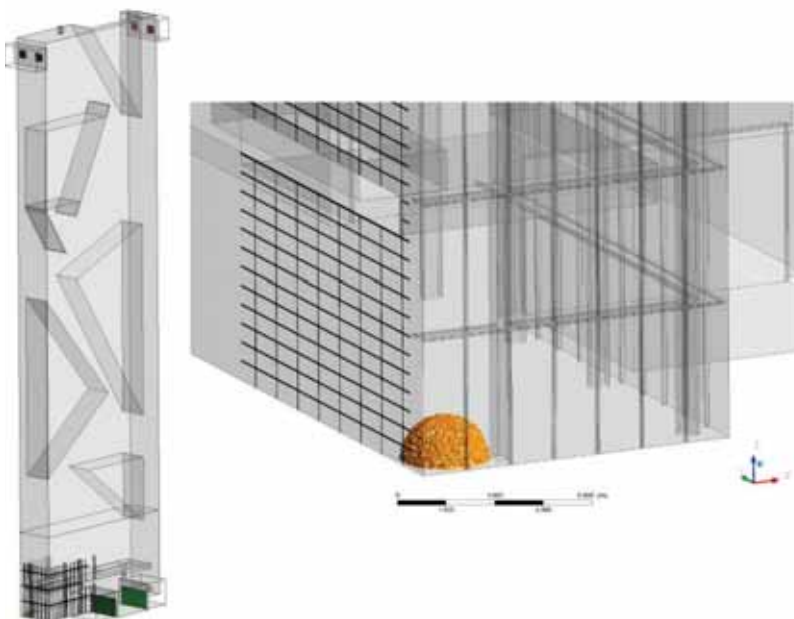
Durante la fase realizzativa dell'edificio, sono state rilevate tre principali problematiche legate alla sicurezza al fuoco delle facciate esterne.

- Il primo problema è costituito dalla manutenzione della protezione passive delle strutture metalliche del Grande Vuoto in quanto, vista la presenza dei satelliti, risulta di difficile

attuazione se non con eccessivi costi per opere provvisionali.

- Il secondo è la possibilità che si verifichi un'alterazione del gel contenuto nei vetri resistenti al fuoco a causa dell'innalzamento delle temperature durante il periodo estivo. Anche in questo caso si evidenzia di come la sostituzione di un pannello vetrato sia di difficile attuazione vista la presenza dei Satelliti.

Scenario 1



Scenario 2

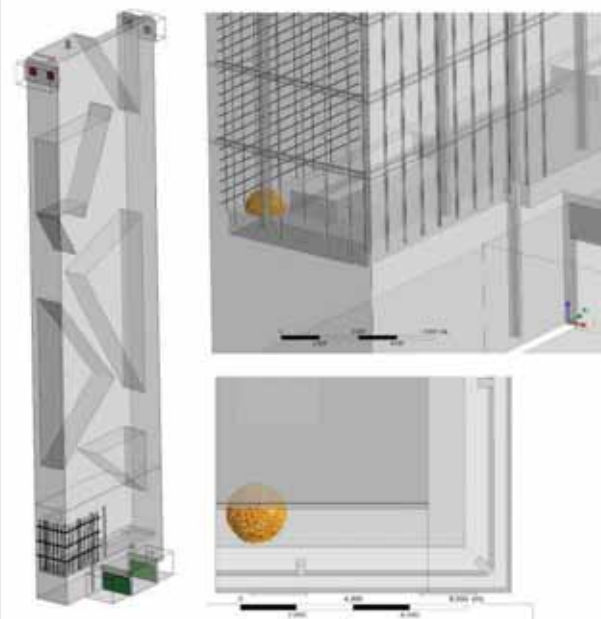


Fig. 3 - Modelli CFD per lo Scenario 1 e per lo Scenario 2

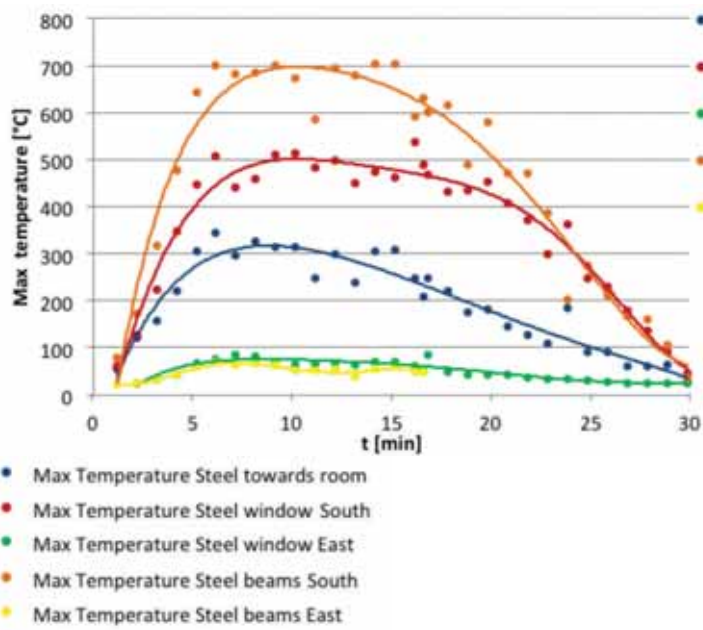


Fig. 4 - Massime temperature dell'acciaio in corrispondenza delle parti est e sud, scenario 1

- L'ultimo problema è l'eccessivo carico statico dovuto al peso proprio della lama d'acqua dei Satelliti.

OBIETTIVI DELLE MISURE DI SICUREZZA ANTINCENDIO

In accordo con la normativa italiana, di seguito vengono elencati gli obiettivi delle misure adottate per garantire la sicurezza antincendio della facciata, prendendo in considerazione i problemi menzionati nelle sezioni precedenti:

- Evitare il collasso strutturale del Grande Vuoto per almeno 60 minuti;
- Bloccare la propagazione dell'incendio tra i diversi livelli e Satelliti;
- Garantire le condizioni di sicurezza per gli occupanti e per le squadre di soccorso (vigili del fuoco) in caso di incendio all'interno del Grande Vuoto.

SOLUZIONI TECNICHE

Al fine di conseguire gli obiettivi antincendio specificati, sono state adottate le seguenti soluzioni tecniche:

- Il rivestimento protettivo è stato applicato solo sulle porzioni accessibili della struttura in carpenteria metallica del Grande Vuoto, mentre la verifica delle resistenze al fuoco dell'intera struttura è stata eseguita sulla base dei risultati delle modellazioni FSE eseguite.
- La classe di resistenza al fuoco delle facciate (tra Uffici - Satelliti e tra Uffici - Grande Vuoto) è mantenuta EI 60 solo per le aree dove è possibile che si verifichi un'esposizione al fuoco su due lati e dove non ci sono eccessivi innalzamenti di temperatura durante la stagione estiva.
- Per eliminare gli eccessivi carichi addizionali dovuti al peso

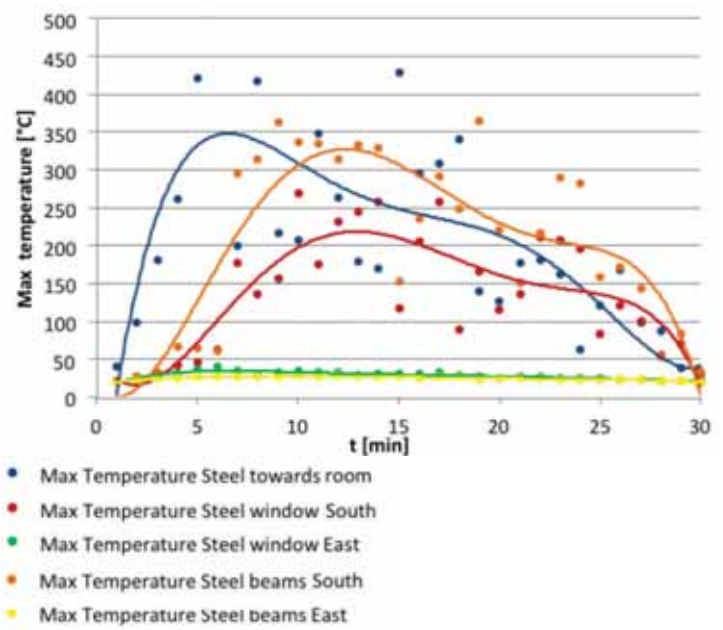


Fig. 5 - Massime temperature dell'acciaio in corrispondenza delle parti est e sud della facciata, scenario 2

proprio delle lame d'acqua dei Satelliti, al loro posto è stato adottato un sistema di soppressione dell'incendio di tipo *water mist*.

- La classe di resistenza al fuoco delle facciate (tra Uffici - Grande Vuoto) è ridotta da EI 60 a EW 60_(i→o).
- Le condizioni di sicurezza sono verificate mediante la FSE all'interno del Grande Vuoto considerando la presenza del sistema di evacuazione naturale di fumo e calore.

MODELLI CFD

Sono stati realizzati quattro modelli CFD per simulare sei differenti scenari di incendio individuati come i peggiori al fine di massimizzare gli effetti sulle strutture in carpenteria metallica del Grande Vuoto e sulle facciate vetrate.

Qui di seguito vengono elencati gli scenari individuati:

- 1) Incendio nel secondo livello interrato, all'interno del Grande Vuoto (scenario 1);
- 2) Incendio al piano terra, all'interno del Grande Vuoto (scenario 2);
- 3) Incendio all'interno degli uffici (scenari 3 e 4);
- 4) Incendio all'interno dei Satelliti (scenari 5 e 6).

La figura 2 riporta la curva di rilascio del calore (Heat of Heat Released - HRR) per i 6 scenari.

Le seguenti analisi CFD sono state realizzate con il programma di fluidodinamica computazionale ANSYS CFX in collaborazione con Ramboll Group.

Scenari di incendio 1 e 2 - Fuoco posizionato all'interno del Grande Vuoto

Il fuoco di progetto è situato al livello -2 (scenario 1) e al

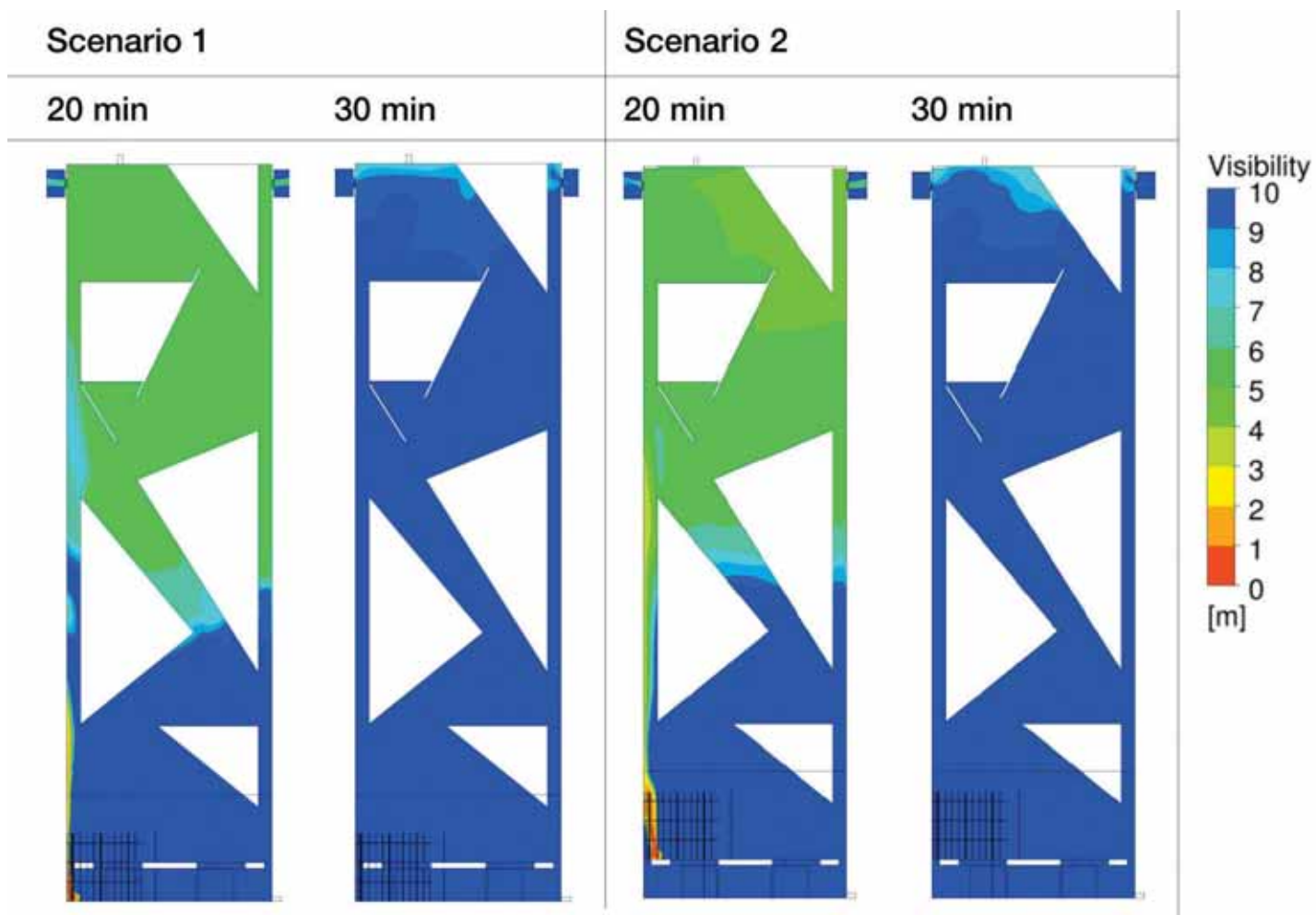


Fig. 6 - Visibilità all'interno del Grande Vuoto per gli Scenari di incendio 1 e 2

livello 0 (scenario 2) all'interno dell'atrio vicino alla facciata vetrata e alla struttura in acciaio. Il coefficiente di sviluppo dell'incendio è stato assunto di tipo *fast*, pari a $0,047 \text{ kW/s}^2$ e il picco della potenza rilasciata è pari a 5 MW. L'incendio raggiunge in tal modo il massimo valore di HRR dopo 326 s. L'HRR è considerata costante per altri 10 minuti dopo aver raggiunto il suo valore massimo al termine dei quali inizia il decadimento lineare. L'apertura delle superfici di ventilazione avviene dopo 60 s, sia per quelle poste alla base per l'ingresso dell'aria di riscontro che per quelle poste in cima per l'espulsione del fumo. La figura 3 mostra i modelli CFD relativi allo scenario di incendio 1 e allo scenario di incendio 2.

Nello scenario di incendio con fuoco posizionato al livello -2, le fiamme risultano essere molto vicine alla struttura in acciaio della facciata del Grande Vuoto, comportando un aumento delle temperature oltre i limiti critici. Com'è possibile desumere dalla figura 4, tali valori delle temperature possono interessare archi temporali di circa 20-25 min. Il problema principale è dovuto al fatto che le fiamme sono molto vicine o a contatto con la struttura in acciaio.

Per l'incendio posizionato al livello 0, avente una distanza ca-

ratteristica di 1 m dalle facciate del Grande Vuoto, le fiamme non sono in grado di incrementare le temperature delle strutture in acciaio oltre il valore critico. Il picco massimo delle temperature raggiunte dalle strutture in acciaio verso sud è di circa $500 - 600 \text{ }^\circ\text{C}$, come riportato in figura 5.

In figura 6 viene rappresentata la visibilità all'interno del Grande Vuoto nei diversi istanti temporali di 20 e 30 minuti dall'ignizione dell'incendio, per gli scenari 1 e 2. Dalla figura 6 è possibile verificare come la visibilità ai livelli -2 e 0 non raggiunga valori critici in corrispondenza di aree occupate. Dalla figura è inoltre possibile osservare come, data l'evidente riduzione di visibilità, l'atrio risulti completamente invaso dal fumo. Tutto ciò, però, si verifica al di sopra delle zone occupate ai livelli -2 e 0 e pertanto non risulta essere una criticità. Dalle simulazioni degli scenari 1 e 2, al fine di garantire la classe di resistenza al fuoco R 60, è risultato necessario prevedere una protezione passiva per le strutture in acciaio del Grande Vuoto comprese tra i livelli -2 e 0. Inoltre, la presenza del sistema di ventilazione naturale di fumo e calore fornisce certezze rispetto l'adeguatezza del livello di sicurezza all'interno del Grande Vuoto in caso di incendio, al fine di consen-

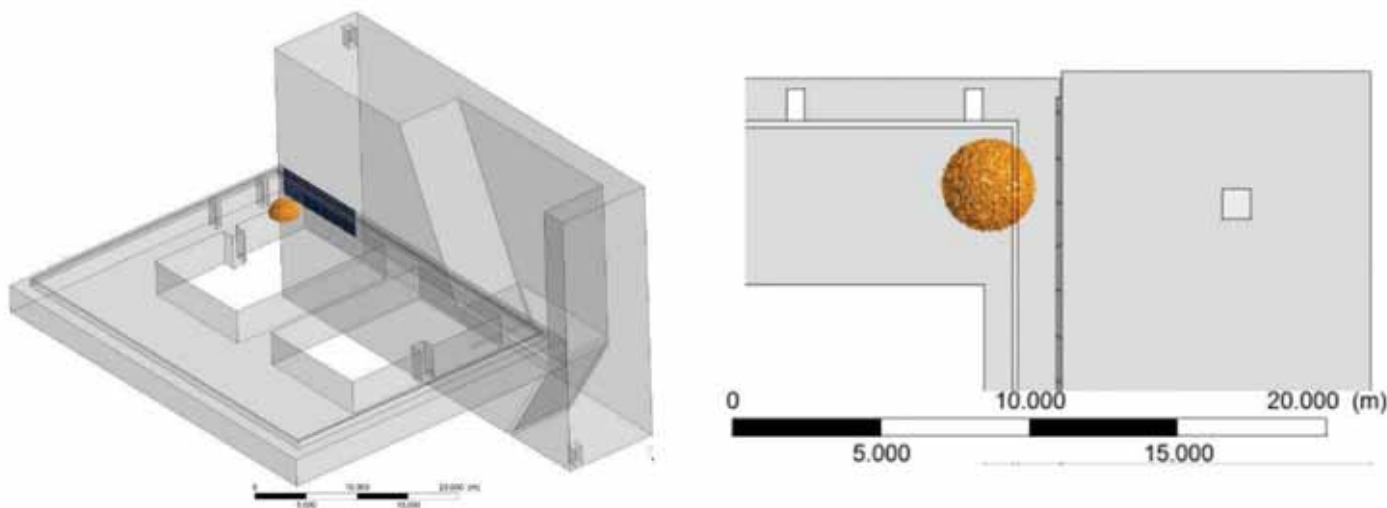


Fig. 7 - Modelli CFD per lo Scenario 3 e per lo Scenario 4

tire l'evacuazione degli occupanti e l'intervento dei Vigili del Fuoco.

Scenari di incendio 3 e 4 - Fuoco posizionato all'interno dell'area uffici

Gli uffici sono un *open space* con vista panoramica sull'atrio (Grande Vuoto). Le vetrazioni tra l'area uffici e l'atrio hanno una classe di resistenza al fuoco pari a $EW 60_{(i \rightarrow o)}$. Ciò significa che la massima radiazione emessa dal vetro sul lato non esposto al fuoco risulta essere inferiore a 15 kW/m^2 . Nelle analisi sono stati modellati solo le porzioni vetrate e gli elementi in acciaio situati in prossimità del fuoco di progetto. La distanza tra il centro del fuoco di progetto e la superficie dell'atrio è circa pari a 2 metri. In figura 7 vengono riportati i modelli CFD per gli scenari di incendio 3 e 4.

Includendo nel modello una porzione dell'adiacente atrio, è possibile valutare gli effetti delle temperature e della radiazione emessa dall'incendio sulle strutture in acciaio dell'atrio. Nello scenario 3 si ipotizza un guasto nel funzionamento dell'impianto sprinkler all'interno dell'area uffici e l'incendio si sviluppa fino ad un valore massimo di HRR pari a 6 MW. L'incendio raggiunge il suo picco massimo dopo 326 s e rimane costante per 1 ora. L'estrazione meccanica del fumo parte dopo 40 s e raggiunge la sua massima capacità dopo 100 s. La radiazione incidente è mostrata in figura 8. I contributi delle vetrate resistenti al fuoco ($EW 60_{(i \rightarrow o)}$) sono evidenti e riducono la radiazione incidente sulle strutture in acciaio della facciata esterna. Dopo 20 minuti la potenza emessa dall'incendio rimane costante e pertanto la radiazione termica incidente non subisce grosse variazioni dopo questo periodo. Tale fatto è visibile in figura 8, dove viene rappresentata la radiazione incidente sulle facciate nord ed est in funzione del tempo.

La temperatura delle carpenterie metalliche del Grande Vuoto

aumenta per tutti i 60 minuti della simulazione, il cui andamento è caratterizzato da una riduzione del gradiente di temperatura dopo 20 minuti circa, dovuto agli effetti benefici dei moti convettivi dell'aria presente all'interno dell'atrio. L'andamento delle temperature sulle facciate è fornito sul lato destro della figura 8.

Nello scenario 4, analizzato per verificare il rispetto delle condizioni di sicurezza per gli occupanti all'interno dell'ufficio, l'impianto sprinkler si attiva dopo 148 s, riducendo la potenza massima rilasciata dall'incendio a 0,98 MW (rispetto ai 6 MW dello scenario 3). Il coefficiente di sviluppo dell'incendio è stato assunto di tipo *fast*, pari a $0,047 \text{ kW/s}^2$. L'estrazione meccanica del fumo parte dopo 40 s e raggiunge la sua massima capacità dopo 100 s. La visibilità in ambiente si riduce in 5 minuti e le temperature potrebbero raggiungere valori critici dopo 8 minuti.

I risultati delle simulazioni degli scenari di incendio 3 e 4, mostrano che non è necessario prevedere una protezione al fuoco per gli elementi strutturali in carpenteria metallica del Grande Vuoto, in quanto la facciata di separazione $EW 60_{(i \rightarrow o)}$ è in grado di ridurre efficacemente gli effetti termici e l'innalzamento delle temperature delle strutture. Inoltre, la presenza della facciata $EW 60_{(i \rightarrow o)}$ blocca la propagazione verticale dell'incendio dall'area uffici.

Scenari di incendio 5 e 6 - Fuoco all'interno del Satellite

Le *meeting room* presenti all'interno dei satelliti sono connesse all'area uffici mediante delle porte. La facciata vetrata delle *meeting room* è montata su un telaio metallico in acciaio posto tra l'atrio e l'area uffici. I pannelli vetrate sono normali vetrazioni, senza alcuna caratteristica di resistenza al fuoco. In figura 9 si propone una schematizzazione del problema.

Il modello CFD è costituito soltanto dal volume d'aria all'e-

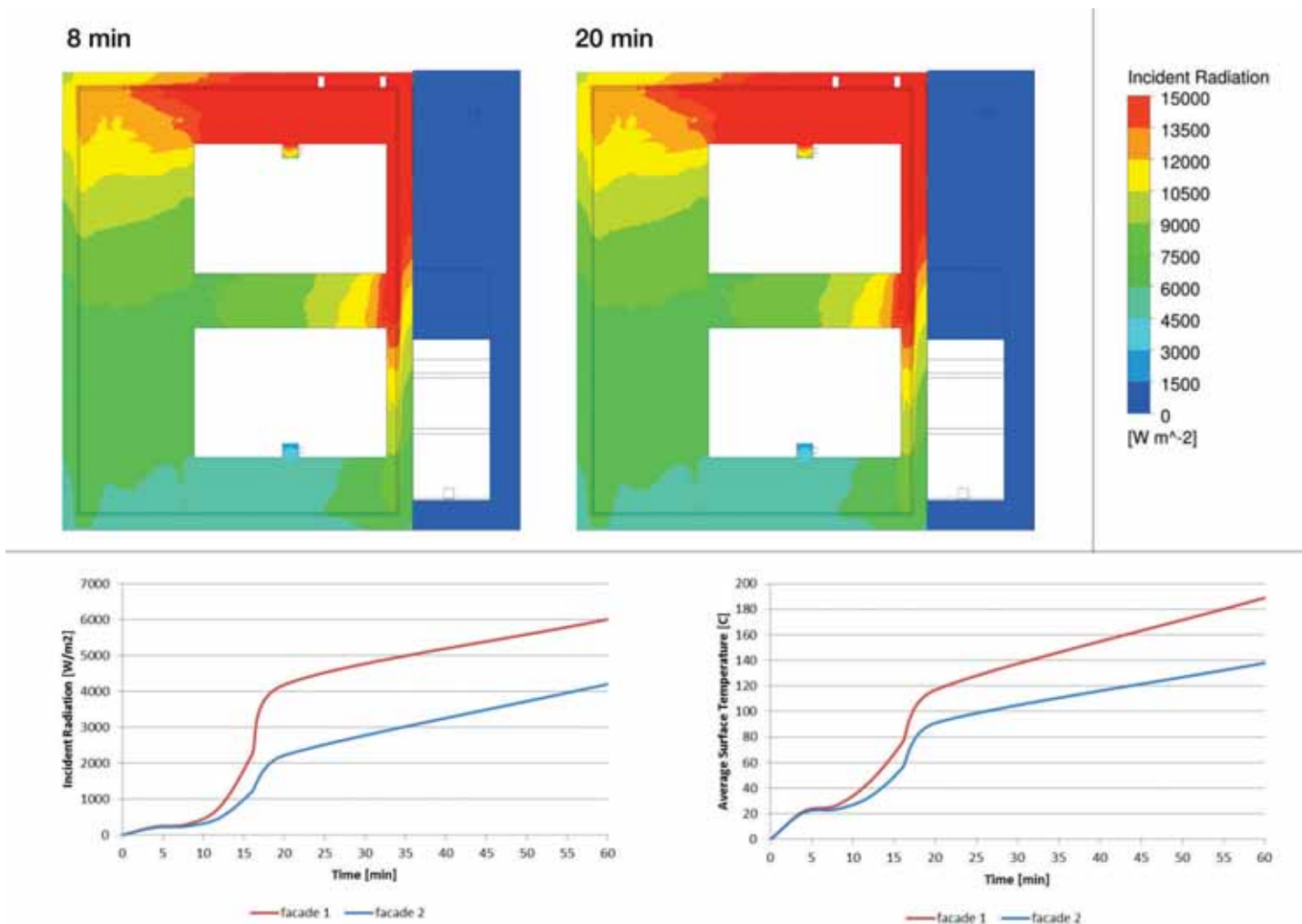


Fig. 8 - Radiazione incidente e andamento delle temperature sulle facciate 1 e 2 – Scenario 3

sterno della *meeting room* e dalle strutture in carpenteria metallica in quanto lo scopo principale è quello di valutare l'incremento delle temperature delle carpenterie metalliche nel caso in cui vi sia un incendio all'interno di un Satellite. La potenza termica rilasciata dall'incendio è stata pertanto applicata alla superficie vetrata posta a separazione della *me-*

eting room verso l'atrio.

Nello scenario 5 si prevede un guasto nel sistema *water mist* presente all'interno della *meeting room* e quindi la potenza massima raggiunta dall'incendio è stata valutata essere pari a 5 MW, rimanendo poi costante per 15 minuti prima della fase decrescente.

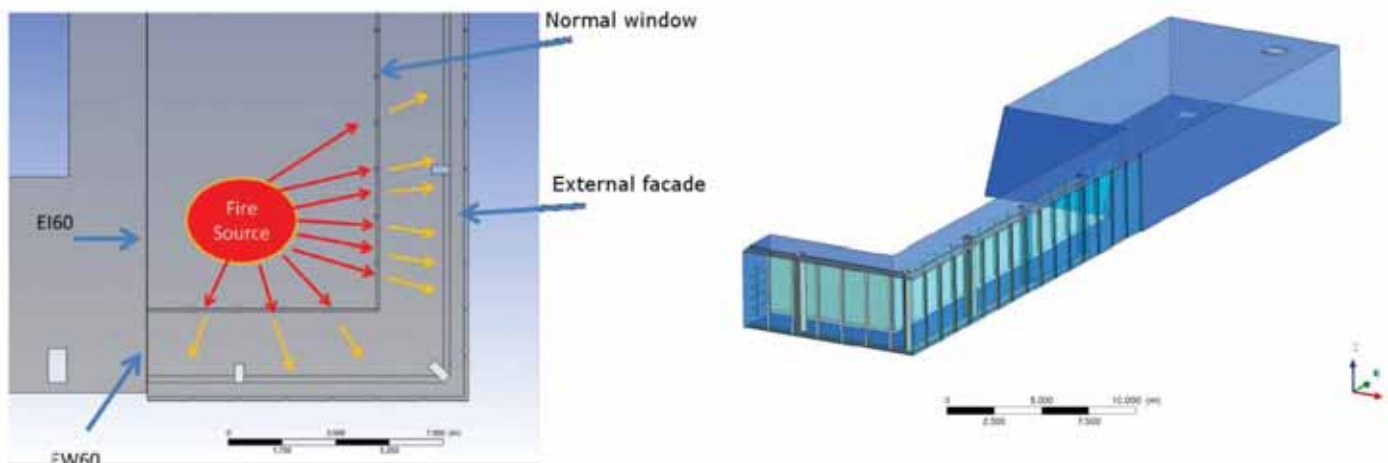


Fig. 9 - Modello CFD per gli scenari 5 e 6

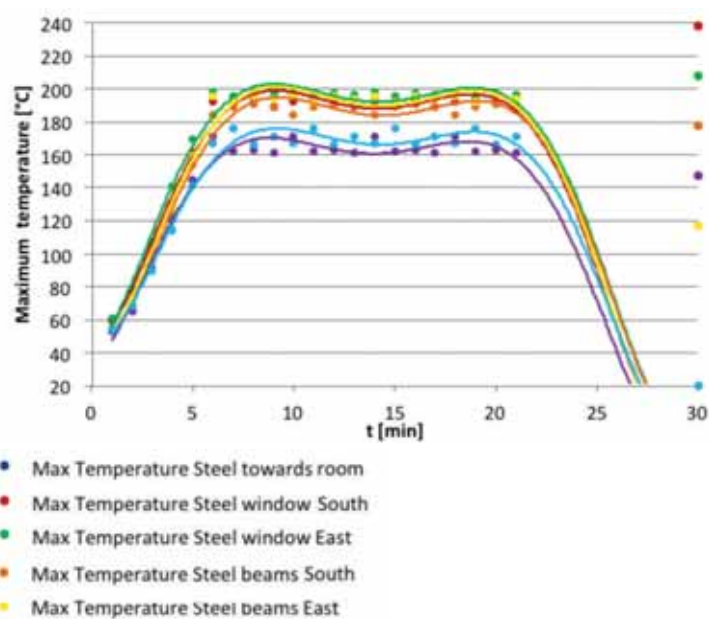


Fig. 10 - Massima temperatura superficiale per delle strutture in acciaio di facciata - Scenario 5

La temperatura media superficiale degli elementi in carpenteria metallica ha un picco di circa 80°C per un periodo di circa 15 minuti. La temperatura massima raggiunta dalla superficie delle strutture è invece pari a 140°C e anch'essa si mantiene costante per circa 15 minuti. Per le strutture della facciata sud i valori massimi raggiunti dalle temperature

sono rispettivamente pari a 110°C per la temperatura media superficiale e 200°C per la temperatura massima superficiale, mantenuti sempre per un periodo di tempo di 15 minuti. Per nessuna porzione di struttura in esame sono stati registrati valori di temperature superficiali superiori a 300°C. In figura 10 si mostra, per lo scenario di incendio 5, l'andamento delle massime temperature superficiali delle strutture di facciata. Nello scenario di incendio 6, analizzato per verificare all'interno del satellite il mantenimento delle condizioni di sicurezza per gli occupanti, non è stata considerata all'interno della *meeting room* la presenza di una ventilazione per l'estrazione dei fumi, mentre si è prevista l'attivazione dell'impianto *water mist*, il quale riduce la potenza dell'incendio a 0,1 MW rispetto ai 5 MW dello scenario 5. Per la curva di sviluppo dell'incendio è stato assunto un coefficiente di crescita pari 0,047 kW/s².

La visibilità all'interno della *meeting room* diventa critica dopo 2 minuti e il valore delle temperature per la maggior parte del locale, diventa critico dopo circa 4 minuti.

I risultati delle analisi degli scenari di incendio 5 e 6, mostrano che le temperature raggiunte dagli elementi strutturali in acciaio del Grande Vuoto nel caso di un incendio all'interno di un Satellite non superano valori critici. Pertanto non è necessario prevedere una protezione passiva al fuoco in quanto risulta già soddisfatta la classe di resistenza al fuoco pari a

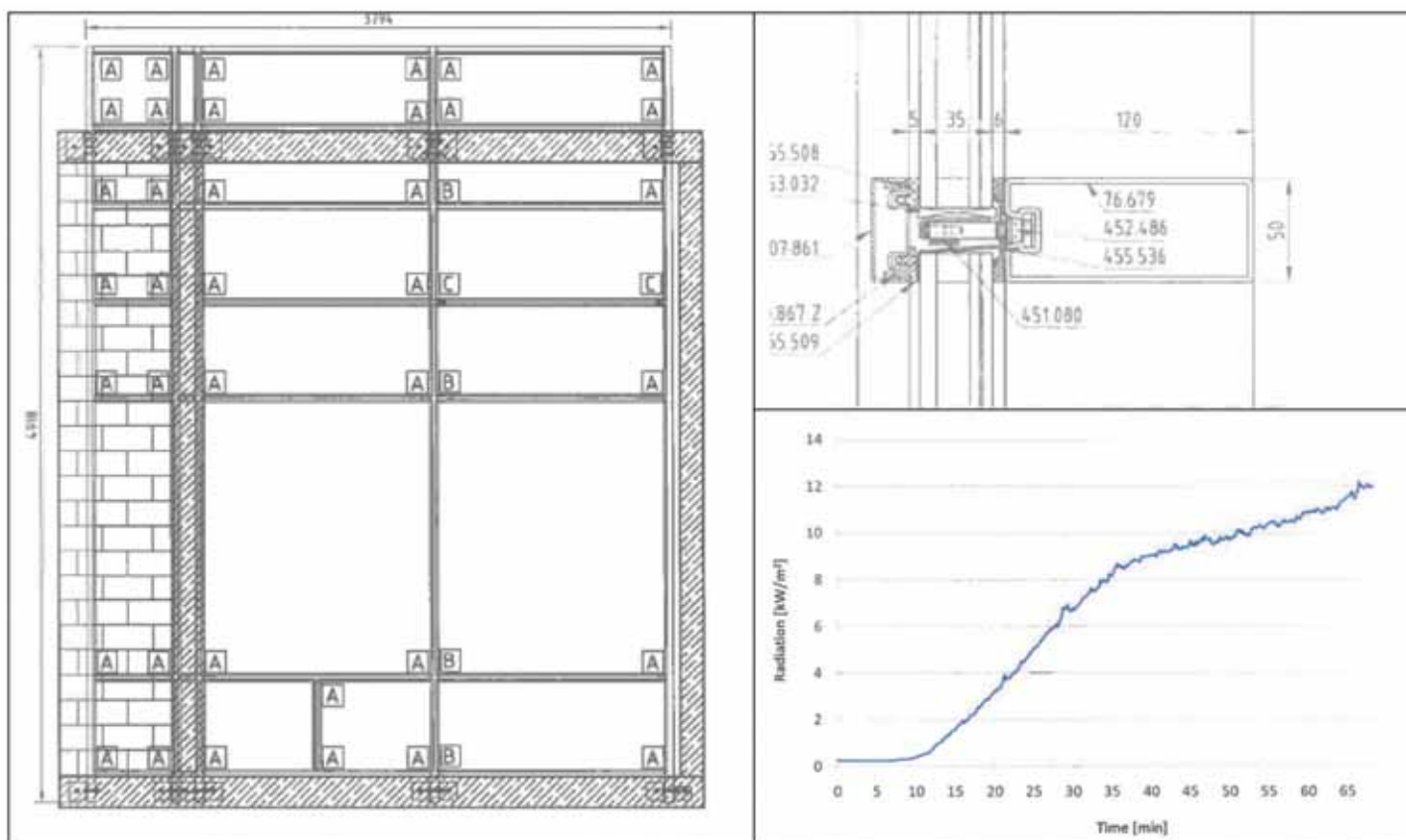


Fig. 11 - Lay-out del campione di prova (sinistra), nodo di facciata tipologico (in alto a destra), curva della potenza radiante emessa (in basso a destra)

R 60 senza alcuna protezione. La presenza del sistema *water mist* risulta essere una condizione migliorativa per la sicurezza al fuoco in quanto previene la propagazione dell'incendio ai piani superiori o all'interno del Grande Vuoto. I risultati dello scenario 6 sono stati utilizzati per implementare la logica di evacuazione dell'edificio al fine di garantire l'esodo in sicurezza degli occupanti.

TEST SPECIFICI DI LABORATORIO

Al fine di garantire la prestazione $EW 60_{(i \rightarrow o)}$ per le facciate poste a separazione tra gli Uffici e il Grande Vuoto, è stata necessario valutare le prestazioni di tali elementi costruttivi tramite un apposito test sperimentale redatto secondo norma EN 1364-3.

In figura 11 si richiama un tipico nodo di facciata, il *layout* del campione di prova e la curva di potenza radiante ottenuta durante la prova.

Si sottolinea come i vetri utilizzati per la facciata sono stati appositamente studiati al fine di garantire le prestazioni di resistenza al fuoco individuate dai modelli CFD e che la composizione individuata non prevede l'utilizzo di gel intumescente, garantendo così che tali elementi non subiscano alterazioni di prestazione in caso di aumento di temperatura durante il periodo estivo.

CONCLUSIONI

La sicurezza al fuoco delle facciate di edifici di grande altezza è un problema complesso e pertanto il ricorso a normative di tipo prescrittivo può non essere sufficiente a garantire un adeguato livello di sicurezza antincendio. Questo articolo mostra come la FSE e le modellazioni CFD siano state impiegate in un caso reale quale utile strumento al fine di risolvere le problematiche legate alla sicurezza al fuoco delle facciate, migliorando il livello di sicurezza antincendio per l'intero edificio.

Il caso analizzato della "Torre Regione Piemonte" evidenzia come sia possibile ottimizzare la tecnologia di costruzione e le misure di sicurezza antincendio di tipo attivo al fine di soddisfare gli obiettivi di sicurezza richiesti, in conformità alle normative antincendio nazionali.

I risultati delle analisi degli scenari di incendio mostrano che le protezioni passive previste per gli elementi strutturali in acciaio, possono essere realizzate in maniera più efficiente. Si è infatti visto che per le strutture della facciata del Grande Vuoto vi è la necessità di una protezione solo dal livello -2 al livello 0. Inoltre, la presenza delle facciate $EW 60_{(i \rightarrow o)}$ e del sistema *water mist* garantiscono il rispetto delle condizioni di sicurezza antincendio richieste per i piani più elevati dell'edificio.

Infine, le modellazioni CFD sono servite anche ad ottimizzare i sistemi di evacuazione del fumo e del calore previsti per il Grande Vuoto, permettendo di ridurre la prestazione di resistenza al fuoco delle facciate di separazione tra Uffici e Grande Vuoto dalla classe EI 60 alla classe $EW 60_{(i \rightarrow o)}$.

Questo caso di studio conferma che l'approccio prestazionale consente l'analisi di facciate complesse, al fine di garantirne l'adempimento ai requisiti di sicurezza al fuoco richiesti e ottimizzarne tempi e costi di costruzione, riducendo al contempo anche i costi complessivi previsti per la manutenzione dell'edificio.

Samuele Sassi⁽¹⁾, Paolo Setti⁽¹⁾, Giuseppe Amaro⁽²⁾, Lamberto Mazziotti⁽³⁾, Giuseppe Paduano⁽³⁾, Piergiacomo Cancelliere⁽³⁾, Mauro Madeddu⁽¹⁾

⁽¹⁾FSC ENGINEERING SRL, Fire & Structure Consulting – via A. Zeron, 4 – 20124 Milano

⁽²⁾GAE Engineering S.r.l., Corso G. Marconi, 20 – 10125 TORINO

⁽³⁾Ministero dell'Interno, Dipartimento dei Vigili del Fuoco, Largo Santa Barbara, 2 – 00178 Roma

RIFERIMENTI

- [1] Fuksas, <http://www.fuksas.it/home.htm#/progetti/0401/>, ultimo controllo 14 Gennaio 2014
- [2] User Manuel Ansys CFX14.0, Ansys CFX-International, 2012
- [3] Mathematical Model and Solution Algorithms Manual, Ansys 14.0, Ansys CFX-International, 2010
- [4] Drysdale D., Fire Dynamics, John Wiley & Sons, Chichester, 1985
- [5] Mulholland G.W.: Smoke production and properties in DiNenno P.J., et al, Editors, SPPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2. Edition, Chapter 15, Section 2. pp. 217-227, 2002
- [6] Leif Staffanson, Selecting design fires, Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University, 2010
- [7] Boverket, Boverkets allmänna råd 2011 – Vägledning i analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, 2011
- [8] Calculating smoke potential for use in Argos, Danish Institute of Fire and Security Technology, Bjarne Husted, 2004.

LA PROTEZIONE DALLA CORROSIONE DI STRUTTURE METALLICHE

con pitture idrodiluibili (ecocompatibili) qualificate secondo standard internazionali UNI EN ISO 12944 e NORSOK M-501 Rev.6.

Corrosion protection of metal structures

with water-based paints (environmentally friendly) qualified according to international standards UNI EN ISO 12944 and NORSOK M-501 Rev.6.

Marco Trentini



L'acciaio non protetto esposto all'aria, immerso in acqua o interrato, è soggetto alla corrosione, che può provocare danneggiamenti. Pertanto, per evitare tali danneggiamenti, le strutture di acciaio sono generalmente protette per resistere alle sollecitazioni corrosive per tutto il tempo di vita richiesto alla struttura. L'articolo intende descrivere principalmente l'utilizzo di pitture idrodiluibili.

The unprotected steel exposed to air, immersed in water or buried, is subject to corrosion, which can cause damage. Therefore, to avoid such damage, the steel structures are generally protected to withstand the corrosive stresses over the entire life time required for the structure. The article deals mainly with the usage of water-based paints.

Fig. 1 - Ponte sul fiume Piave (Belluno) – esempio di struttura metallica sulla quale è difficoltoso effettuare interventi di manutenzione. Fig. 2 - Golden Gate (S. Francisco) manutenzione con pittura elastomerica idrodiluibile

Classe di corrosività	Esempi di ambienti tipici (all'esterno)	Esempi di ambienti tipici (all'esterno)
C1 (molto bassa)	-	Edifici riscaldati con atmosfera pulita, per esempio uffici, negozi, scuole, alberghi.
C2 (bassa)	Ambienti con basso livello di inquinamento. Soprattutto aree naturali.	Edifici non riscaldati dove può verificarsi condensa, per esempio depositi, locali sportivi.
C3 (media)	Ambienti urbani e industriali, modesto inquinamento da anidride solforosa. Zone costiere con bassa salinità.	Locali di produzione con alta umidità e un certo inquinamento atmosferico; per esempio industrie alimentari, lavanderie, birrerie, caseifici.
C4 (alta)	Aree industriali e zone costiere con moderata salinità.	Impianti chimici, piscine, cantieri costieri per imbarcazioni.
C5-I (molto alta industriale)	Aree industriali con alta umidità e atmosfera aggressiva.	Edifici o aree con condensa quasi permanente e con alto inquinamento.
C5-M (molto alta marina)	Zone costiere e offshore con alta salinità.	Edifici o aree con condensa quasi permanente.

Tabella 1 - Classi di corrosività atmosferica secondo UNI EN ISO 12944-2

1. INTRODUZIONE

È stato calcolato che da alcuni anni il 4-5% del P.I.L. (Prodotto Interno lordo) di ogni Paese industrializzato è perso per la corrosione delle strutture con conseguenti danni diretti (costo delle materie prime ed enormi quantità di energia necessarie per la produzione del prodotto finito) e danni indiretti (minori rendimenti o fermate degli impianti, intralci a lavori e trasferimenti ecc.).

Si è riscontrato altresì che, perseguendo una politica più attenta alla protezione delle strutture, è possibile risparmiare 1,5% sulla perdita del P.I.L.

La prevenzione della corrosione, deve iniziare (ma troppo spesso non è così) seguendo dei principi basilari durante la progettazione delle strutture:

- adottare i materiali metallici più idonei;
- semplificare e modificare le forme dei singoli pezzi in modo da eliminare o fare defluire i liquidi residui compresa l'umidità;
- evitare o ridurre l'accumulo di solidi (sporcizia) negli anfratti;

- interporre rondelle o guarnizioni isolanti per evitare il contatto di metalli a diversa nobiltà;
- prevedere idonee saldature (eseguite con elettrodi adeguati, continue e nella giusta posizione);
- prescrivere l'uso di bulloni zincati in modo adeguato con il loro esercizio.

Qualora nella struttura metallica si verificassero gravi inconvenienti di corrosione dovuti a difetti di progettazione, diventerà molto difficile, se non impossibile, modificare certe forme geometriche o sostituire un particolare pezzo di metallo con un altro più nobile mantenendo le stesse caratteristiche meccaniche e fisiche (figura 1).

I costi di manutenzione delle strutture metalliche diventano elevatissimi ove non siano previste le seguenti condizioni:

- protezione anticorrosiva delle strutture per mezzo di opportuni rivestimenti (da valutare specificatamente);
- controllo periodico della conservazione del rivestimento protettivo (ogni 6/12 mesi);
- manutenzione programmata preventiva (intervenendo all'inizio del decadimento protettivo con interventi semplici, facili ed economici) (figura 2).

Queste raccomandazioni, unitamente ad altre, sono riportate in modo specifico in alcuni standard internazionali come la norma UNI EN ISO 12944 o lo standard NORSOK M-501.

2. STANDARD UNI EN ISO 12944

La norma UNI EN ISO 12944 tratta la protezione mediante verniciatura e prende in considerazione, nelle sue diverse parti, tutti i fattori importanti per ottenere una protezione adeguata contro la corrosione.

È proprio la sua completezza, nel trattare tutti gli aspetti determinanti, a renderla una guida universale regolarmente utilizzata da tecnici, progettisti, ispettori e più in generale da tutti gli attori

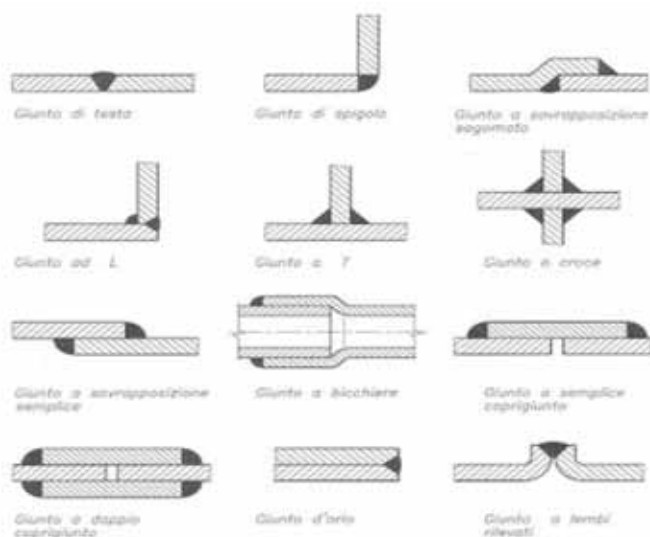


Fig. 3 - Sigillatura giunti

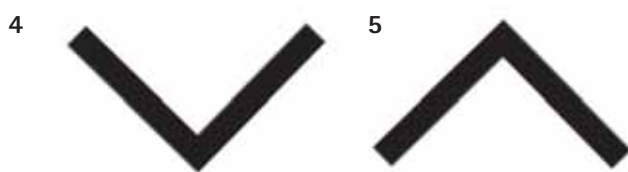


Fig. 4 - Configurazione non corretta. Fig. 5 - Configurazione corretta

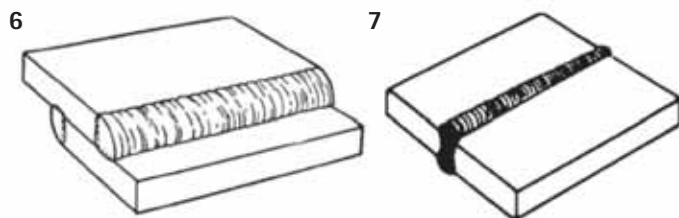


Fig. 6 - Saldatura d'angolo (difficile da sabbare e pitturare). Fig. 7 - Saldatura testa a testa (migliore)

coinvolti nel settore anticorrosione.

Lo standard UNI EN ISO 12944 è suddivisa 8 in parti:

- parte 1: introduzione generale;
- parte 2: classificazione degli ambienti;
- parte 3: considerazioni sulla progettazione;
- parte 4: tipi di superficie e loro preparazione;
- parte 5: sistemi di verniciatura protettiva;
- parte 6: prove di laboratorio per le prestazioni;
- parte 7: esecuzione e sorveglianza dei lavori di verniciatura;
- parte 8: stesura di specifiche per lavori nuovi e di manutenzione.

Ai fini della UNI EN ISO 12944-2 gli ambienti atmosferici sono classificati in sei classi di corrosività atmosferica come mostrato nella tabella 1.

Poiché la durata dell'efficacia protettiva della verniciatura è generalmente minore della durata in servizio della struttura, in fase di pianificazione e progettazione deve essere prestata adeguata attenzione alla possibilità di manutenzione o di rifacimento della verniciatura.

Il livello di degrado della verniciatura prima del primo importante intervento di manutenzione deve essere concordato fra le parti interessate e deve essere stabilito in conformità alle parti da 1 a 5 della norma UNI EN ISO 4628 se non diversamente concordato fra le parti interessate.

Nella norma UNI EN ISO 12944-1 la durabilità è espressa secondo tre classi:

- bassa (L) da 2 a 5 anni
- media (M) da 5 a 15 anni
- alta (H) più di 15 anni

“La durabilità non costituisce una ‘garanzia di durata’. La durabilità è una considerazione tecnica che può aiutare il committente nella stesura di un programma di manutenzione” (da UNI EN ISO 12944-1).

La parte 3 della UNI EN ISO 12944 tratta i criteri fondamentali per la progettazione delle strutture in acciaio da proteggere con la verniciatura allo scopo di evitare una corrosione prematura e il degrado della verniciatura stessa o della struttura.

In generale, i componenti in acciaio devono essere progettati in modo da essere accessibili per l'applicazione, il controllo e la manutenzione della verniciatura. Questo risultato può essere facilitato, per esempio, da passerelle fisse, piattaforme mobili, o altre attrezzature ausiliarie. È in sede di progetto che si dovrebbero prevedere gli accessori necessari per poter effettuare in sicurezza i lavori di manutenzione (per esempio ganci, appoggi e ancoraggi per le impalcature, rotaie di guida per le apparecchiature di sabbatura e per l'applicazione delle pitture). È difficile prevedere in un secondo momento gli accessi necessari per la manutenzione ma, se non sono inseriti nel progetto, spetta al progettista indicare chiaramente come possono essere realizzati in futuro.

Tutte le superfici della struttura, che devono essere verniciate, dovrebbero essere visibili e raggiungibili dall'applicatore senza alcun pericolo. Si dovrebbe prestare particolare attenzione ad assicurare un libero passaggio alle aperture di accesso alle parti scatolate e nei serbatoi. Dovrebbero essere evitati spazi stretti fra gli elementi tutte le volte che è possibile. I componenti a rischio corrosione e inaccessibili dopo il montaggio dovrebbero essere costruiti con materiali resistenti alla corrosione, oppure, dovrebbero essere trattati mediante verniciatura in grado di proteggerli per tutta la durata della loro permanenza in servizio. Gli interstizi stretti, le fessure cieche e le giunzioni che si sormontano sono altrettanti punti sensibili alla corrosione, a causa della ritenzione dell'umidità e delle impurezze; si dovrebbe evitare questa corrosione potenziale con una sigillatura. Le superfici a contatto dovrebbero essere sigillate mediante un cordone di saldatura continuo, per impedire la penetrazione di umidità e sporcizia (figura 3).

Dovrebbero essere evitate le configurazioni delle superfici nelle quali l'acqua può rimanere intrappolata e, in presenza di sostanze estranee, aumentare il rischio di corrosione (figure 4 e 5).

Le precauzioni da prendere per realizzare questi obiettivi sono:

- progettare superfici inclinate o a spigolo smussato;
- evitare le sezioni aperte superiormente o prevedere di sistemarle in posizione inclinata;
- evitare tasche e incavature nelle quali acqua e impurezze possono essere intrappolate;
- assicurare il drenaggio dell'acqua e dei liquidi corrosivi fuori dalla struttura.

Sono inoltre raccomandati spigoli arrotondati (consigliato raggio di 2 mm), per applicare il rivestimento protettivo in modo uniforme ed avere uno spessore adeguato sugli spigoli vivi.

I rivestimenti sugli spigoli vivi, sono infatti anche più esposti ai danneggiamenti. Quindi, tutti gli spigoli vivi risultanti dai processi di fabbricazione devono essere arrotondati o smussati, e dovrebbe-



Fig. 8 - Carpenteria sgrassata e preparata al grado Sa2,5

ro essere rimosse le bave attorno ai fori e lungo i bordi dei tagli. Le saldature dovrebbero essere esenti da imperfezioni (per esempio: asperità, rientranze, soffiature, crateri, schizzi) che sono difficili da ricoprire con la verniciatura in modo efficace (figure 6 e 7).

Bulloni, dadi e rondelle devono essere protetti dalla corrosione, con la stessa durabilità della protezione dalla corrosione che ha la struttura.

La parte 4 della UNI EN ISO 12944 riguarda i tipi di superficie e la loro preparazione.

L'obiettivo principale della preparazione superficiale è rimuovere il materiale dannoso e ottenere una superficie che permetta una soddisfacente adesione all'acciaio del primo strato di pittura. Olio, grasso, sali, impurezze e altri contaminanti devono essere eliminati il più presto possibile prima dell'ulteriore preparazione delle superfici, con metodo appropriato. Per quanto riguarda la rimozione di olio, grasso e sali, il mercato mette a disposizione degli applicatori differenti opzioni, dalla pulitura con vapore e/o acqua, allo sgrassaggio con detergenti alcalini piuttosto che con detergenti emulsionanti.

Discorso differente è quello legato ai tre principali contaminanti spesso presenti sulla superficie da pitturare:

- ruggine e calamina, asportabili per azione meccanica, in particolare attraverso la granigliatura;
- la condensa.

Quest'ultima rappresenta il più "subdolo" dei contaminanti superficiali, perché non è visibile a occhio nudo, ma rilevabile solo ed esclusivamente attraverso rilevamento delle condizioni ambientali, in particolare la temperatura di rugiada (dew point o punto di rugiada).

La granigliatura, occupando una posizione molto importante all'interno dell'intera filiera lavorativa, è a sua volta normata da standard internazionali, ad esempio la norma ISO 8501-1, che ne descrive i gradi di preparazione.

In linea del tutto generale, il requisito minimo richiesto per ottenere un'adeguata preparazione superficiale, è il grado Sa 2,5 detto anche a "metallo quasi bianco", con un profilo di rugosità medio (come definito dalla norma ISO 8503-2).

L'intervallo di tempo trascorso dal momento in cui la struttura è stata granigliata al momento in cui viene applicato il primo strato di pittura deve essere il più breve possibile, e comunque non superiore alle 4 ore, in modo tale da evitare fenomeni nascenti di ossidazione superficiale che potrebbero avere un effetto negativo sulla qualità della protezione strutturale.

La parte 5 della UNI EN ISO 12944 fornisce degli esempi di cicli di verniciatura protettiva. Trattandosi di esempi, la tipologia di prodotti vernicianti proposti e soprattutto gli spessori secchi indicati, sono assolutamente indicativi; devono quindi essere considerati come parametri guida. I sistemi vernicianti riportati nello standard sono stati composti, soprattutto, sulla base dell'esperienza fatta sul campo negli ultimi 60 anni.

Essendo state definite differenti classi di corrosività, la composizione dei sistemi vernicianti proposti ha seguito lo stesso principio, sia nella scelta della tipologia di prodotto sia nell'indicazione degli spessori consigliati ma non vincolanti (tabelle 2 e 3).

Un esempio concreto di struttura metallica esposta in classe di corrosività C3 può essere rappresentato da macchinari agricoli o gru edili (figura 9). Un esempio concreto di struttura metallica esposta in classi di corrosività C5M e C5I può essere rappresentato da tri-

Tipologia prodotto	Spessore secco per singolo strato
Primer epossidico idrodiluibile	90 micron
Finitura poliuretanica idrodiluibile	50 micron
Spessore secco totale	140 micron

Tabella 2 - Esempio di sistema verniciante idrodiluibile qualificato per classe C3-H

Tipologia prodotto	Spessore secco per singolo strato
Primer zincante epossidico idrodiluibile	75 micron
Intermedio epossidico idrodiluibile ad alto spessore	175 micron
Finitura poliuretanica idrodiluibile	50 micron
Spessore secco totale	300 micron

Tabella 3 - Esempio di sistema verniciante idrodiluibile qualificato per classe C5M-H e C5I-H



Fig. 9 – Ciclo di verniciatura ecocompatibile qualificato C3-H composto da 90 micron di HYDROGUARD® SZ (primer epossidico idrodiluibile a rapida essiccazione) e da 50 micron di HYDROTHANE® (finitura poliuretanica idrodiluibile). Fig. 10 – Ciclo di verniciatura ecocompatibile qualificato C5M-H, C5I-H e NORSOK M-501 System 7B, composto da 75 micron di HYDROGUARD® Zinc 78 (primer zincante epossidico idrodiluibile a 2 componenti), da 175 micron di HYDROGUARD® HB (intermedio epossidico idrodiluibile ad alto residuo solido) e da 50 micron di HYDROTHANE® (finitura poliuretanica idrodiluibile)

velle petrolifere (figura 10).

Un aspetto fondamentale della norma UNI EN ISO 12944 è quello relativo alla qualifica.

La parte 6 della UNI EN ISO 12944 è dedicata alle prove di laboratorio, che è necessario superare, per poter definire come qualificato un sistema verniciante (tabella 4).

In altre parole, qualificare un sistema di verniciatura secondo UNI EN ISO 12944 sostanzialmente significa:

- identificare la classe di corrosività in cui andrà posizionata la struttura metallica da proteggere;
- definire la classe di durabilità desiderata;
- comporre il sistema verniciante sulla base degli esempi riportati nella parte 5 della UNI EN ISO 12944;

Classe	Durabilità	Resistenza chimica (ISO 2812-1)	Condensa in acqua (ISO 6270-2)	Nebbia salina (ISO 9227)
C2	Bassa	-	48h	-
	Media	-	48h	-
	Alta	-	120h	-
C3	Bassa	-	48h	120h
	Media	-	120h	240h
	Alta	-	240h	480h
C4	Bassa	-	120h	240h
	Media	-	240h	480h
	Alta	-	480h	720h
C5-M	Bassa	-	240h	480h
	Media	-	480h	720h
	Alta	-	720h	1440h
C5-I	Bassa	168h	240h	480h
	Media	168h	480h	720h
	Alta	168h	720h	1440h

Tabella 4 - Procedimento di prova per qualifica di verniciature su acciaio secondo UNI EN ISO 12944

- eseguire (e soprattutto superare) i test di qualifica riportati nella parte 6 della UNI EN ISO 12944.

La parte 7 della UNI EN ISO 12944 è dedicata all'esecuzione e alla sorveglianza dei lavori di verniciatura.

Particolare attenzione è dedicata al fatto che le imprese incaricate di verniciare le strutture di acciaio, come pure il loro personale, devono essere capaci di effettuare i lavori correttamente e in sicurezza.

Salvo diverso accordo tra le parti interessate, i lavori, la cui esecuzione richiede una cura particolare, devono essere effettuati da personale qualificato e certificato da un organismo accreditato.

Se l'impresa applicatrice dispone di un sistema operante di assicurazione della qualità, deve preparare un piano "qualità" basato sui principi generali della qualità di esecuzione dei lavori.

Deve essere descritto il metodo di realizzazione per ogni fase del lavoro.

L'impresa deve dimostrare di essere in grado di realizzare il livello di qualità specificato per ogni fase, utilizzando, per esempio, un sistema di assicurazione delle qualità conforme alla ISO 9001.

Se non diversamente concordato, l'impresa deve fornire al cliente gli estratti di tutte le procedure di esecuzione e supervisione riportate nel suo manuale della qualità che sono in rapporto con il contratto.

In sostanza, la corretta preparazione superficiale, e la corretta applicazione dei prodotti vernicianti riportati nella specifica del cliente rappresentano i punti cardine per la buona riuscita del lavoro di verniciatura protettiva.

Purtroppo, molto spesso, non viene rispettato questo fondamentale aspetto, con l'esecuzione di una preparazione superficiale non soddisfacente, o addirittura, **utilizzando all'insaputa del cliente**, prodotti vernicianti che non sono a specifica, quasi sempre senza alcuna qualifica che possa attestarne la qualità e le *performance*.

Proprio per questo motivo diventa fondamentale un controllo serrato da parte del cliente sui propri fornitori, sia direttamente che attraverso l'ausilio di ispettori certificati FROSIO o in alter-

Certificazione degli ispettori di collaudo delle verniciature

Gli ispettori di collaudo di cicli vernicianti per la protezione dalla corrosione, rappresentano il più importante strumento a disposizione dei clienti che intendano assicurarsi dell'avvenuto rispetto delle specifiche di verniciatura.

Tra le organizzazioni oggi esistenti le più quotate a livello internazionale sono principalmente due.

La prima è l'ente norvegese FROSIO (The Norwegian Professional Council for Education and Certification of Inspectors for Surface Treatment) fondato a Oslo nel 1986 con lo scopo di formare e certificare ispettori. Per questo motivo, l'ente FROSIO organizza corsi professionali in tutto il mondo, della durata complessiva di 80 ore, svolti in accordo a standard NS 476. L'atto finale del corso FROSIO è l'esame di abilitazione alla professione, che consiste in una giornata intera suddivisa in prova teorica e prova pratica. Tutti i professionisti che superano l'atto dell'esame finale ricevono un patentino che ne certifica l'idoneità alla professione d'ispettore, suddiviso in 3 livelli che differiscono per il grado di esperienza. Il grado più alto è rappresentato dal Livello 3, necessario anche per poter esercitare la professione di docente ai corsi organizzati in tutto il mondo.

La seconda è l'ente NACE International, fondato nel 1986 in Texas (USA).

nativa NACE.

La parte 8 della UNI EN ISO 12944, infine, tratta la stesura di specifiche per lavori nuovi e di manutenzione. Si applica ai lavori nuovi e di manutenzione sia in officina sia in sito ed è applicabile anche alla protezione dalla corrosione di singoli componenti.

Nella stesura di una specifica per lavori nuovi o di manutenzione è importante scegliere il sistema di verniciatura protettiva più adatto.

A tal scopo devono essere presi in esame tutti i parametri interessati, per esempio:

- la durabilità richiesta;
- le condizioni ambientali e le sollecitazioni particolari;
- i differenti tipi di pitture;
- i tipi e il numero di strati (strato di fondo, strato di intermedio, strato di finitura);
- i metodi di applicazione e i requisiti per l'applicazione;
- il luogo dell'applicazione (in officina o in sito);
- i requisiti relativi all'impalcatura;
- i requisiti relativi alla (futura) manutenzione (se prevista);
- i requisiti relativi all'igiene e alla sicurezza (UNI EN ISO 12944-1);
- i requisiti relativi alla protezione dell'ambiente (UNI EN ISO 12944-1).

Queste ultime due voci sono estremamente importanti e interessanti.

Infatti, nella parte 1 della UNI EN ISO 12944, precisamente paragrafo 5, e nella parte 5 della UNI EN ISO 12944, precisamente ANNEX D, viene espressamente caldeggiato l'impiego di pitture idrodiluibili, per la salvaguardia dell'ambiente e degli operatori. In particolare nella parte 1, al paragrafo 5, viene espressamente riportato che è obbligo di clienti, redattori di specifiche, imprese, fabbricanti di pitture, controllori e di ogni altra persona che prenda parte ad un progetto, di eseguire i lavori di cui è responsabile in modo da non mettere in pericolo salute e sicurezza sia proprie che altrui, anche riducendo le emissioni di composti organici volatili (COV).

In altre parole, la specifica è il documento ufficiale, redatto da progettisti e tecnici, il cui scopo è quello di descrivere le procedure da

seguire per ottenere un lavoro fatto a "regola d'arte".

Proprio per questo motivo, è fondamentale, per il cliente assicurarsi del fatto che tale specifica venga tassativamente rispettata, attraverso ispezioni programmate (a volte senza preavviso), impedendo di fatto qualsiasi deviazione "creativa" che, spesso e volentieri, si traduce in decadimenti prematuri con conseguenti contestazioni e richieste danni.

La norma UNI EN ISO 12944 rappresenta quindi uno strumento completo, a disposizione di tutti, tecnici, progettisti, ispettori.

Soprattutto, in un unico documento, sono riportate le linee guida per organizzare e programmare tutti gli step concernenti la vita utile della struttura metallica, dalle fasi embrionali della progettazione, alle fasi centrali di preparazione e verniciatura, alle fasi finali di manutenzione.

Questo è il motivo per il quale la UNI EN ISO 12944 rappresenta la linea guida di tutti gli anticorrosionisti.

3. STANDARD NORSOK M-501 REV.6

Gli standard NORSOK sono stati sviluppati dall'industria petrolifera norvegese.

L'idea principale, era quella di ottimizzare l'aspetto della sicurezza parallelamente alla funzionalità delle operazioni nell'industria petrolifera, sia *Onshore* che, soprattutto, *Offshore*. In sostanza, l'obiettivo che si vuole raggiungere, è quello di lavorare con qualità ma in maniera assolutamente sicura per gli operatori.

In particolare, lo standard NORSOK M-501 indica i requisiti per:

- la selezione dei prodotti vernicianti (Protective Coatings);
- la preparazione superficiale;
- le procedure da seguire in fase applicativa e di ispezione;
- qualificare i sistemi vernicianti;
- qualificare le società e il personale (applicatori, sabbiatori, ecc.);
- qualificare le procedure.

Tutti questi aspetti, devono essere verificati da laboratori indipendenti e da ispettori certificati FROSIO (Livello 3) o in alternativa NACE (Livello 3).

Lo standard NORSOK M-501 Rev.6 riporta 9 sistemi di verniciatura differenti, ognuno dei quali idoneo a soddisfare requisiti differenti,



Fig. 11 – Piattaforma Offshore. Fig. 12 – Ciclo di verniciatura ecocompatibile qualificato C5M-H, C5I-H e NORSOK M-501 System 1, composto da 75 micron di HYDROGUARD® Zinc (primer zincante epossidico idrodiluibile a 3 componenti), da 175 micron di HYDROGUARD® HB (intermedio epossidico idrodiluibile ad alto residuo solido) e da 50 micron di HYDROTHANE® (finitura poliuretanica idrodiluibile)

alcuni dei quali richiedono la prequalifica presso laboratorio indipendente.

Il sistema più utilizzato è sicuramente il System 1, poiché pensato e ottimizzato per la protezione di strutture in acciaio al carbonio operanti a temperature inferiori a 120°C, poste in atmosfera marina (figure 11 e 12).

In pratica il System 1 secondo standard NORSOK M-501 Rev. 6, identifica il sistema di verniciatura idoneo a proteggere strutture in acciaio al carbonio poste in ambiente con categoria di corrosività C5M come definito dalla UNI EN ISO 12944. Anche nello standard NORSOK M-501 Rev.6, precisamente al paragrafo 1 e al paragrafo 4,5 viene espressamente caldeggiato l'impiego di pitture idrodiluibili per la salvaguardia dell'ambiente e degli operatori.

4. PITTURE IDRODILUIBILI QUALIFICATE

A oggi, nel 2016, è opinione molto diffusa tra i progettisti e più in generale tra gli utilizzatori finali di prodotti vernicianti, che le pitture protettive idrodiluibili siano prodotti “giovani”.

Nella migliore delle ipotesi, si ritiene che non ci siano esperienze con questo tipo di prodotti, sicuramente innovativi ma non proprio così “giovani” e inesperti, anzi.

Fino al 1800 l'olio di lino ha rappresentato l'unico veicolo per pitture e vernici. La prima fabbrica di vernici nasce in Inghilterra nel 1790, mentre in Italia, nel 1860.

All'inizio del 1900 compaiono i primi polimeri sintetici (resine fenoliche) impiegati in miscela con olio di lino.

A partire dal 1930 inizia il vero sviluppo tecnologico dell'industria delle vernici con l'ingresso delle resine alchidiche.

Le prime emulsioni acquose di acetato di polivinile compaiono nel 1950.

Le prime resine epossidiche e poliacriliche compaiono nel 1960, e finalmente, nel 1970 compaiono le prime resine epossidiche in dispersione acquosa.

Questo significa che sostanzialmente la “differenza di età” (e quin-

di l'esperienza) tra pitture protettive a solvente e idrodiluibili è sostanzialmente di appena 10 anni...quindi trascurabile.

Ma quali sono i vantaggi connessi all'utilizzo di pitture idrodiluibili in sostituzione delle ormai obsolete pitture a solvente? Sono molteplici.

Il primo enorme vantaggio è legato all'aspetto della sicurezza per gli operatori e alla salvaguardia dell'ambiente.

È noto che i prodotti vernicianti contengono quelli che vengono definiti Composti Organici Volatili (COV oppure VOC in inglese) che, sostanzialmente, rappresentano le così dette “emissioni in atmosfera”.

Ebbene, se un prodotto verniciante a solvente ha un tenore di COV compreso tra 450 g/l e 600 g/litro, nel caso di un prodotto verniciante idrodiluibile questo valore è ridotto anche di 10-15 volte: esistono infatti prodotti vernicianti idrodiluibili con contenuto in COV inferiore a 20-30g/l.

Inoltre, i prodotti vernicianti a solvente devono essere necessariamente diluiti con diluente organico, con ulteriore aumento del contenuto di COV al proprio interno.

Viceversa, il prodotto verniciante idrodiluibile, deve essere diluito esclusivamente con acqua dolce, con la naturale conseguenza di ridurre ulteriormente le emissioni.

È ancora troppo diffusa, purtroppo, l'opinione secondo la quale i prodotti idrodiluibili sono lenti ad asciugare e che, quindi, necessitano di un forno di essiccazione.

Questa convinzione è assolutamente errata: il prodotto idrodiluibile (formulato per la protezione anticorrosiva) apprezza una buona ventilazione ma non è assolutamente necessario, anzi, è sconsigliabile, l'impiego di forni di asciugatura.

Oggi sono disponibili prodotti idrodiluibili, qualificati, che essicano al tatto in 60 minuti senza l'ausilio del forno (spesso indispensabile per i prodotti del settore industriale).

È ancora troppo diffusa l'opinione secondo la quale i prodotti idrodiluibili non siano in grado di fare spessore in un unico strato.

Anche questa convinzione, purtroppo ereditata dal settore industriale (che nulla ha a che vedere con il settore Protective Coatings) è assolutamente errata.

Oggi sono disponibili prodotti idrodiluibili qualificati, applicabili fino a 300 micron secchi in un singolo strato.

È ancora troppo diffusa l'opinione secondo la quale, con i prodotti idrodiluibili non ci sia esperienza.

Anche questa affermazione è assolutamente falsa, poiché da oltre 20 anni, i prodotti idrodiluibili per anticorrosione sono impiegati in tutto il mondo nella protezione di strutture in acciaio progettate e appartenenti alle principali società petrolifere, chimiche e di engineering mondiali.

In sostanza, oggi, il mercato mette a disposizione una gamma completa di prodotti vernicianti per anticorrosione (Protective Coatings) idrodiluibili qualificati secondo standard internazionali come UNI EN ISO 12944 e NORSOK M-501 Rev.6, oltre che approvati da società petrolifere e/o enti statali.

È infatti possibile reperire:

- zincanti epossidici idrodiluibili in accordo a regolamentazione SSPC Paint 20;
- primer e intermedi epossidici idrodiluibili qualificati e a rapida essiccazione (fuori tatto in 60 minuti a 20°C e applicabili fino a 100-120 micron di spessore in singolo strato senza colature);
- primer e intermedi epossidici idrodiluibili qualificati e ad elevato residuo solido in volume (applicabili fino a 250-300 micron di spessore in singolo strato senza colature);
- finiture poliuretatiche idrodiluibili qualificate;
- finiture poliuretatiche fluorurate idrodiluibili qualificate;
- pitture siliciche idrodiluibili qualificate e/o approvate per servizio ad alte temperature (fino a 600°C).

Inoltre, al contrario di ciò che purtroppo ancora molti addetti ai lavori pensano, l'impiego di pitture idrodiluibili comporta indirettamente un importante risparmio economico rispetto all'impiego di pitture a solvente, dovuto sostanzialmente a questi fattori:

- il prodotto idrodilubile si diluisce esclusivamente con acqua, quindi non occorre acquistare diluente;
- le apparecchiature da spruzzo si lavano esclusivamente con acqua dolce, quindi non occorre acquistare diluente, che di fatto scompare dal reparto di verniciatura;
- i filtri a carboni attivi, necessari per l'abbattimento delle emissioni, avranno vita utile notevolmente maggiore, per la riduzione delle emissioni (10-15 volte in meno) dovute all'impiego di pitture idrodiluibili;
- le guarnizioni delle pompe e delle pistole utilizzate in verniciatura avranno vita utile notevolmente maggiore, comportando una drastica riduzione dei costi di manutenzione;
- la maggior parte dei prodotti idrodiluibili non sono etichettati come pericolosi, quindi non è richiesta la costruzione di un deposito vernici dedicato allo scopo.

Occorre inoltre considerare che non sono assolutamente necessari investimenti in apparecchiature o altro, qualora si decida finalmente di sostituire il prodotto verniciante a solvente con quello idrodilubile.

È assolutamente possibile utilizzare le stesse apparecchiature da spruzzo per entrambe le tipologie di prodotto, con l'accortezza di lavare con l'opportuno diluente la pompa prima di convertire l'applicazione da prodotto a solvente a prodotto idrodilubile e viceversa.

Infine, il quesito che spesso viene posto è il seguente: le pitture idrodiluibili hanno raggiunto le *performance* delle pitture a solvente?

La risposta ufficiale a questo quesito, è che le pitture idrodiluibili per anticorrosione (Protective Coatings) hanno ormai raggiunto almeno le stesse *performance* degli omologhi, ma ormai obsoleti, prodotti a solvente, altrimenti non sarebbe stato possibile ottenere qualifiche internazionali in accordo a standard UNI EN ISO 12944, NORSOK M-501 Rev. 6 e ad altre specifiche di società di engineering internazionali.

Invece, la risposta ufficiosa a questo quesito, è che in realtà i *Protective Coatings* idrodiluibili hanno ormai superato le *performance* dei tradizionali prodotti a solvente, come evidenziato dall'esperienza sul campo, *worldwide*, su strutture *Offshore* protette con entrambi in sistemi ma in condizioni decisamente migliori quando protette con pitture idrodiluibili qualificate.

dr. Marco Trentini

Responsabile R&D, FROSIO-Inspector Level III, Ti.Pi.Ci. S.a.s. Div. LABORIS

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gruppo IspAC (Ed. 2009), *Elementi di corrosione ed anticorrosione*.
 - [2] Danilo Malavolti (Ed. 1981), *Manuale di verniciatura 1 - Preparazione delle superfici*. La Rivista del Colore Srl.
 - [3] Kjærsmo D., Kleven K., Schede J. (Ed. 2003), *Corrosion protection: inspector's book of reference*. Hempel A/S.
 - [4] *Standard UNI EN ISO 12944-1* (Ed. Aprile 2001)
 - [5] *Standard UNI EN ISO 12944-2* (Ed. Aprile 2001)
 - [6] *Standard UNI EN ISO 12944-3* (Ed. Aprile 2001)
 - [7] *Standard UNI EN ISO 12944-4* (Ed. Aprile 2001)
 - [8] *Standard UNI EN ISO 12944-5* (Ed. Maggio 1998)
 - [9] *Standard UNI EN ISO 12944-6* (Ed. Aprile 2001)
 - [10] *Standard UNI EN ISO 12944-7* (Ed. Aprile 2001)
 - [11] *Standard UNI EN ISO 12944-8* (Ed. Gennaio 2002)
 - [12] *Standard NORSOK M-501 Rev.6*
-

MARCATURA CE

La zincatura e la dichiarazione di durabilità



**Associazione
Italiana
Zincatura**

A cura di AIZ - Associazione Italiana Zincatura

Secondo la norma UNI EN 1090-1, ai fini della marcatura CE la durabilità dei componenti e kit strutturali in acciaio deve essere dichiarata in DoP. A questa affermazione molto semplice e veritiera corrisponde, a livello normativo, una discussione profonda su significato, modalità e procedure applicative.

La durabilità in quanto tale non è elencata tra i requisiti di base e non è una caratteristica essenziale a stretto rigore (eccetto che per il requisito di base della sostenibilità di cui è parte, per la cui applicazione siamo ancora in attesa di linee guida idonee della EU). La durabilità, infatti, riguarda la conservazione nel tempo delle caratteristiche essenziali vere e proprie e ciò è riconosciuto anche nel mandato al CEN per lo sviluppo della normativa armonizzata EN 1090-1. Che il concetto di durabilità sia particolare lo evidenzia anche la normativa riconoscendo che non è disponibile alcun metodo diretto per misurarla.

La norma UNI EN 1090-1 esprime un principio di base: le caratteristiche essenziali dell'acciaio, tranne che per aspetti di fatica, frattura e casi particolari (come la resistenza in caso di fuoco), sono immuni dalla degradazione nel tempo se si evita la corrosione atmosferica. Per questo la durabilità è conferita attraverso la specifica di un sistema di protezione dalla corrosione che può essere costituito da un rivestimento in grado di salvaguardare la superficie e preservare le caratteristiche del componente strutturale. Ovviamente, si dovrà fare riferimento alle normative che regolano i processi di applicazione dei rivestimenti protettivi che sono individuati nella UNI EN 1090-2. Tale norma al paragrafo 10, per quanto riguarda la zincatura a caldo, fa riferimento alla normativa UNI EN ISO 1461 e UNI EN ISO 14713. A queste normative vanno aggiunte le prescrizioni pertinenti riportate nell'allegato F (alla stessa UNI EN 1090-2) per le procedure a carico del produttore. Infatti, la norma UNI EN 1090-2 fornisce la guida per la scelta dei sistemi di protezione e i requisiti per la preparazione superficiale dell'acciaio per la parte di competenza del produttore, prescritta con la tabella 1 al paragrafo 6 della UNI EN 1090-1.

DICHIARAZIONE DELLA DURABILITÀ

Il requisito per la durabilità per la norma UNI EN 1090-1 è connesso alla necessità di stabilire la durabilità delle altre caratteristiche essenziali identificate nella DoP. Poiché la stessa normativa stabilisce che la DoP non può includere alcun metodo diretto per quantificare, verificare o dichiarare quantitativamente la durabilità, la

conformità alla norma è soddisfatta a condizione che:

- la corretta specifica della protezione dalla corrosione sia effettuata (per esempio: zincatura secondo UNI EN ISO 1461);
- la preparazione per la superficie di acciaio per quel trattamento protettivo specifico, sia effettuata secondo il paragrafo 10 della norma EN 1090-2 (per esempio, per la zincatura, questo significa anche che il costruttore d'acciaio abbia fornito adeguate forature di sfiato e drenaggio del componente e che abbia seguito, in generale, la norma UNI EN ISO 14713, anche per quanto riguarda la scelta della composizione degli acciai adatti alla zincatura).

Ai fini della dichiarazione di prestazione, sotto la voce "durabilità", il produttore dovrà indicare il trattamento anticorrosivo utilizzato con l'indicazione della norma applicata, specifica per quel trattamento. Si può anche prevedere indicazione del parametro caratterizzante la protezione (per esempio, nel caso della zincatura a caldo, si può indicare lo spessore medio del rivestimento richiesto dalla normativa UNI EN ISO 1461:2009 in tabella 3 per lo spessore di acciaio più rappresentativo).

OPERAZIONE DI TRATTAMENTO SUPERFICIALE E PROTEZIONE DALLA CORROSIONE

Nel paragrafo 10 di UNI EN 1090-2, sotto il titolo "trattamenti superficiali", vengono indicate le predisposizioni per il componente che il costruttore d'acciaio intende sottoporre all'applicazione di uno dei metodi protettivi indicati. Il paragrafo prevede, infatti, i requisiti per realizzare superfici adatte ai sistemi anticorrosivi senza entrare nel merito della loro applicazione che è trattata nelle normative specifiche in modo pertinente

In tabella 22 della norma UNI EN 1090-2, vengono indicati i gradi di preparazione richiesti per la verniciatura, secondo UNI EN ISO 8501-3 che non è tecnicamente applicabile all'acciaio inox e alla zincatura a caldo. In quest'ultimo caso, meglio richiedere la preparazione secondo UNI EN ISO 1461.

Altre prescrizioni, nel medesimo paragrafo 10, riguardano l'attenzione ad evitare accoppiamenti galvanici non voluti, la realizzazione dei fori di sfiato e drenaggio per i componenti da sottoporre a zincatura a caldo (per ragioni di sicurezza nelle parti cave e nelle superfici sovrapposte, ma anche per garantire la protezione con lo zinco delle superfici interne altrimenti non raggiungibili), la sigillatura di spazi e la cura delle superfici destinate al contatto con cemento o non più accessibili dopo assemblaggio. Ci sono,

inoltre, requisiti per le riparazioni dei rivestimenti in seguito a tagli e saldature ed alla pulizia dei componenti dopo il montaggio. Per tutti i sistemi di protezione dalla corrosione, compresa la zincatura a caldo, sono, altresì, pertinenti i requisiti previsti nell'appendice normativa F di UNI EN 1090-2.

PROCEDURE INERENTI LA FPC DEL COSTRUTTORE E LA QUALIFICA DELLE LAVORAZIONI CONTO-TERZI PER LA PROTEZIONE DALLA CORROSIONE DEI COMPONENTI SECONDO UNI EN 1090.

Sia UNI EN 1090-1 che UNI EN 1090-2 forniscono requisiti di durabilità e trattamento superficiale che influenzano la specifica e l'utilizzo della protezione dalla corrosione ottenuta da lavorazioni conto-terzi.

Più delle altre applicazioni, la zincatura a caldo segue tipicamente lo schema di attività in sub-appalto.

Le procedure per la marcatura CE da parte del costruttore d'acciaio seguono questo schema:

- Per il costruttore, preparare idoneamente il componente di acciaio e la sua superficie per il trattamento di protezione prescelto (ad esempio, per la zincatura a caldo rendere il componente adatto per la UNI EN ISO 1461 e seguire le direttive presenti nella UNI EN ISO 14713-2);
- Per l'applicatore, seguire le normative richiamate nella UNI EN 1090-2 e fornire, a richiesta, un certificato di conformità (questo è previsto nella UNI EN ISO 1461);
- Per l'applicatore ed il costruttore, rispettare i requisiti addizionali previsti nella UNI EN 1090-2 dividendosi i compiti, se del caso, su base contrattuale.

È importante un buon livello di collaborazione tra costruttore e applicatore del sistema protettivo, in modo che il costruttore sia certo che l'attività dell'applicatore (non soggetto alla marcatura CE dei rivestimenti applicati) non comprometta il suo sistema di controllo di produzione in fabbrica (FPC). A questo scopo, il costruttore deve prevedere delle modalità di qualifica dell'applicatore, che possano essere considerate una estensione del sistema di controllo di fabbrica (FPC) del costruttore stesso. Questo può essere ottenuto, in modo semplice ma efficace, attraverso procedure concordate che possono essere integrate, per quanto riguarda l'applicatore, in un normale sistema di gestione della qualità (del tipo ISO 9001). Il costruttore di acciaio e l'applicatore possono concordare tali procedure ed i relativi controlli sulla base delle normative di settore pertinenti ad ogni trattamento. In certi casi, occorrerà anche integrare le parti carenti delle normative per lo specifico sistema protettivo secondo quanto previsto da UNI EN 1090. Per quanto riguarda la zincatura

a caldo, il processo è ben controllato con la normativa UNI EN ISO 1461 che include requisiti per il controllo statistico dei parametri significativi, come lo spessore del rivestimento. La norma UNI EN ISO 1461 consente anche l'agevole rispetto del requisito della tracciabilità quando richiesta. Il rilascio da parte dello zincatore di un certificato di conformità alla UNI EN ISO 1461 (da richiedere all'atto dell'ordine), è una base adeguata per la DoP.

Occorre porre attenzione al fatto che non corre nessun obbligo legale di certificazione secondo UNI EN 1090 dei processi di protezione dalla corrosione. Quindi, non occorre (e non è legalmente possibile) che il processo di applicazione sia certificato con ente notificato. Tuttavia, sarebbe conveniente che l'applicatore dimostri l'integrazione delle procedure, dei requisiti e dei controlli richiesti per la validità dell'FPC del costruttore nel suo sistema della qualità, attraverso forme di certificazione (come, ad esempio, etichette o marchi di qualità basati su sistemi di gestione adatti) che possano evitare audit e procedure di ispezione frequenti per la sua qualifica presso il costruttore. L'adozione di tali sistemi aiuta anche nell'applicazione dei requisiti aggiuntivi previsti in appendice normativa F alla UNI EN 1090-2.

IL RUOLO DI HIQUALIZINC NELLA APPOSIZIONE DELLA MARCATURA CE

Il marchio HiQualiZinc è stato opportunamente concepito per fornire una certificazione delle procedure di zincatura in adozione presso le aziende aderenti, integrandosi al sistema di gestione della qualità ISO 9001, in modo da poter essere considerato un'efficace estensione del sistema FPC del produttore di componenti e kit strutturali. Seguendo l'approccio del marchio, la zincatura può essere integrata negli adempimenti obbligatori per la marcatura CE senza ulteriori carichi amministrativi. L'azienda di zincatura aderente al sistema del marchio deve, infatti, superare una verifica particolare delle procedure in adozione, basata su una *check list* di requisiti studiata per dimostrare la conformità alla normativa UNI EN 1090 ed, in particolare, a quanto previsto nel capitolo 10 e nell'allegato F della UNI EN 1090-2. Il marchio HiQualiZinc, a differenza di altri marchi puramente commerciali, accompagna con rigore tecnico e passo dopo passo il costruttore per compiere tutti gli adempimenti necessari e poter effettuare la dichiarazione di durabilità da inserire nella DoP. Nel contempo, HiQualiZinc offre la sicurezza che siano rispettate tutte le cautele per la prevenzione di fenomeni come l'LMAC. Inoltre, nei casi di classi di esecuzione (EXC) "più impegnative", il costruttore è assolutamente certo che venga rispettato il requisito della rintracciabilità, che il marchio HiQualiZinc richiede in ogni caso per la tranquillità del cliente.



GNS9 GIORNATE NAZIONALI DI SALDATURA 9^a EDIZIONE

Un mix di Eventi con relatori di prestigio



GENOVA - Si sono concluse da pochissimi giorni le GNS9, Giornate Nazionali di Saldatura - 9^a edizione. È stato davvero un grande successo. Le GNS si sono confermate l'evento più importante in Italia per quanto riguarda il mondo delle costruzioni saldate. Con uno sguardo al resto del mondo e ad altri settori della conoscenza, siamo certi di poter dire che si tratta di una delle conferenze tecnico-scientifiche più importanti in Europa. Anche in questa edizione sono state eguagliate le presenze di addetti ai lavori registrate negli ultimi anni con poco meno di 1600 iscritti.

Un dato registrato in un periodo in cui si intravedono appena i primi segnali di ripresa, un dato che testimonia una diffusa volontà di rispondere con un atteggiamento proattivo alla non facile situazione economica, un dato che conferma e caratterizza le GNS come un evento la cui formula permane centrata sulle

aspettative dell'industria e dei professionisti dei diversi settori coinvolti.

Vediamo un breve resoconto di quelle che sono state le GNS9 per poi analizzare le ragioni di questo ennesimo successo.

Nell'ambito della cerimonia inaugurale è stata presentata una relazione relativa allo *stato dell'arte dei materiali d'apporto per la saldatura ad arco di leghe ferrose e non* da parte di Gerhard Posch Chairman della Commissione II dell'IIW.

A seguire la relazione dell'ing. Marco De Marco (Gruppo IIS) che ha descritto gli aspetti più significativi della *resistenza alla corrosione dei giunti saldati*, individuando le linee di sviluppo della materia di maggior interesse per il futuro.

Prima delle tradizionali **premiazioni** è stato inoltre presentato da uno degli autori, Carlo d'Elia della redazione de "Il Giorno" di Milano, un cortometraggio realizzato per documentare *l'espe-*



rienza effettuata con un gruppo di migranti e richiedenti asilo, che hanno frequentato un corso di qualificazione nel processo di saldatura a filo continuo con protezione gassosa, nel tentativo di trovare sbocchi lavorativi a livello nazionale o europeo.

La conclusione della Cerimonia è stata dedicata alle premiazioni, che abbracciano ormai da alcuni anni alcune delle principali componenti della fabbricazione mediante saldatura: i requisiti di qualità del costruttore, secondo UNI EN ISO 3834 (con il premio dedicato nell'occasione allo scomparso ing. Giulio Costa), le Figure di Coordinamento ed Ispezione (con il premio "Franco Lezzi"), il premio agli addetti alle prove non distruttive qualificati in accordo ad ISO 9712 (il premio "Angela Cevenini"), la struttura produttiva (con il premio IIS SERVICE), la premiazione dei vincitori delle Olimpiadi Nazionali della Saldatura IV° edizione (manifestazione a partecipazione gratuita organizzata dal Gruppo IIS che valorizza e premia le professionalità esistenti in Italia nel settore). I primi classificati delle quattro categorie in gara si sono aggiudicati i premi in palio offerti dal Gruppo IIS (Trofeo e assegno del valore di € 1.500,00) e i premi a cura degli Sponsor Ufficiali: Linde Gas Italia che ha messo in palio una saldatrice portatile EWM serie Pico 160 adatta per saldatura ad elettrodo rivestito e TIG Liftarc e Lincoln Electric Italia che ha offerto una maschera auto-oscurante multi processo - serie VIKING 4C.

Infine è stato assegnato il premio ad honorem "EWE Long Life Achievement", istituito dalla Federazione Europea della Saldatura, attribuito in questa occasione al dott. Armando Belmondo, che ha dedicato buona parte della propria carriera allo sviluppo di processi di saldatura nel settore aerospaziale.

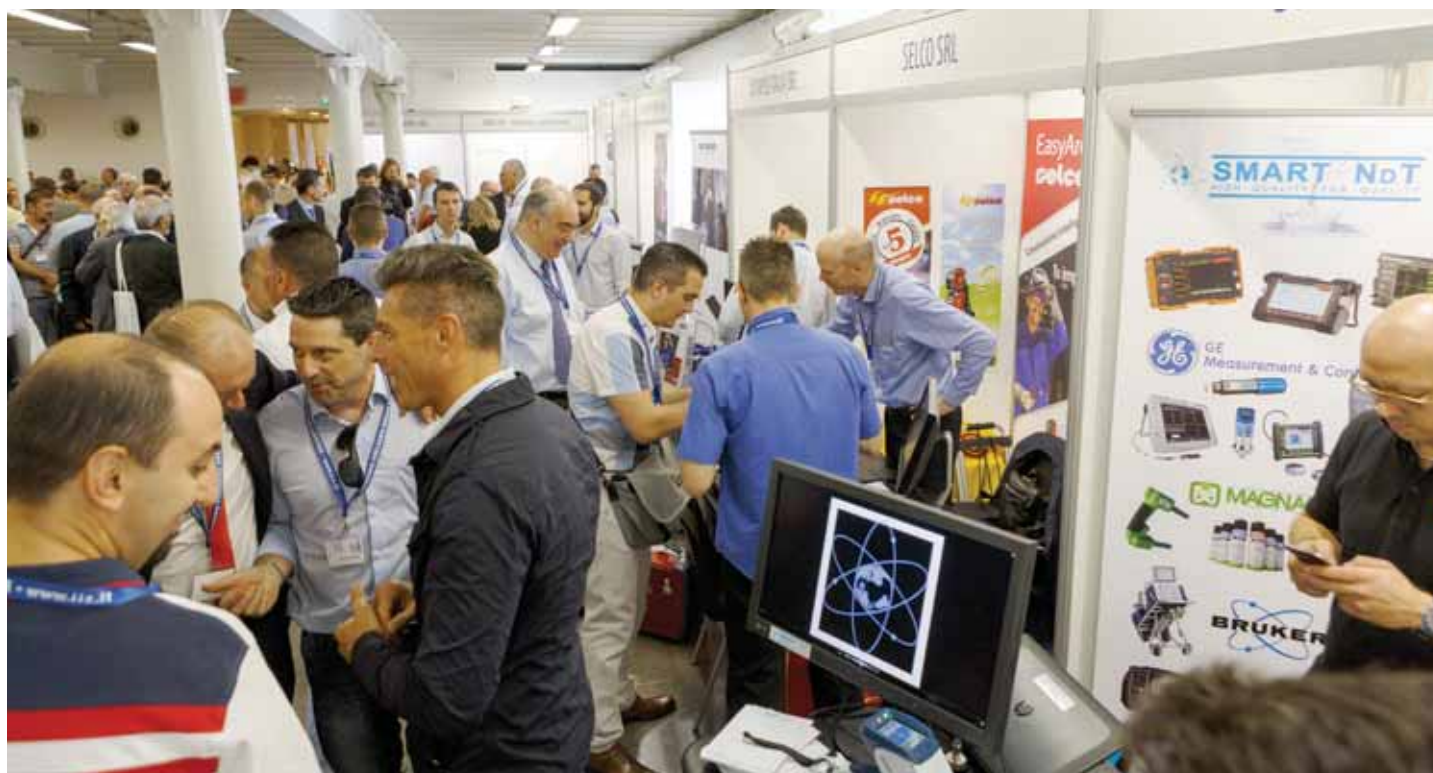
Ai Workshop, vero elemento centrale della manifestazione, sono

interventuti come relatori speaker di prestigio rappresentanti di importanti società, istituzioni, associazioni e centri di ricerca.

Gli sponsor della manifestazione sono stati quest'anno quarantanove e hanno avuto la possibilità di dare notizia delle novità del settore e di approfondire, attraverso le consuete presentazioni tecnico-commerciali, le caratteristiche di macchine, attrezzature, equipaggiamenti, prodotti e soluzioni tecnologiche.

La manifestazione prevede anche la presenza di espositori dei marchi più prestigiosi che operano nel settore dei prodotti, delle macchine, delle attrezzature, degli equipaggiamenti e delle soluzioni tecnologiche per il mondo delle costruzioni e degli altri componenti saldati. Gli espositori, tutti sponsor della manifestazione, pur trovandosi localizzati nel "cuore" delle sessioni tecniche, non apportano elementi di distrazione allo svolgimento delle sessioni ma si trovano costantemente a contatto con le centinaia di partecipanti che, a turno, si spostano da una sessione di interesse ad un'altra. Le GNS si arricchiscono inoltre di presentazioni tecnico-commerciali da parte degli espositori, in sale appositamente attrezzate, e di una serie di brevi corsi di formazione nei quali gli esperti IIS propongono argomenti di approfondimento, con il taglio didattico di alto profilo qualitativo, ben noto a coloro che conoscono il gruppo IIS.

Un ulteriore, reale, punto di forza di questa manifestazione, che la rende diversa da tutte le altre è l'atmosfera di aggregazione e condivisione che si crea quando la qualità dell'evento e delle presentazioni e l'interesse dei partecipanti si incontrano, in un ambiente unico per favorire le relazioni di lavoro. Per questo la GNS non sono le GNS dell'Istituto Italiano della Saldatura ma le GNS di tutti coloro che condividono con noi questa partecipazione.





ESEMPI APPLICATIVI DEL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI

a cura di Fabio Dattilo e Cosimo Pulito

Con la prefazione del Capo del Corpo Nazionale VV.F.

Gioacchino Giomi

ISBN 978-88-6310-774-6

2017 - Pag. 500 - Euro 59

Si tratta di un utilissimo “esercenziario” che va ad integrare, a poco più di un anno di distanza, il testo commentato del DM 3/8/2015, molto più conosciuto come Codice di prevenzione Incendi.

Cominciamo col dire che già a fine dicembre l'utilissimo e bellissimo lavoro di chiosa del Codice P.I. svolto da Dattilo e Pulito aveva creato le premesse per entrare in sintonia con il nuovo approccio metodologico per l'analisi della sicurezza antincendio.

Il Codice di prevenzione incendi è l'ultimo ramo del robusto albero della sicurezza antincendio che si sviluppa dal secondo dopoguerra (DPC 547/55) ad oggi e che ha visto nel tempo il progressivo trasferimento di responsabilità a professionisti ed imprese nell'individuazione dei rischi e delle relative misure di prevenzione in grado di assicurare il livello adeguato di sicurezza in termini di salvaguardia della vita umana e dei beni.

Le norme nel tempo, in coerenza con quanto accade nel panorama europeo, diventano sempre più prestazionali e meno prescrittive. L'amministrazione pubblica assume sempre più il compito di stabilire i livelli ed i limiti di accettabilità dei rischi, e di controllare che le prescrizioni normative siano applicate.

Le norme, in questo quadro, devono essere semplici, modulari, flessibili (nel senso che assicurino molteplicità di soluzione alle varie esigenze e prestazioni di sicurezza antincendio). Devono tenere in conto le disabilità temporanee/permanenti delle persone nelle aree a rischio, devono essere allineate su standard interna-

zionali che si basano su 3 fattori fondamentali della Prevenzione Incendi: la salvaguardia della vita umana, la tutela dei beni e la tutela dell'ambiente.

Si tratta di un nuovo modo, moderno, di affrontare il rischio incendio. Ciò richiederà molto tempo ma darà risultati positivi se tutto il mondo che ruota attorno al mondo della P.I. (utenti inclusi) saprà comprendere a fondo il salto culturale che si sta facendo. Il nuovo volume pertanto integra il primo commentario con una notevole serie di esempi tratti da esperienze reali maturate in varie sedi di Comandi Provinciali V.F.

I casi esaminati sono 13 e si estendono per circa 450 pagine. I temi trattati sono molto diversi tra loro (depositi attrezzature, stabilimenti per la lavorazione del legno o per attività produttive, edifici scolastici, edifici per attività ricettive, edifici storici e moderni, scuole e biblioteche). Sono tutti esempi che evidenziano la praticità e flessibilità del nuovo approccio basato su una regola tecnica orizzontale che fissa principi e tecniche che vengono poi integrati da regole tecniche verticali (RTV) specifiche per ogni applicazione. Le RTV si affiancano alle norme attuali che già regolano le attività e che, con l'uso sistematico da parte dei tecnici, si affermeranno per le loro notevoli potenzialità.

Gli esempi del volume sono praticamente dei manualetti che, passo passo, accompagnano nell'applicazione della RTV in modo da comprendere a fondo la struttura della regola e le strategie antincendio da applicare. Ogni esempio infatti ha la stessa struttura formale: scopo e campo di applicazione, termini e definizioni, classificazioni, profili di rischio sino alle strategie antincendio per la gestione dei rischi. Queste ultime sono il risultato di un oculato dosaggio di misure antincendio, di protezione e gestionali.

In generale da questa prima carrellata di esempi si può dire che il DM 3/8/2015 è uno strumento più completo e dettagliato delle norme che lo hanno preceduto, e che l'adattabilità alle singole casistiche, grazie all'approccio prestazionale, permette di trovare quasi sempre soluzioni corrette e vantaggiose, consentendo nel contempo di ridurre i costi della sicurezza antincendio.

In conclusione si tratta di un testo molto utile per chi esercita la professione del tecnico della Prevenzione Incendi, campo dell'ingegneria del quale fanno parte innumerevoli competenze ed esperienze.

I curatori di quest'ultimo volume come detto in apertura sono gli ingegneri del Corpo Nazionale Vigili del Fuoco Fabio Dattilo e Cosimo Pulito, rispettivamente a capo della Direzione Interregionale del Veneto e Trentino Alto Adige e della Direzione Regionale del Piemonte.

E' da sperare che il lavoro di interpretazione ed uso del Codice P.I. sia continuamente arricchito da altri esempi una volta completato il quadro delle RTV.

(Riccardo De Col)

Organizzato da:



Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura,
Università degli Studi di Napoli Federico II
CIB (International Council for Research and Innovation
in Building and Construction)

Si è tenuto dal 7 al 9 Giugno 2017 presso l'Università di Napoli Federico II Il 2nd International Fire Safety Symposium 2017 (IFireSS 2017).

Il Symposium è stato organizzato dal Di.St. - Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura dell'Università di Napoli Federico II e dal CIB (International Council for Research and Innovation in Building and Construction) e ha rappresentato la seconda edizione dell'International Fire Safety Symposium, la cui prima edizione si è tenuta a Coimbra (Portogallo) nel 2015.

Il **Chairman del convegno è stato il Prof. Emidio Nigro del Di.St.** Il **Comitato Scientifico** del Symposium annoverava alcuni tra i principali esperti internazionali e nazionali della Sicurezza Antincendio, tra cui anche il Capo del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, ing. Gioacchino Giomi. Le **memorie** accettate dal Comitato Scientifico sono state 140. Circa il 50% di esse riguarda argomenti relativi al comportamento dei materiali strutturali ed alla sicurezza e modellazione delle strutture sotto incendio, mentre il restante 50% è stato dedicato agli altri aspetti della sicurezza a antincendio, tra cui la Fire Safety Engineering. Nell'ambito del primo gruppo una parte significativa di memorie ha riguardato il comportamento sotto incendio di materiali metallici e strutture di acciaio.

Gli **autori delle memorie scientifiche** sono stati oltre 300 provenienti da 31 paesi di tutto il mondo, con una prevalenza dell'Europa. La parte più consistente degli autori proveniva dall'Università (65%), ma anche il numero di autori di altre istituzioni di ricerca e sperimentazione, di società private e di professionisti è stato rilevante. Va sottolineato inoltre il numero significativo di memorie e di autori provenienti dal Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.

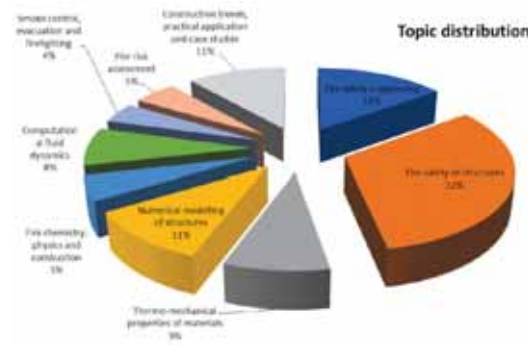
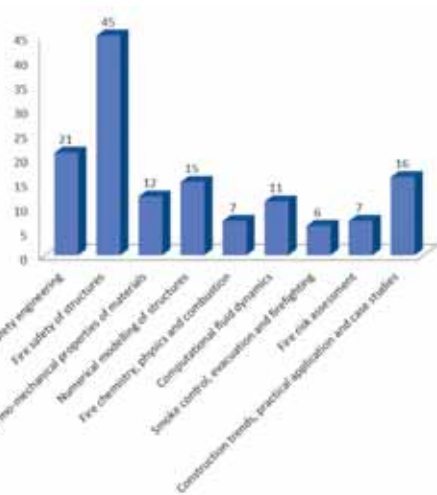
Molto apprezzate dai congressisti sono state le tre **keynotes** tenute da eminenti personalità della comunità tecnico-scientifica internazionale della Sicurezza Antincendio:

- Venkatesh Kodur (Professor and Director of the Center on Structural Fire Engineering and Diagnostics at Michigan State University, USA), con una **keynote** dal titolo "*Strategies for mitigating fire hazards in transportation infrastructures*", che ha presentato un ampio quadro sulla sicurezza antincendio delle infrastrutture di trasporto, per la quali il rischio incendio non è allo stato attuale adeguatamente considerato, evidenziando le necessità di ulteriori studi e regolamentazioni in questo campo.
- Luke Bisby (Professor and Head of Institute for Infrastructure & Environment at the School of Engineering of University of Edinburgh, Scotland), con una **keynote** dal titolo "*Research perspective on structural fire safety - Fewer tests, more experiments*", che ha stimolato la riflessione sulle attuali procedure per la certificazione e la valutazione della resistenza al fuoco delle strutture e sottolineato la necessità di includere l'argomento della sicurezza strutturale antincendio nel curriculum delle Lauree universitarie di Ingegneria Strutturale.
- Guillermo Rein (Professor at Department of Mechanical Engineering of Imperial College, London), con una **keynote** dal titolo "*Travelling fires for structural design*", che mostrato tra l'altro come il "travelling fire" possa essere utilizzato nella progettazione strutturale antincendio in presenza degli scenari di incendio definiti nell'ambito della Fire Safety Engineering.

Il Symposium IFireSS 2017 ha visto la presenza attiva di circa 180 partecipanti, esperti di Sicurezza Antincendio, provenienti dall'Italia, dall'Europa e dal mondo, che hanno avuto la possibilità di divulgare i risultati più avanzati della ricerca scientifica, delle esperienze tecnico-professionali e dell'industria, delle attività normative e dei Vigili del Fuoco sul tema dell'Ingegneria della Sicurezza Antincendio. Le memorie presentate dagli autori, le tre **keynotes** ed i vivaci dibattiti che si sono sviluppati durante le sessioni di lavoro hanno contribuito ad un proficuo scambio di idee e conoscenze tra gli esperti internazionali e nazionali del settore della Sicurezza Antincendio.

Durante la Closing Ceremony il Chairman del Comitato Scientifico (prof. George Hadjisophocleous, University of Carleton, Canada) ed il Chairman dello Steering Committee (prof. João Paulo C. Rodrigues, University of Coimbra, Portogallo) hanno sottolineato anzitutto il significativo incremento del numero di memorie rispetto alla precedente edizione, che conferma la bontà dell'iniziativa e l'opportunità di continuare, nonchè l'alto contenuto tecnico-scientifico delle memorie e delle **keynotes**. Si è osservato poi che la conferenza è stata caratterizzata da contributi innovativi sugli argomenti più classici e consolidati dell'ingegneria antincendio, tra cui la sicurezza strutturale antincendio e la Fire Safety Engineering, ma ha visto anche l'affacciarsi di nuove tematiche, quali la relazione tra progetto sostenibile e sicurezza antincendio, il progetto di edifici "fire resilient" e l'impatto dei "climate changes" sulla sicurezza antincendio degli edifici. È forte quindi l'auspicio che nel futuro da un lato le tematiche classiche siano alimentate sempre da nuova linfa, dall'altro che gli argomenti innovativi e di frontiera possano trovare ulteriore spazio, con l'obiettivo finale comune di contribuire ad un sempre più ampio sviluppo e diffusione della cultura della sicurezza antincendio.

Sito Web ufficiale della conferenza
(www.ifiress2017.unina.it).



L'ACCIAIO INOSSIDABILE QUALE MATERIALE STRUTTURALE IN EDILIZIA E NELLE INFRASTRUTTURE

DURABILITÀ – SICUREZZA – LE NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Università degli Studi di Milano – Palazzo Greppi – Sala Napoleonica – Via Sant'Antonio 12
Milano, giovedì 26 ottobre 2017 – ore 9.00



Programma della giornata

■ Ore 9.00 – **Registrazione dei partecipanti**

■ **Saluto ai partecipanti e introduzione ai lavori**

Riccardo Guidetti – Università degli Studi di Milano
Fausto Capelli – Centro Inox, Milano

■ **Le costruzioni di cemento armato e di acciaio nelle nuove norme tecniche per le costruzioni: edifici di nuova progettazione ed esistenti. Il ruolo dei prodotti di acciaio inossidabile**

Walter Salvatore – Università di Pisa, Dipartimento Ingegneria Civile e Industriale, Pisa

■ **Stato dell'arte della normativa sui profilati tubolari per le costruzioni**

Paolo Viganò – Centro Inox, Milano

Dibattito – Pausa caffè

■ **Il punto di vista di un progettista. Vantaggi e criticità**

Maurizio Milan – Milan Ingegneria, Milano

■ **Il ruolo dell'acciaio inossidabile nelle facciate strutturali ed elementi per l'architettura. Esempi applicativi**

Alan Tomasi, Marco Prest – Permasteelisa Group, Vittorio Veneto TV

Dibattito – Pausa pranzo

Ore 14.00

■ **La durabilità e il ciclo di vita delle opere: criteri per la fabbricazione delle strutture in acciaio. Esempi di applicazioni nel settore rebar**

Antonio Bianco – ABICert, Ortona CH

Fabio Bontempo – Ugitech Italia, Peschiera Borromeo MI

■ **Dissipatori in acciaio inox come protezione sismica delle strutture**

Francesco Tomaselli – FIP Industriale, Selvazzano PD

■ **Resistenza al fuoco delle strutture in acciaio inossidabile: studi, esperienze, normativa**

Giuliana Zilli – RINA Consulting – Centro Sviluppo Materiali, Roma

Dibattito – Chiusura della giornata



Per raggiungere la sala convegni:

M3 gialla
fermata Missori

M1 rossa
fermata Duomo

Per informazioni e iscrizioni: CENTRO INOX

Tel. 02.86450559 – 02.86450569 – Fax 02.86983932

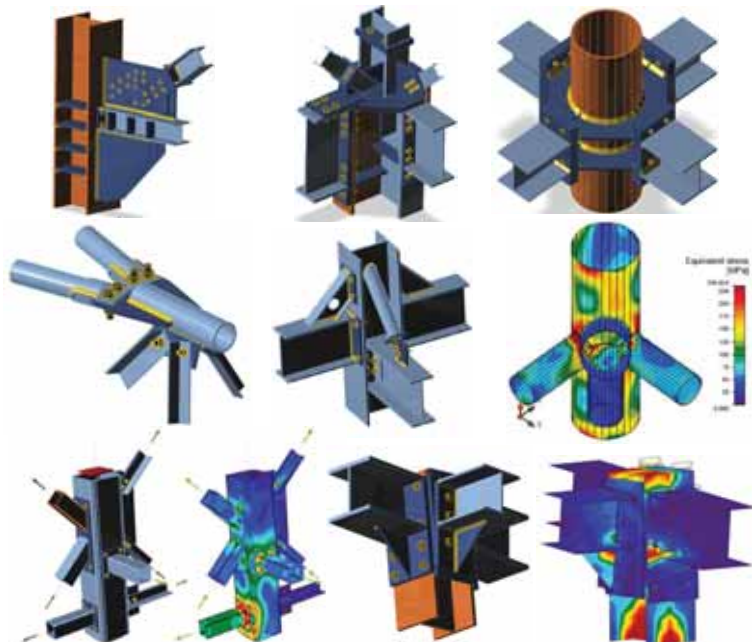
eventi@centroinox.it – www.centroinox.it

Con il
patrocinio
di

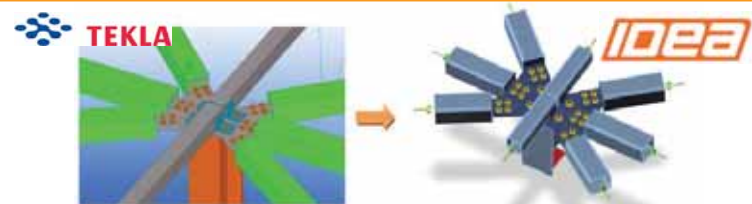
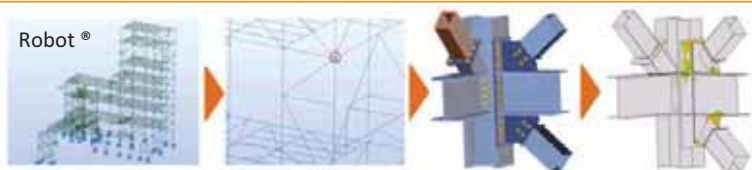
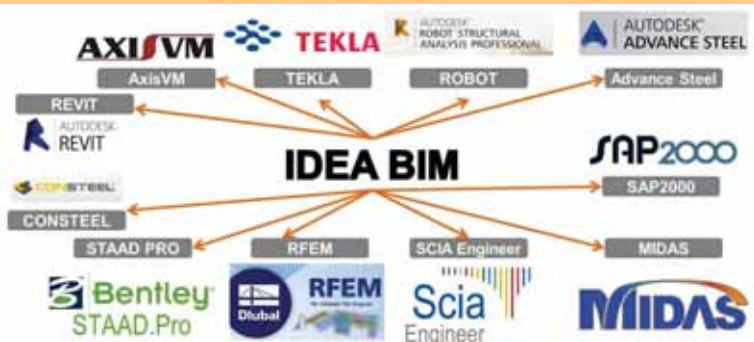
IDEA Connection

SOFTWARE BIM PER LA VERIFICA FEM DI CONNESSIONI IN ACCIAIO

Lavori eseguiti - libertà di progettare connessioni senza limiti



Funzionalità BIM e/o utilizzo autonomo



Scarica la versione FREE di IDEA Connection da www.eiseko.com



www.eiseko.com
posta@eiseko.com
 045.80.31.894

Soluzione flessibile per la costruzione di strutture tubolari in acciaio



FastClamp® è una gamma di giunti in ghisa malleabile zincata a caldo. I giunti FastClamp sono utilizzati per la costruzione di qualsiasi tipo di struttura tubolare in acciaio e sono progettati per cinque differenti dimensioni di tubo.

- Soluzione veloce per corrimano in acciaio
- No saldatura, foratura o bullonatura richiesta
- Installazione veloce/risparmio economico
- Ghisa malleabile zincata a caldo
- Sistema flessibile aggiustabile in fase di montaggio



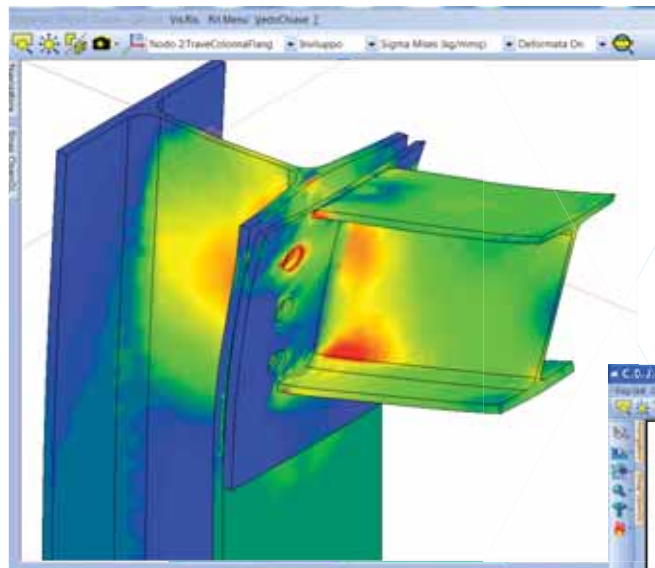
ART STEEL
 20834 - Nova Milanese (MB)
 P.IVA IT 09748850964
 Tel.: + 39 324 5981069
 mail: commerciale@artsteel.it
www.artsteel.it

NUOVO, POTENTE, AFFIDABILE, COMPLETO... UNICO IN ITALIA

CDJ *Win* **Computer Design of Joints**

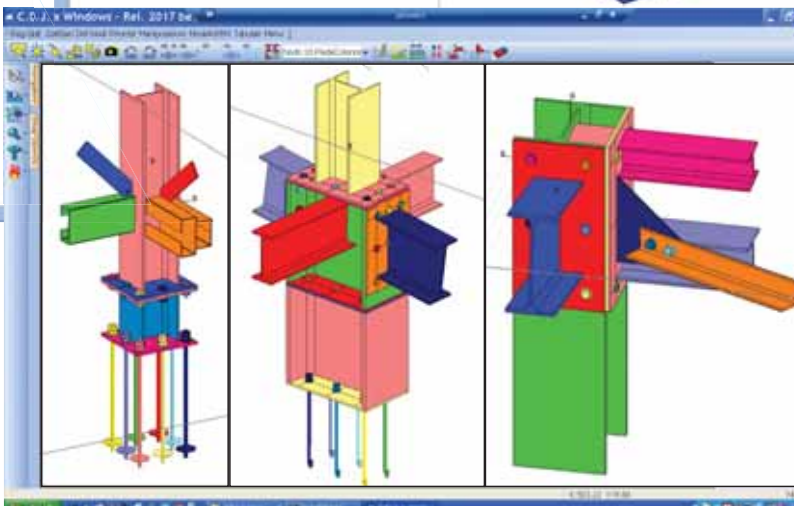
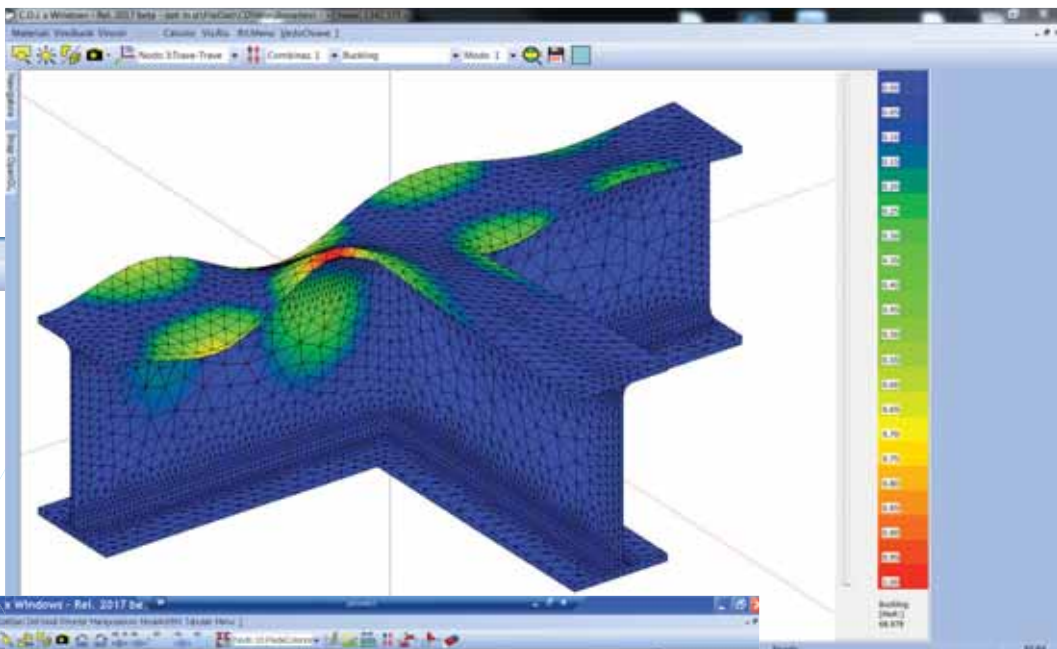
FEA Connection

Nuovo software per l'analisi agli elementi finiti 3D (elementi brick) delle unioni in acciaio di geometria qualsiasi



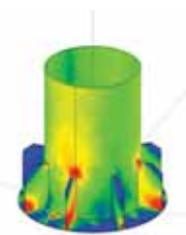
Deformata con Colormap delle tensioni ideali

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



Vista di varie unioni a più vie con geometria complessa

Deformata Buckling

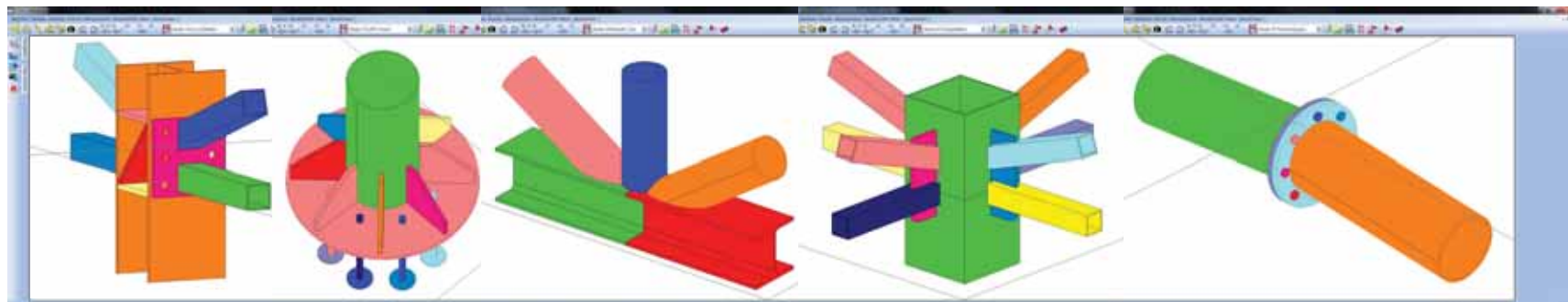


Colormap delle tensioni ideali

Moduli aggiuntivi opzionali:

import da *SAP2000*®, import da *Revit*®, Bridge Pack CDS, Solutore 64 bit, Buckling e Calcolo Elasto-Plastico

Niente più problemi con le giunzioni metalliche... Tu le disegni e CDJ le calcola!



Software Tecnico Scientifico®



Via Tre Torri, 11 - 95030 Sant'Agata li Battiati (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