

COMPLESSO THE QUAD – MALTA. NOVE PONTI IN ACCIAIO PER ILLUMINARE LE MRIEHEL TOWERS

THE QUAD COMPLEX – MALTA. NINE STEEL BRIDGES TO ILLUMINATE THE MRIEHEL TOWERS

Davide Emmanuello, Bruno Finzi, Gianluca Pittelli

CEAS S.r.l.
ceas@ceas.it

ABSTRACT

The article describes the genesis of the steel bridges design included in the complex called The Quad, in Malta. It focuses on how the elegance of the structural solution is expressed with great success in the architectural concept, in the logic of the continuity of shapes and material lightness. Born from the idea of creating interconnections at height levels between the office towers, the nine bridges gravitate above the 7000 m² of the public squares below, the Lower Ground Piazza & Upper Ground Piazza, offering an entertaining view on the podium suitable for recreational activities and socialization. The simple complexity of the structures has yielded to the idea of the Artistic Direction not to cover the bridges' bellies, changing the original landscape portray. Therefore, the outcome of joining the structural features to the towers architectural setting, thanks to a play of lights completely mixed through the load-bearing parts of the structures, will highlight the scenes, attracting visitors towards the surrounding spaces.

SOMMARIO

L'articolo ripercorre la genesi del progetto dei ponti in acciaio del complesso denominato The Quad, a Malta, sottolineando come l'eleganza della soluzione strutturale si declini con grande successo nel concept architettonico, nella logica della continuità delle forme e della leggerezza del materiale. Nati dall'idea di creare delle interconnessioni in quota tra le torri uffici, i nove ponti gravitano sopra i 7000 m² delle piazze sottostanti aperte al pubblico, la Piazza inferiore e la Piazza superiore, offrendo una vista d'intrattenimento sul podio dedicato ad attività ricreative e di socializzazione. La semplice complessità del design strutturale ha fatto nascere l'idea della Direzione Artistica di non rivestire le pance dei ponti, modificando l'originaria immagine architettonica. Pertanto, il risultato di unire le caratteristiche strutturali all'impostazione architettonica delle torri, grazie a un gioco di luci completamente miscelato tra le parti portanti delle strutture, mette in risalto le scene, attirando i visitatori verso gli spazi circostanti.

1 INTRODUZIONE

The Quad è un progetto di sviluppo commerciale a Mriehel che ha visto la realizzazione di quattro torri uffici denominate East-tower (Q4), South-tower (Q3), West-tower (Q2) e North-tower (Q1), rispettivamente di 20, 17, 14 e 16 piani fuori terra, oltre a 5 piani interrati sotto ad un podium

comune, con strutture portanti in cemento armato. La quota massima dell'edificio più alto, rappresentato dalla East-tower, raggiunge 80m di altezza (+116,25m s.l.m.) rispetto al piano campagna, a quota +41m s.l.m. Il complesso si fonda sul basement, adibito a parcheggi e locali tecnici, dotato di una serie di rampe di servizio e di accesso pubblico. L'interrato viene coronato da una piazza centrale, a piano terra, sviluppata su un doppio livello: quella principale, chiamata Piazza inferiore (L00 – Lower Ground Floor), sul sedime originario del lotto, e quella secondaria, impostata ad un livello superiore (L01 – Upper Ground Floor) per raccordare la parte più alta a nord-est, verso sud-ovest. Il livello L01 ospita quindi prestigiosi retails delle torri, oltre ad offrire un bel vedere sulla piazza inferiore, dove sono ambientate numerose altre attività commerciali.

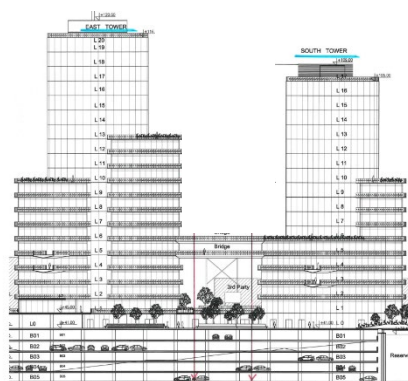


Fig. 1. Prospetto torri Q4 e Q3 Sud-Est –Nomenclatura livelli

Sulla base dello studio dei flussi, le torri sono state rese tra loro comunicanti tramite collegamenti aerei, rappresentati da nove passerelle in acciaio dislocate nei 4 vertici geografici dell'insediamento. Nel seguito si analizzano gli aspetti fondamentali della progettazione strutturale e si illustra come la soluzione strutturale dei ponti in carpenteria metallica si è prestata anche a caratterizzare i connotati architettonici delle torri.

1.1 Inquadramento architettonico e strutturale dei ponti

I ponti sono stati collocati a partire dal terzo piano fuori terra, ovvero distribuiti come un grande raccordo ad anello, via di comunicazione circolare tra gli edifici. In funzione delle geometrie derivanti dal concept architettonico sono stati strutturalmente concepiti i 4 impalcati. La tabella seguente ne descrive le geometrie principali, divise in funzione delle torri collegate.

Tabella 1. Tipologie di ponti e livelli collegati

Tipologia ponte	Totale ponti	Torri collegate	Lunghezza complessiva	Appoggi intermedi	Livelli
1	2	East-South	24m	2	L04 e L05°
2	2	South-West	12,5m	-	L03 e L04°
3	3	West-North	24m	2	L03°, L04, L05°
4	2	North-East	12,5m	-	L04° e L05°

L'aspetto fondamentale del concept architettonico dei ponti è rappresentato dalla sezione dell'impalcato, voluta non solo per esprimere una leggerezza dell'insieme, ma anche per dare continuità al disegno dei marcapiani esterni, accentuandone l'armonia grazie alle forme arrotondate di facciata (cfr. figure 3 e 4). I primi studi strutturali hanno posto le basi su di un layout non ottimale, caratterizzato da disassamenti rispetto agli appoggi. Nello sviluppo definitivo condotto a livello strutturale, viceversa, gli assi dello schema sono stati perfezionati, grazie ad una migliore interpretazione del problema, ragionando quindi sulla scelta di sagome, sezioni e distribuzioni dei vincoli ingegneristicamente efficienti, poi nuovamente declinate sotto l'aspetto architettonico.

La sezione strutturale è stata ingegnerizzata per poter rispettare il vincolo assoluto del rivestimento inferiore, l'involucro perimetrale e gli allineamenti dei parapetti: è stata posizionata una trave maestra centrale, tubolare cava in acciaio S275JR tipo $\Phi 588.8 \times 20$ mm, e travi rastremate a sbalzo del medesimo grado di acciaio, composte per saldatura da piatti larghi, 2PL250x15mm e 1PLvar x10mm, vincolate dalla travatura centrale. Nell'immagine seguente è evidenziato il dialogo della forma architettonica con quella strutturale, dove, oltre ai particolari di sviluppo in carpenteria dei giunti strutturali dei ponti con gli edifici, vengono mostrati alcuni dettagli di connessione del parapetto strutturale, imbullonato ai profili perimetrali tubolari cavi, calandrati in sezione 180x70x8 mm.

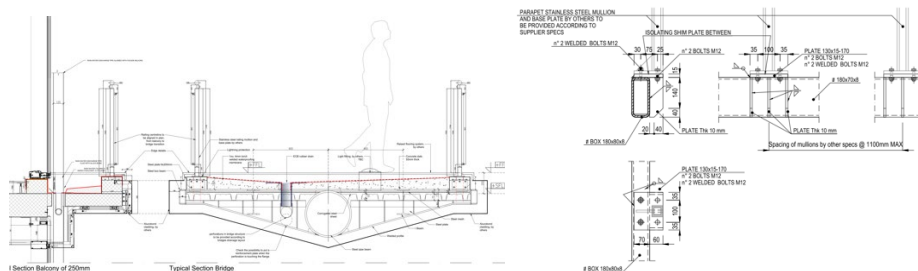


Fig. 5 e Fig. 6. Sezione architettonica e strutturale passerella - Dettaglio tipico attacco strutturale del montante

Il giunto tipologico, concettualmente necessario tra i vari implacati delle torri ed i bridges, ha seguito l'andamento del sistema di appoggio e di sconnessione tra strutture in acciaio e cemento armato, come verrà descritto nei capitoli successivi.

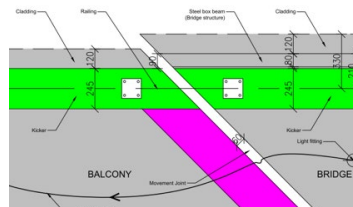


Fig. 7. Indicazioni architettoniche giunto strutturale brige-balcone tipico

2 IL PROGETTO STRUTTURALE IN DETTAGLIO

Di seguito si illustrano le piante di assieme strutturale di alcuni implacati tipo. Si riportano quindi gli aspetti significativi del progetto strutturale, in particolare con riferimento ai nodi concepiti per l'assemblaggio globale e il trasporto.

2.1 Impalcati tipo 1 e 3

La prima tipologia di impalcato prevede la presenza di due appoggi intermedi, costituiti da colonne tubolari cave $\Phi 406,4 \times 16$ mm, in acciaio S275JR, posizionate su maglia dei fili fissi, al fine di garantire il riscontro sui pilastri in c.a. del basement e di dare continuità alle travature principali in elevazione. Le colonne sono state suddivise in concetti in altezza, tramite giunghi flangiati sovrapposore lavorati a macchina, per garantire totale contatto, quindi continuità del flusso di carico, oltreché un montaggio semplice e veloce (cfr. Fig. 11). Il primo concio verticale, ancorato alla base tramite una piastra circolare nervata dia. 560mm e spessore 40mm, ha fornito il primo vincolo a terra e il primo sostegno per i sottoinsiemi orizzontali in quota. I concetti di impalcato, saldati con procedure controllate in officina, hanno garantito la versatilità non solo nel trasporto, ma anche nel tiro. Con

questa logica si sono strutturali le travi principali e le appendici in c.a. integrate nel sistema di mensole delle torri, dove trovano alloggio i dispositivi di appoggio esterni alle facciate.

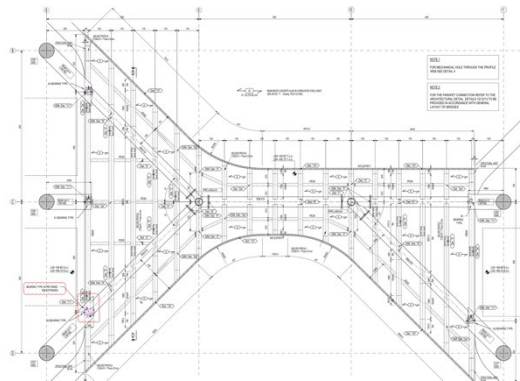


Fig. 8. Assieme strutturale impalcato tipo 1



Fig. 9. Vista delle colonne in acciaio e delle mensole di appoggio - Impalcato tipo 1

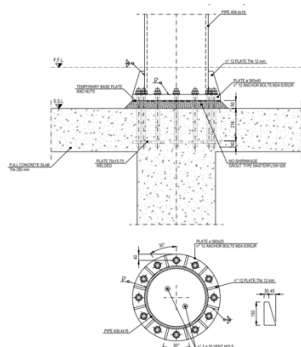


Fig. 10. Piastra di base colonna

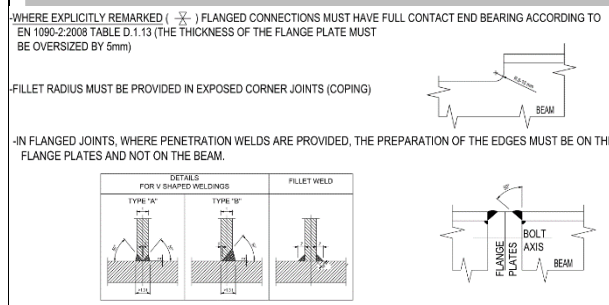


Fig. 11. Prescrizioni saldature nodi flangiati e spallature

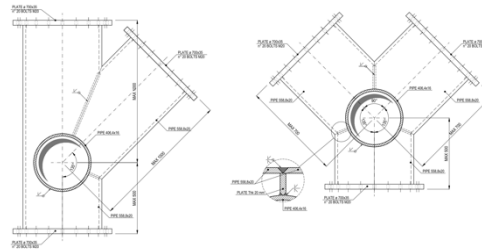
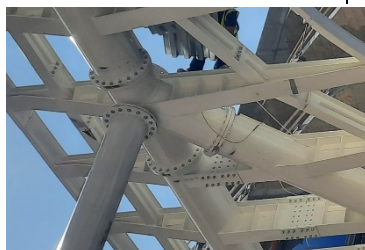


Fig. 12. Assemblaggio travi principali in quota su colonna

- dispositivo fisso (a cerniera) in grado di fornire una reazione verticale e due reazioni orizzontali nel piano,
- dispositivo monodirezionale (a carrello unidirezionale), in grado di fornire una reazione verticale ed una orizzontale lungo un particolare asse del piano,
- dispositivo multidirezionale (a carrello in tutte le direzioni), in grado di fornire solo una reazione verticale.

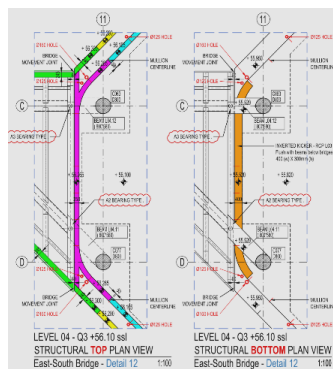


Fig. 15. Dettagli strutturali giunto impalcato tipo 3 - Q3

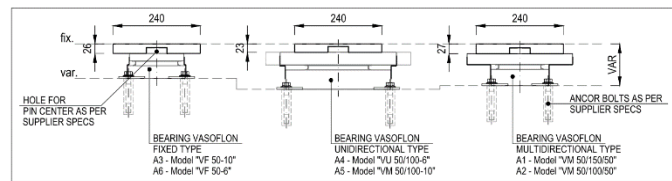


Fig. 16. Definizione appoggi necessari

La sella tipologica, studiata nei particolari geometrici insieme ai vari dispositivi tramite uno sviluppo 3D-BIM, è rappresentata nelle seguenti immagini, dove si evidenzia anche lo spaccato longitudinale di un giunto con forma curvilinea.

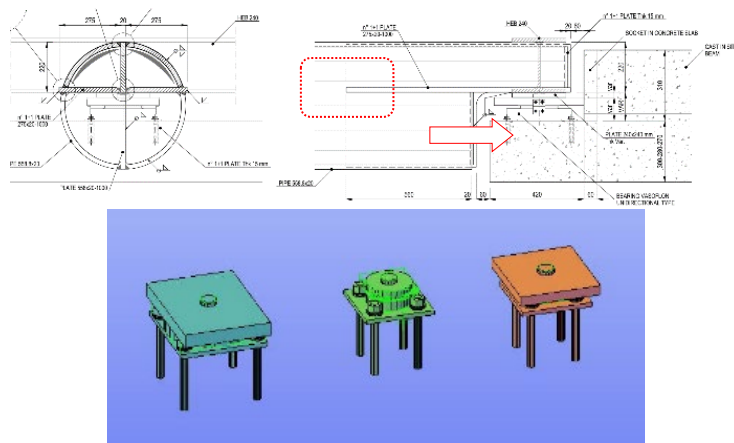


Fig. 17. Definizione tipologica sella in acciaio e cemento armato – Appoggi in 3D

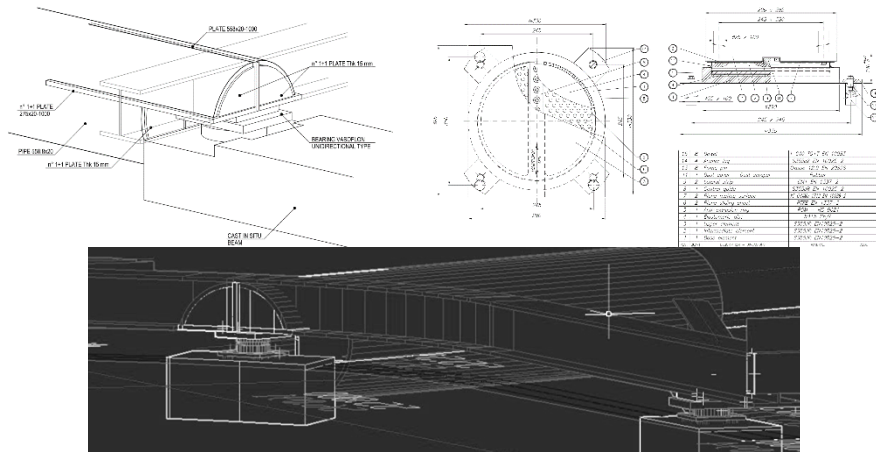


Fig. 18. 3D negativo del giunto, con dettaglio dispositivo unidirezionale

Ogni giunto è unico nel suo genere; infatti, si caratterizza per la forma dell'innesco al solaio principale. Vista la presenza di balconi, integrati nel piano di giacitura dei ponti, è stato anche necessario prevedere innesti di forma articolata, come di seguito illustrato in alcuni dettagli di carpenteria.

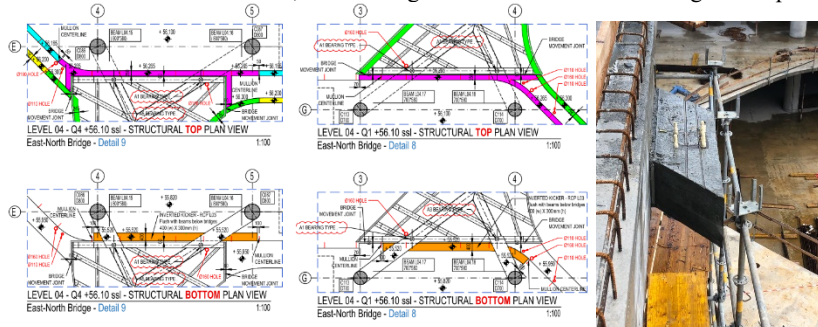


Fig. 19. Articolazione carpenterie dei giunti strutturali 8 e 9 e delle mensole di appoggio

I giunti sono stati verificati con l'ausilio di analisi FEM, e, sia per martellamento, sia per spostamenti relativi tra le torri, sono stati disposti con 60mm di gap, considerando l'involuppo spostamenti orizzontali e di trascinamento, per rototraslazione nel piano degli impalcati. Le dilatazioni termiche, attestate nell'ordine dei +25mm, vengono sfogate nei medesimi vuoti netti.



Fig. 20. Fase di grouting appoggi e controllo dimensionale giunti strutturali

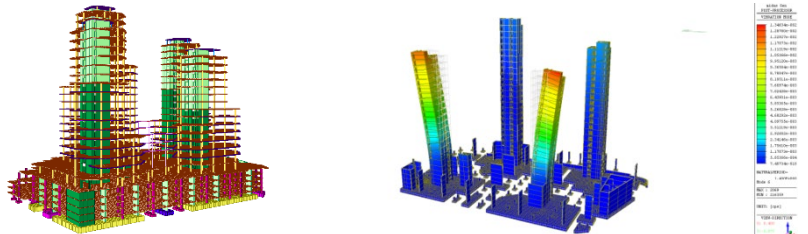
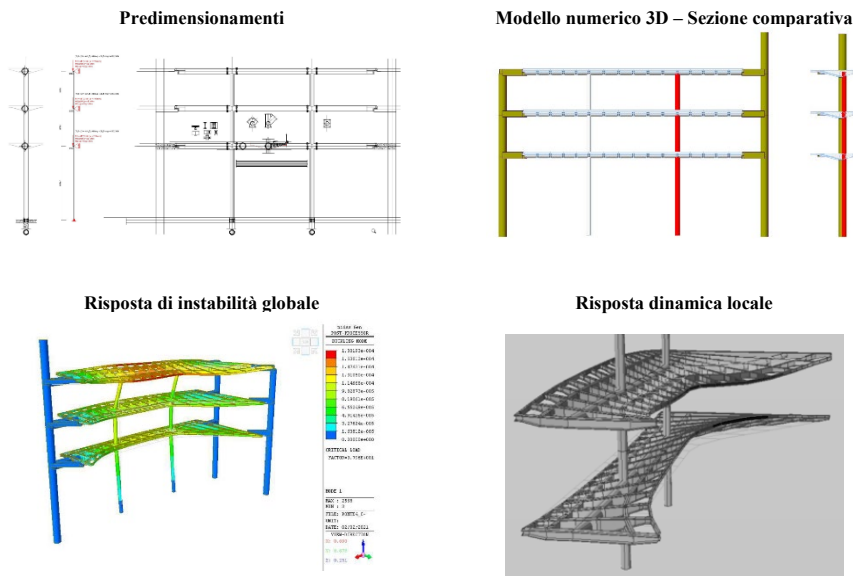


Fig. 21. Estratti analisi modale e controllo degli spostamenti in sede di cross check giunti

2.4 Breve accenno alle verifiche statiche e dinamiche e alle prove di carico

L'insieme strutturale dei ponti e la loro risposta statica e dinamica sono stati studiati dal punto di vista numerico, sia per soddisfare le verifiche di resistenza e stabilità, sia per verificare della risposta in frequenza, tramite analisi modali. Di seguito sono riportate alcune immagini dei modelli e dei principali risultati ottenuti.



L'analisi numerica di instabilità delle colonne ha portato ad un fattore di buckling, α_{cr} , superiore a 10, pertanto le verifiche sono state condotte al primo ordine, con le classiche formule delle normative più avanzate sulle costruzioni metalliche, proposte dalle NTC'18 ed Eurocodici, considerando eccentricità ed effetti delle imperfezioni di montaggio. L'instabilità laterale, basata sulla valutazione del carico critico euleriano in funzione dei gradi di mutuo vincolo, è stata studiata iterativamente, affidandosi alla teoria dell'instabilità delle aste compresse e presso-inflesse.

$\alpha_{cr,z}$	= 37,96, critical factor for the global buckling	$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$
$N_{cr,z} := \alpha_{cr,z} \cdot N_{Ed}$	= 1000 x 37,96 = 37960 kN	$\Phi = 0.5 \left[1 + \alpha \left(\bar{\lambda} - 0.2 \right) + \bar{\lambda}^2 \right]$
$P_{cr,z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K \cdot H)^2}$	= critical load, theoretical formula	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}}$
$H_{cr,z} := \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{N_{cr,z}}}$	= critical high of the column	$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M1}}$
$K_z := \frac{H_{cr,z}}{H}$	= coefficient for the lateral buckling	$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$

Fig. 22. Determinazione del coefficiente di instabilità laterale e del carico critico euleriano

L'analisi delle frequenze proprie, infine, in ragione dell'estrazione modale, ha restituito valori dei primi modi superiori ai 5Hz, garantendo un positivo check del limite inferiore consigliato per impalcati di questo genere, sotto il profilo del comfort.

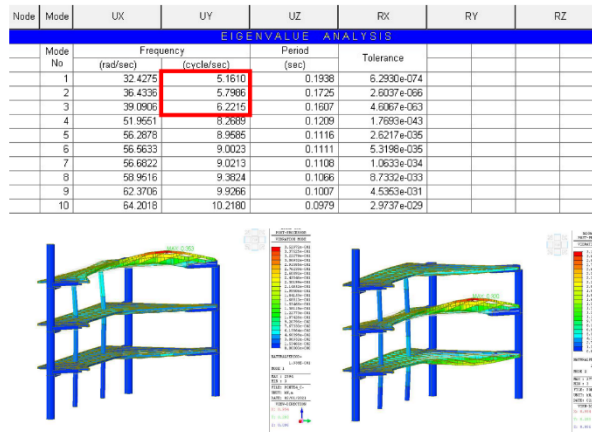


Fig. 23. Estratto modi verticali e controllo delle frequenze fondamentali

Sui sistemi in luce unica, più soggetti a deformabilità verticale, sono state effettuate delle prove di carico, predisponendo prima un assiemaggio di verifica con dima, direttamente a terra su baggioli dedicati. I risultati delle prove sono poi stati confrontati con quelli numerici, riscontrando una sostanziale aderenza tra i due metodi, quello teorico e quello sperimentale. Il ponte tipo 2, ad esempio, su cui si sono ottenuti poco più di 25 mm di abbassamento a struttura totalmente nuda (assente l'effetto di ingranamento della cappa strutturale), è stato testato riproducendo i vincoli a terra con dei tronchetti in carpenteria e applicando sovraccarichi distribuiti su tutto l'impalcato, tramite l'utilizzo di blocchi massivi in calcestruzzo, come indicato dal seguente schema.

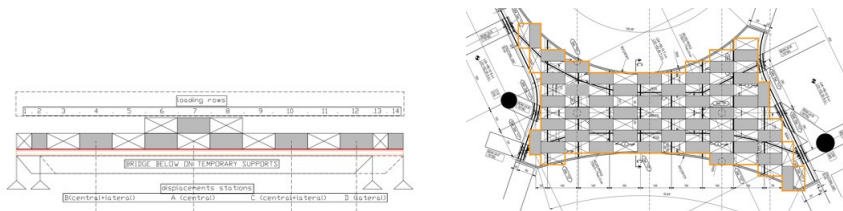


Fig. 24. Modalità di carico ponte tipo 2 – Sezione e pianta

4 FASI DI MONTAGGIO

I ponti sono stati presaldati e ispezionati in officina, infine premontati a terra per la verifica del tracciamento in sito tramite rilievo e per la verifica della planarità e dell'allineamento dei giunti. Grazie all'ausilio delle gru di cantiere, una volta giunti spaccettati in sito, sono stati tirati e montati in quota. In particolare, per i ponti in luce unica, è stato necessario ricorrere a strutture provvisorie, risultando necessaria una attenta regolazione plano-altimetrica prima del serraggio e del rilascio finale.

4.1 Opere provvisorie

I conchi, una volta trasportati a piè d'opera, sono stati preparati al montaggio predisponendoli sul livello della piazza con l'ausilio delle gru di cantiere. Questi, dotati di golfari per l'aggancio ed il tiro in quota, sono stati poggiati su torrioni provvisorie regolabili in altezza ed inclinazione, poi giuntati.

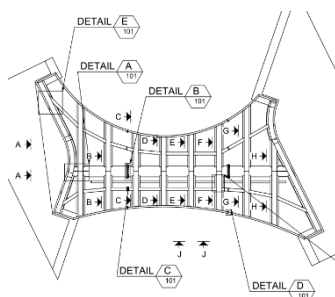


Fig. 25. Rappresentazione dei conchi – Impalcato tipo 2

Di seguito sono illustrate la suddivisione in 3 conchi dell'impalcato tipo 2 e le fasi che ne hanno consentito il montaggio, la regolazione ed il getto dell'impalcato.

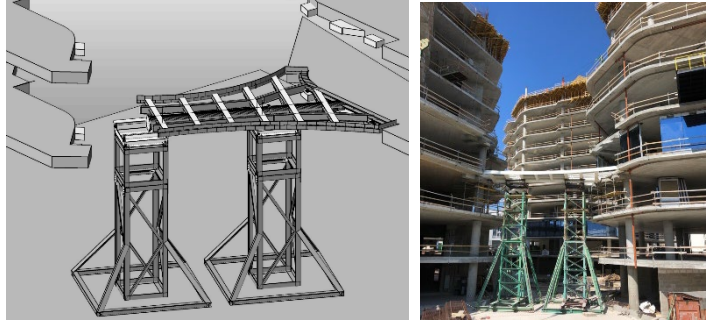
Fase 1 – Installazione dei tralicci provvisori



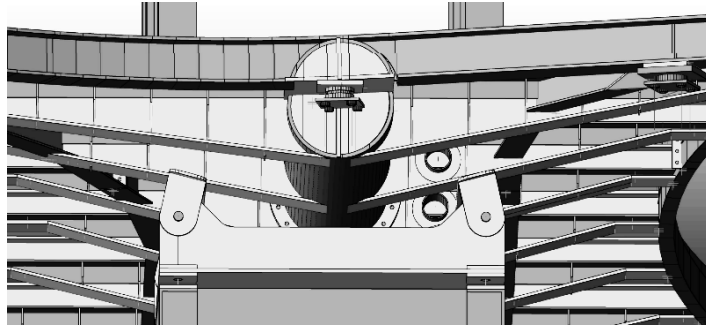
Fase 2 – Posizionamento a terra conchi e preparazione golfari



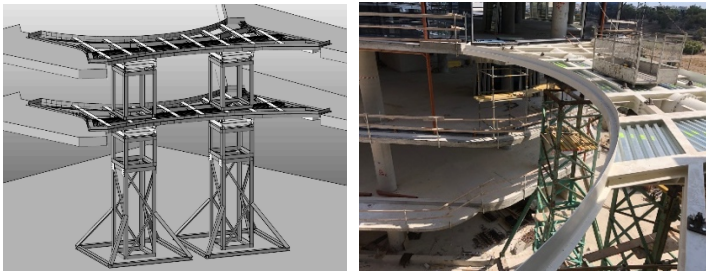
Fase 3 – Calo, regolazione e grouting



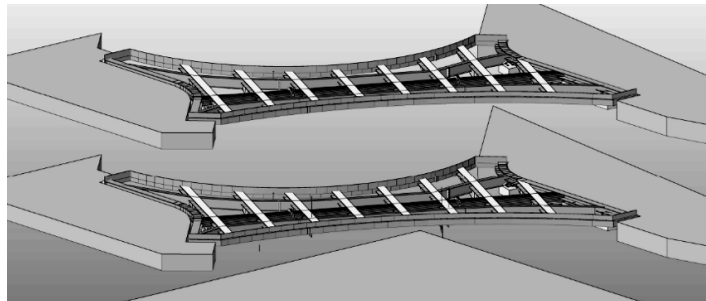
Fase 4 – Regolazione piattaforma mobile e messa in sospensione



Fase 5 – Posa lamiere, getto e montaggio ponte livello successivo



Fase 6 – Distacco torrini e rilascio completo degli impalcati



5 LA SCELTA ARCHITETTONICA – L'ILLUMINAZIONE DEI PONTI

Completato il montaggio delle strutture in acciaio, contemporaneamente all'avanzamento dei piani delle torri, la Direzione Artistica ha dovuto affrontare il check del mockup del rivestimento delle passerelle, prestando particolare attenzione alla tecnologia e al grado di finitura del materiale applicato sulle parti d'intradosso. Il progetto architettonico prevedeva, infatti, un *cladding* integralmente cucito sugli elementi. Tuttavia, successive analisi visive, hanno dato vigore all'ipotesi di sottolineare l'intrinseco carattere strutturale dei collegamenti, corroborata poi dall'esito dei nuovi render architettonici. La possibilità di impreziosire il contesto lasciando nude le carpenterie strutturali ha quindi polarizzato l'attenzione comune, in particolare della Proprietà: non rivestire il deck inferiore, infatti, avrebbe potuto porre un accento al disegno architettonico proveniente dalle balconate, dando continuità ed eleganza al *massing* delle torri.

L'idea si è da subito rivelata vincente grazie in particolare alla scelta del colore delle facciate, nelle quali, poi, le strutture avrebbero inevitabilmente trovato un riflesso. Ma mancava ancora qualcosa.



Fig. 26. Impalcato tipo 1 – Q4/Q3
Strutture a vista dell'impalcato



Fig. 27. Scorcio del podio inferiore e superiore con vista dei 4 ponti a campata unica

Ed ecco il tocco originale: l'illuminazione dei ponti. Sfruttando il riflesso e la propagazione dei fasci di luce, proiettati lungo le travi di nervatura dell'impalcato, si è consentito di impreziosire la scenografia architettonica, dando vita ad un gioco d'illuminazione tanto rigoroso, quanto piacevole, amplificato dal riflesso nelle specchiature delle facciate.



Fig. 28. Piacevole effetto scenografico con illuminazione del ponte Q4-Q3



Fig. 29. L'illuminazione del ponte Q2-Q1, l'armonia delle forme e delle luci

CONCLUSIONI

Il progetto The Quad–Mriehel, realizzato sull’isola di Malta e curato dallo studio di architettura DeMicoli & Associates, ha coinvolto il dipartimento di ingegneria strutturale e il BIM office di CEAS per alcuni anni dal 2015, nella progettazione preliminare e definitiva delle strutture, fino al recente sviluppo esecutivo e costruttivo, vedendo l’impiego di ingegneri e modellatori, con svariate analisi numeriche e simulazioni tridimensionali.

Il progetto strutturale dei ponti in acciaio, in particolare, ha trovato la sua più originale espressione nel coniugare le scelte di natura statica con quelle architettoniche, fino poi a restare evidenziata nella sua conformazione originale come risultato più semplice e originale per impreziosire le scene, nelle quali le torri e la piazza comune diventano protagoniste grazie ad un gioco di luci, affidato al riflesso combinato sugli orditi strutturali. I ponti, mostrando il loro lato nascosto miscelato al particolare *lighting*, donano una piacevole sorpresa ai visitatori del luogo.

Questo aspetto, così inaspettato, ma così fortemente scenografico, ha suggellato il carattere del progetto: l’armonia tra le forme strutturali dei ponti e il design architettonico.

ACKNOWLEDGMENT

- [1] DeMicoli & Associates Architects - Spinola Park, level 0 Triq Mikiel Ang. Borg St. Julians, SPK 1000, Malta – Progettazione architettonica complesso “The Quad”
- [2] CEAS srl – Viale Giustiniano 10, Milano, Italia – Progettazione geotecnica, progettazione strutturale, assistenza alla Direzione dei Lavori complesso “The Quad”
- [3] Tumas Group CO. LTD – Portomaso Business Tower, St Julian’s, Malta – Proprietà e promotore intervento
- [4] The Gasan Group of Companies Gasan Centre, Mriehel Bypass, The Central Business District BKR3000 – Malta - Proprietà e promotore intervento
- [5] FIP MEC srl - Via Scapacchiò 41, Selvazzano Dentro, Padova – Fornitore apparecchi d’appoggio strutturale per i ponti del complesso “The Quad”
- [6] E&L Enterprises LTD - HHF 075A Hal Far Industrial Estate, BBG3000, Malta – Fornitore carpenterie metalliche, progettazione costruttiva e montaggio
- [7] ELBROS Built for Life LTD - Triq l-Industrija, KKP 9042 Malta – Impresa di costruzioni generale

KEYWORDS

Passerella	Colonna tubolare cava
Travi composte	Concio
Parapetto	Grouting
Piastra bullonata	Dispositivi di appoggio
Giunto strutturale	Gioco di luci