PASSERELLE CICLOPEDONALI IN ACCIAIO

Casi pratici ed esempi realizzativi

Monica Antinori

Con la collaborazione di Marcos Romero

Fondazione Promozione Acciaio

Dario Flaccovio Editore

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

Collana Acciaio

serie Monografie

12

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

A CURA DI
Monica Antinori
PASSERELLE CICLOPEDONALI IN ACCIAIO
ISBN 9788857906836

© 2017 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it
www.webintesta.it
magazine.darioflaccovio.it

Prima edizione: maggio 2017

Passerelle ciclopedonali in acciaio : casi pratici ed esempi realizzativi /
a cura di Monica Antinori ; con la collaborazione di Marcos Romero.
- Palermo : D. Flaccovio, 2017.
ISBN 978-88-579-0683-6
1. Passerelle pedonali.
I. Antinori, Monica <1959->. II. Romero, Marcos.
624.1821 CDD-23 SBN PAL0297858

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, maggio 2017

Una pubblicazione di:

Fondazione Promozione Acciaio
Via Vivaio, 11
20122 Milano – Italia
Tel. 02.86313020
info@promozioneacciaio.it
www.promozioneacciaio.it

In copertina:

FOTO PRINCIPALE:
Passerella Nomi-Calliano, Trento - © T&D Ingegneri Associati

FOTO SECONDARIE – DA SINISTRA A DESTRA:
The Peace Bridge - © Alan Karchmer / Santiago Calatrava LLC
Passerella Punt Setil - © Oskar Da Riz
Passerella EXPO-Merlata - © Lorenzo De Simone
Passerella sull'A13 - © Andrea Raffin

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

Un particolare ringraziamento va a tutti i Soci di Fondazione Promozione Acciaio

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

INDICE

Prefazione
a cura di Fondazione Promozione Acciaio ..... pag. 9
Premessa ..... » 11

1. Passerelle e ponti ..... » 13
2. Rassegna storica ..... » 19
3. Tipologie di passerelle ciclopedonali ..... » 23
4. Raccolta di passerelle ciclopedonali ..... » 27
4.1. Passerelle ad arco ..... » 29
4.1.1. Ponte ciclopedonale “Passerelle de la paix” a Lione (Francia) ..... » 30
4.1.2. Passerella ciclopedonale sul fiume Adige nel tratto Nomi-Calliano (Trentino-Alto Adige) ..... » 36
4.1.3. Passerella ciclopedonale "Giuseppe Vassallo" sul fiume Stura a Cuneo (Piemonte) ..... » 45
4.1.4. Passerella ciclopedonale “Ponte dei tre Paesi” sul Reno tra Weil-am-Rhein e Huningue (Germania/Francia) ..... » 55
4.1.5. Passerella pedonale "Leonardo da Vinci" a Kazan (Repubblica del Tatarstan-Russia) ..... » 61
4.1.6. Passerella ciclopedonale Centro Urbano-Città Universitaria a Rovigo (Veneto) ..... » 65
4.2. Passerelle a travata ..... » 71
4.2.1. Passerella ciclopedonale di attraversamento A4/Ferrovie, Expo 2015 - Cascina Merlata “PEM” a Milano (Lombardia) ..... » 72
4.2.2. Passerella ciclopedonale “Natale Cappellaro” sul fiume Dora Baltea ad Ivrea (Piemonte) ..... » 81
4.2.3. Passerella pedonale nella “Valle dei Templi” ad Agrigento (Sicilia) ..... » 87
4.2.4. Passerella pedonale a Logroño, La Rioja (Spagna) ..... » 93
4.2.5. Passerella ciclopedonale sull’autostrada A8 Milano-Laghi (Lombardia) ..... » 97
4.2.6. Passerella ciclopedonale “The Peace Bridge” a Calgary (Canada) ..... » 102
4.2.7. Passerella ciclopedonale sul fiume Isarco tra il parco delle Rive e Via Galileo Galilei a Bolzano (Trentino-Alto Adige) ..... » 107
4.2.8. Passerella sul canale Grande a Trieste (Friuli-Venezia Giulia) ..... » 112
4.2.9. Passerella pedonale “Ponte Itas” a Elmas (Sardegna) ..... » 118
4.2.10. Passerella pedonale su Via Parri a Milano (Lombardia) ..... » 121
4.2.11. Passerella ciclopedonale in Valsugana sui torrenti del Brenta nel tratto Castelnuovo e Villa Agnedo (Trentino-Alto Adige) ..... » 125
4.2.12. Passerella ciclopedonale sul CSNO lungo il progetto “Vie d’acqua Nord” (Lombardia) ..... » 129
4.3. Passerelle strallate ..... » 135
4.3.1. Passerella ciclopedonale all’interno del Parco San Giuliano di Mestre (Veneto) » 136
4.3.2. Passerella pedonale di collegamento tra le ex-officine Lingotto ed il Villaggio Atleti Torino 2006 a Torino (Piemonte) ..... » 140

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

4.3.3. Passerella ciclopedonale sull'Autostrada A13 a Bologna (Emilia-Romagna) ..... » 144
4.3.4. Passerella pedonale all'interno del Centro Sportivo di Lissone (Lombardia) ..... » 150
4.3.5. Passerella ciclopedonale "Thaon di Revel", porto di La Spezia (Liguria) ..... » 154
4.3.6. Passerella ciclopedonale "Ponte del mare" sul fiume Pescara a Pescara (Abruzzo) ..... » 159
4.3.7. Passerella ciclopedonale sul fiume Secchia a Sassuolo (Emilia-Romagna) ..... » 164
4.3.8. Passerella ciclopedonale sul fiume Oglio a Breno (Lombardia) ..... » 169
4.3.9. Passerella ciclopedonale di collegamento tra centro cittadino e zona sportiva Rizzi a Udine (Friuli-Venezia Giulia) ..... » 173
4.3.10. Passaggio ciclopedonale sul fiume Sarca in Val Rendena (Trentino-Alto Adige) ..... » 178
4.4. Passerelle sospese ..... » 183
4.4.1. Passerella ciclopedonale sul fiume Reno a Casalecchio (Emilia-Romagna) ..... » 184
4.4.2. Passerella ciclopedonale Punt Setil di collegamento tra la stazione della linea funiviaria Alpe di Siusi ed Ortisei (Trentino-Alto Adige) ..... » 190
4.4.3. Passerella ciclopedonale sulla "Harbor Drive" a San Diego (Stati Uniti) ..... » 194
4.4.4. Passerella ciclopedonale sul Rodano a l'Ile Falcon (Svizzera) ..... » 199
4.4.5. Passerella ciclopedonale "Millennium Bridge" sul Tamigi a Londra (Inghilterra) . » 203
4.5. Passerelle nelle ristrutturazioni, restauri e riqualificazioni ..... » 207
4.5.1. Passerella nel progetto di copertura degli scavi archeologici "Domus del Chirurgo" a Rimini (Emilia- Romagna) ..... » 208
4.5.2. Passerella pedonale di accesso al borgo di Mont Saint-Michel (Francia) ..... » 211
4.5.3. Passerella pedonale "Pont Trencat" sul fiume Tordera tra Sant Celoni e St. M. de Palautordera (Spagna) ..... » 214
4.5.4. Passerella Ciclopedonale sul fiume Livenza a Portobuffolè (Veneto) ..... » 218
4.5.5. Recupero ex cartiera Lefebvre a Isola del Liri (Lazio) ..... » 221
4.5.6. Passaggio ciclopedonale sulla Dora Riparia a Pianezza (Piemonte) ..... » 225
4.6. Passaggi pedonali ..... » 231
4.6.1. Passerella pedonale di collegamento tra edifici esistenti a Medolla (Emilia-Romagna) ..... » 232
4.6.2. Passaggio pedonale sede Banca Lombardia a Brescia (Lombardia) ..... » 235
4.6.3. Struttura a ponte di collegamento tra due torri residenziali a Ravenna (Emilia-Romagna) ..... » 238
4.6.4. Recupero ex filanda: passerella di collegamento interno del Nuovo Centro Ricerca Soremartec ad Alba (Piemonte) ..... » 241
4.6.5. Passaggio pedonale all'interno del casello di Meolo-Roncade (Veneto) ..... » 243

Bibliografia ..... » 247

Credit e riferimenti fotografici ..... » 249

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

Prefazione

a cura di *Fondazione Promozione Acciaio*

La presente monografia è focalizzata su una tipologia di opere infrastrutturali che nell'ultimo ventennio ha assunto sempre di più un ruolo di rilievo nell'architettura contemporanea: le passerelle ciclopedonali.
La crescente espansione urbana e i conseguenti aumento e mutamento degli assi viari e ferroviari hanno richiesto opere di attraversamento pedonale. Non solo, la spinta verso una mobilità più "green" ha aperto la strada a numerosi progetti di passerelle ciclabili a scavalco di viali, fiumi o canali. Considerando poi l'evoluzione dei materiali da costruzione, in primis l'acciaio, e delle tecnologie di progettazione, che hanno consentito di realizzare opere dalle grandi luci, siamo alla presenza di vere e proprie forme d'arte e di design, divenute elementi iconografici del paesaggio urbano. Si consideri, a titolo d'esempio, il *Zubizuri bridge* a Bilbao, inaugurato in contemporanea al Guggenheim Museum e oggi elemento inconfondibile della riqualificazione che ha cambiato volto al quartiere del capoluogo basco.

La progettazione dei ponti in Italia ha attraversato un processo di cambiamento piuttosto radicale negli ultimi 15-20 anni. Per lungo tempo la soluzione costruttiva più diffusa si è basata sull'adozione di travi prefabbricate in c.a.p. caratterizzate da pesi elevati e dalle luci ridotte, a causa della limitata capacità del sistema nel realizzare campate importanti. Una scelta più che altro determinata dal mercato delle costruzioni, tradizionalmente orientato in Italia verso la produzione di calcestruzzo e dei suoi derivati, dall'esperienza delle imprese di costruzione e dalla cultura dei progettisti.
Il processo evolutivo della progettazione dei ponti e l'impiego di acciai strutturali con elevati standard qualitativi hanno determinato una trasformazione del sistema costruttivo dell'impalcato che si è orientato verso la soluzione con travi affiancate in acciaio, completate in opera con una soletta collaborante superiore e schema statico a trave appoggiata. Questa è la tipologia oggi più diffusa per le luci piccole e medie (40 m - 80 m), mentre il campo delle luci maggiori è sempre stato di dominio dell'acciaio con numerose soluzioni possibili.
L'evoluzione verso queste tipologie, già ampiamente diffuse nel resto d'Europa, è stata inizialmente stimolata da motivazioni tecniche ed economiche e si è rafforzata con l'introduzione di norme specifiche per la progettazione sismica dei ponti che hanno promosso indirettamente l'utilizzo di sistemi costruttivi in acciaio. Un impalcato in acciaio è infatti estremamente leggero e ciò si traduce in una ridotta massa sismica. È invece evidente che un impalcato pesante in c.a.p. determina azioni sismiche particolarmente impegnative.

Altre ragioni, non esclusivamente legate all'ingegneria antisismica, hanno inoltre contribuito ad indirizzare le realizzazioni verso soluzioni in acciaio non solo più economiche e sicure ma anche durevoli e di minor impatto ambientale.

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

Un importante fattore è legato alla sostenibilità dell'intervento intesa come interferenza del cantiere con l'ambiente circostante e come future opere di manutenzione della passerella. Gli elementi costituenti un ponte ciclopedonale in acciaio, siano essi pennoni, archi, travi di impalcato e pilastri, vengono prefabbricati in officina, trasportati in situ e assemblati rapidamente (la circolazione viene interrotta, quando si tratta di scavalchi su strade, ferrovie e fiumi navigabili per tempi molto brevi, spesso solo per alcune ore durante la notte), è inoltre possibile intervenire più agevolmente in aree circondate da edifici, vegetazione, asperità del terreno. La protezione degli elementi in acciaio dalla corrosione atmosferica permette di limitare gli interventi di manutenzione, su opere permanenti quali le passerelle, e studi di settore hanno dimostrato come un'accurata protezione dell'acciaio o l'utilizzo di tipologie innovative di prodotto portino ad opere di altissima durabilità.

Un aspetto con cui non si può più fare a meno di confrontarsi è il rapporto tra una passerella e l'ambiente in cui viene inserita. Questo rapporto passa attraverso più livelli, ognuno dotato di una propria complessità. Tra questi, sta acquisendo sempre maggiore rilievo quello legato all'uso dei materiali impiegati, anche in relazione al sempre maggiore interesse verso una Economia Circolare. Con la consapevolezza della limitatezza delle risorse naturali e di un costante aumento della loro domanda, è estremamente importante adottare una strategia che ne limiti e controlli il loro sfruttamento. L'acciaio, a tal proposito, è il materiale da costruzione più riciclato, con una percentuale prossima al 100%. In quest'ottica la scelta di una soluzione in acciaio risulta vincente anche e soprattutto nelle opere pubbliche.

Il continuo sviluppo dei centri urbani ci permette di affermare che le passerelle pedonali proseguiranno il *trend* di crescita e questo volume, dodicesimo della collana "Acciaio" edita da Fondazione Promozione Acciaio, intende essere uno strumento pratico per la conoscenza delle tecniche costruttive e delle prestazioni di passerelle ciclopedonali in acciaio, realizzate principalmente sul territorio italiano, quale fonte importante d'informazione per gli uffici tecnici delle Pubbliche Amministrazioni e d'ispirazione per i progettisti.

Simona Maura Martelli

Direttore Generale
Fondazione Promozione Acciaio

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

Premessa

Perché scrivere un libro sulle passerelle pedonali in acciaio?

La progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e/o stradali, nel dinamico sviluppo contemporaneo, si configurano sotto forma di grandi opere, sempre più ardite e maestose, trovando nella letteratura tecnica un vasto ed esteso trattamento.
Risulta però più difficoltoso ricavare gli aspetti progettuali in letteratura qualora siano da trattare i "parenti" più modesti: le passerelle pedonali e ciclopedonali.
Infatti, nonostante nascano agli albori della civiltà per rispondere all'esigenza dell'uomo di sormontare gli ostacoli imposti dalla natura, è solo nel secondo dopoguerra, a seguito dello sviluppo della rete stradale, che si sono moltiplicate le opere infrastrutturali oggetto di questo libro: passerelle dedicate unicamente ai pedoni e ciclisti, con un occhio di riguardo nei confronti della sicurezza e del loro comfort.
Progettare dunque un'infrastruttura per l'uso esclusivo di pedoni è un elemento da non sottovalutare: significa mettere al centro del progetto l'uomo. In una visione architettonica e urbanistica, l'inserimento di una passerella pedonale o ciclopedonale significa interpretare la città del futuro con un approccio sostenibile di avvicinamento dell'uomo all'ambiente in cui vive, anche in un tessuto densamente urbanizzato. Significa, inoltre, avere il coraggio di diffondere e incoraggiare l'utilizzo della bicicletta per uso ricreativo ma anche come trasporto primario per brevi tratte come scuola/ufficio-casa, nell'ottica di minimizzare l'impatto sulla natura, elevandola ad elemento da preservare.
Ricercare quindi una maggiore sostenibilità è anche uno degli obiettivi principali delle future politiche europee, le quali mirano a rendere la mobilità urbana più efficiente, accessibile e rispettosa dell'ambiente.
Le passerelle mutano il contesto e dunque comunicano con il paesaggio urbano e rurale: un dialogo qualitativamente dovuto e necessario.
Spostandosi in macchina, dai grandi centri abitati, dopo nemmeno una cinquantina di chilometri vi sarà capitato di aver superato almeno un paio di passerelle pedonali. Questo perché sono ormai molto diffuse e diventate parte del paesaggio circostante, create con lo scopo di attraversare non soltanto ostacoli propri della natura, come i fiumi o le gole, ma anche per oltrepassare l'antropizzazione del territorio, diramata in reti infrastrutturali come quelle stradali o ferroviarie. È in queste opere che ha maggiori probabilità di doversi imbattere il progettista.
Così è nato questo libro, una pubblicazione che cerca di raccontare le passerelle proprie del nostro paesaggio, evidenziandone le problematiche, i vincoli ed esaltandone le intuizioni, le idee e le forme, mediante la presentazione di un'ampia gamma di progetti in acciaio, divisi per tipologia.
Il libro non nasce dunque con la pretesa di approfondire aspetti progettuali, propri della scienza delle costruzioni e ampiamente trattati in altre pubblicazioni. Possiamo dire che questo libro prenda forma, invece, dalla consapevolezza che conoscere le tecniche costruttive e le prestazioni di passerelle esistenti sia una fonte importante d'informazione e d'ispirazione per progettisti, ingegneri strutturisti e architetti.
Questa pubblicazione è dedicata ai progettisti in ogni fase progettuale, agli enti, a chi segue l'esecuzione di questo tipo di opera e a tutti coloro semplicemente interessati alle passerelle in acciaio.
Perché in acciaio? Perché la mia professione mi ha permesso di scoprire e approfondire le possibilità

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

e potenzialità di questo materiale, potendo sicuramente affermare che grazie alle sue proprietà è possibile realizzare infrastrutture leggere, durabili, sicure ed altamente performanti.
La pubblicazione è strutturata con un primo capitolo che cerca di esporre le problematiche proprie delle passerelle e quelle condivise con le grandi infrastrutture, quali i ponti stradali.
Nel secondo capitolo viene proposta una breve rassegna storica delle infrastrutture al fine di un migliore approccio conoscitivo delle tecniche costruttive e della loro evoluzione nel tempo.
Il terzo capitolo intende proporre una classificazione in funzione della forma, della struttura e/o della tipologia dell'attraversamento, ovverosia come i diversi elementi portanti si rapportino tra loro e il costruito.
Il quarto capitolo è il fulcro della pubblicazione, una raccolta di oltre 50 passerelle pedonali e ciclopedonali in acciaio, prevalentemente sul territorio italiano, divise per tipologie. Per ogni progetto troverete una breve descrizione dell'ubicazione fisica e dell'individuazione del contesto dove la passerella è situata. Segue una descrizione della tipologia di passerella, delle dimensioni, degli elementi che la caratterizzano strutturalmente e delle particolarità progettuali e costruttive. Il tutto corredato da fotografie, disegni progettuali e dettagli esecutivi. Questo materiale è stato gentilmente messo a disposizione di Fondazione Promozione Acciaio direttamente dai progettisti, dai committenti e/o dai costruttori metallici che hanno permesso la fruizione dei dati, rendendo possibile la pubblicazione di questo volume.
Ove disponibile si è cercato di individuare un costo indicativo, non sempre allineato tra i diversi esempi, poiché alcuni comprendono oneri connessi ad opere legate non solo alla passerella. I costi sono arrotondati e desunti dalla documentazione ricevuta, e probabilmente potrebbero non corrispondere esattamente con quelli finali, ma possono tuttavia offrire agli operatori un quadro complessivo dell'infrastruttura. Inoltre sono presenti l'anno di realizzazione, che corrisponde all'effettiva data di fine lavori e, dove disponibili, il quantitativo di acciaio e la tipologia del materiale.
Per ogni passerella sono stati individuati, nel limite dei dati ottenuti, il committente, i progettisti, i costruttori ed altri attori coinvolti nell'opera (così come i credit delle immagini).
A tutti loro va un sincero ringraziamento, per la disponibilità dimostrata durante la fase di ricerca e di individuazione del materiale.
Si ringrazia, in particolare, anche lo staff di Fondazione Promozione Acciaio che con la sua tenacia e disponibilità è riuscito a raccogliere pazientemente gran parte della documentazione di questa pubblicazione.
La mia gratitudine va inoltre a Marcos Romero, laureando in architettura presso il Politecnico di Milano, che ha curato gli aspetti architettonici nella descrizione dei progetti.
Un sentito ringraziamento va infine al prof. Massimo Majowiecki, esperto conoscitore delle problematiche delle passerelle, da cui ho ricevuto preziosi consigli in materia.
Prima di addentrarvi nella lettura di questo libro, e per chi si chieda se questa possa essere una pubblicazione per ingegneri o per architetti, vorrei condividere questi pensieri di Santiago Calatrava:

«*Tra architettura e ingegneria non c'è differenza: convergono a formare un'arte.*
Quando si vede una chiesa oppure un ***ponte****, quello che effettivamente esiste è un'opera d'arte fatta per quel luogo e per quel paesaggio, sostanzialmente non diversa da una pittura, da una scultura o da una lirica del nostro tempo*».

Monica Antinori
Responsabile Ufficio Tecnico
Fondazione Promozione Acciaio

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

1. Passerelle e ponti

Caratteristiche, sfide e problematiche legate alla progettazione di passerelle pedonali

I ponti nascono dalla necessità dell'uomo di mettere in connessione due punti per oltrepassare un ostacolo. Chiamati ponti (qualora si debba attraversare un corso d'acqua), viadotti (quando l'ostacolo è una gola o una vallata) o cavalcavia (nei casi di collegamento tra reti stradali).
Anche le passerelle affrontano le stesse sfide, differenziandosi in prima analisi nell'uso che esse assumono: quando l'attraversamento è dedicato al passaggio di pedoni, troviamo le passerelle pedonali e ciclopedonali.

Il tracciato di un attraversamento è caratterizzato dalla presenza di elementi naturali e artificiali che ne vincolano significativamente la progettazione.
Il principale elemento vincolante è il limite fisico, conseguenza diretta dell'attraversamento stesso, ossia la luce da sormontare.
La definizione del tracciato è condizionata anche dal posizionamento degli appoggi. Vincolo, questo, molto importante, giacché impone l'entità dimensionale delle campate.
A questi si sommano altri elementi da considerare nel tracciato, quali gli aspetti urbanistici e di impatto ambientale, le fasce di rispetto e le restrizioni imposte dagli elementi attraversati quali strade, fiumi, linee ferroviarie, linee elettriche aeree di alta tensione o elettrodotti.
Questi elementi giocano un ruolo fondamentale nella progettazione, poiché condizionano non solo l'entità stessa della struttura, ma si intrecciano con gli aspetti connessi alla realizzazione e al montaggio dell'opera, i quali hanno un'influenza altrettanto importante.
Perciò la scelta dei materiali, delle tipologie costruttive e di montaggio ed i tempi di realizzazione devono essere ampiamente studiati ed approfonditi già dalle prime fasi dell'iter progettuale, perché totalmente interconnessi tra loro.

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

Carichi e sovraccarichi condizionano il comportamento statico e dinamico di ogni struttura, ma per le passerelle anche la rigidezza gioca un ruolo di particolare importanza.
La leggerezza e la snellezza delle passerelle sono caratteristiche intrinseche di queste strutture, risposta diretta e naturale alla limitata entità dei carichi accidentali previsti (500 kg/m^2) ed alla necessità di creare un elemento che ben si armonizzi con l'ambiente ed il contesto urbano.
Un aspetto proprio delle passerelle pedonali, che non riscontriamo nelle altre infrastrutture è quello di garantire lo "Human comfort" all'utenza. Il benessere e la comodità dei pedoni sono legati alle possibili deformazioni e vibrazioni della struttura e devono essere garantiti nei confronti sia delle eccitazioni dinamiche indotte dal vento sia dal transito dei pedoni stessi.
Anche se i fenomeni vibrazionali non comportano un abbassamento della sicurezza strutturale, tranne che per i particolari casi di risonanza, risulta evidente che le oscillazioni marcate provocano sensazioni di disagio e insicurezza in colui che transita su una passerella. Gli effetti che il fenomeno produce sul pedone sono sia di tipo fisico che psicologico e dipendono da un gran numero di parametri.
Un lettore sprovveduto potrebbe essere indotto a pensare che basti aumentare la rigidezza dell'insieme, abbassandone la snellezza, per risolvere il problema.
Tralasciando il valore estetico e architettonico legato alla mera forma, aumentare la rigidezza di una passerella significa aumentare la sua massa e inesorabilmente il costo. È perciò necessario trovare il giusto equilibrio.
Le deformazioni e le vibrazioni indotte sulle strutture dovrebbero rimanere all'interno della tolleranza umana, ossia frequenze sufficientemente lontane dalle basse frequenze fastidiose percepite dagli utenti.

A questo scopo, un valido riferimento progettuale lo troviamo nelle NTC 2008 al paragrafo 4.2.4.2.4, "*Stato limite delle vibrazioni*", dove, nel caso di solai caricati con il transito regolare di persone, viene indicato che la frequenza naturale più bassa della struttura del solaio (nel caso delle passerelle l'impalcato) non deve essere in generale minore di 3 Hz. In strutture con passaggio ritmico come le passerelle, assicurare una frequenza naturale non minore di 5 cicli/s garantisce sicuramente il comfort dell'utente.

Si riportano di seguito le indicazioni presenti negli Eurocodici, in particolare nelle EN 1991-2 al paragrafo 5.7:

> NOTE: *Effects of pedestrian traffic on a footbridge depend on various factors, as, for example, the number and location of people likely to be simultaneously on the bridge, and also on external circumstances, more or less linked to the location of the bridge. In the absence of significant response of the bridge, a pedestrian normally walking exerts on it the following simultaneous periodic forces:*
>
> - *in the vertical direction, with a frequency range of between 1 and 3 Hz, and*
> - *in the horizontal direction, with a frequency range of between 0,5 and 1,5 Hz*
>
> *Groups of joggers may cross a footbridge with a frequency of 3 Hz.*

In questo caso, viene consigliato un limite minimo oltre i 3 Hz.
Un altro valido riferimento lo si può trovare nelle linee guida per la realizzazione delle passerelle pedonali *Design of footbridges* pubblicate da HIVOSS (*Human Induced Vibration Of Steel Structures*) nel 2008, che riportano al paragrafo 4.2 i seguenti range di frequenze (*fi*) da evitare:

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

- per vibrazioni verticali e longitudinali: 1,25 < *fi* < 4,6 Hz
- per vibrazioni laterali: 0,5 < *fi* < 4,6 Hz

Infine la seguente tabella, presente al punto 3.3.1 delle linee guida SETRA (*Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes*) dell'ottobre 2006, riporta un quadro dei valori di riferimento internazionali consigliati in diverse normative:

Tabella 1.1. Intervallo di frequenze da evitare

3.3.1 – Risk frequencies noted in the literature and in current regulations
Compilation of the frequency range value given in various articles and regulations has given rise to the following table, drawn up for vertical vibrations:

Eurocode 2 (Ref. [4])	1,6 Hz and 2,4 Hz and, where specified, between 2,5 Hz and 5 Hz
Eurocode 5 (Ref. [5])	Between 0 and 5 Hz
Appendix 2 of Eurocode 0	<5 Hz
BS 5400 (Ref. [6])	<5 Hz
Regulations in Japan (Ref. [30])	1,5 Hz – 2,3 Hz
ISO/DIS standard 10137 (Ref. [28])	1,7 Hz – 2,3 Hz
CEB 209 Bulletin	1,65 – 2,35 Hz
Bachmann (Ref. [59])	1,6 – 2,4 Hz

Leggendo accuratamente la tabella qui riportata si può asseverare che frequenze naturali delle passerelle oltre i 5 Hz sicuramente soddisfano il comfort degli utenti.
I dati sopracitati sono dei validi riferimenti; nonostante ciò, la valutazione delle vibrazioni indotte dai pedoni è tuttora un dibattuto tema di ricerca, non essendo ancora consolidati le modalità di analisi e gli algoritmi per la definizione dell'input dinamico.

Nelle passerelle, perciò, è di fondamentale importanza tenere sotto controllo il modo di vibrare delle stesse, per garantire sia la sicurezza che il comfort. Quando questo non avviene, le oscillazioni percepite dai passanti potrebbero indurre alla fuga, con relative situazioni di panico e malessere, poiché il pedone avrebbe la sensazione di percorrere un'opera instabile soggetta a notevoli spostamenti. Le forze d'inerzia generate dalle persone amplificano le deformazioni orizzontali e torsionali, fenomeni che vengono amplificati a loro volta ad ogni ciclo, aumentando progressivamente.
Opera emblematica in questo senso è il Millennium Bridge a Londra, dove la leggerezza fu la parola chiave alla base della progettazione, così come dichiarato dallo stesso Norman Foster: "*il ponte doveva risplendere sull'acqua come una lama di luce*".

In seguito all'apertura nel 2000, la passerella in un solo giorno venne attraversata da circa 90.000 persone. Gli effetti di risonanza e vibrazioni prodotte dalla mole di pedoni portarono alla chiusura dopo soltanto due giorni. Questo poiché nella progettazione erano stati sottovalutati il moto oscillatorio del ponte, in particolare quello orizzontale, e la sincronizzazione del passo dei pedoni, col conseguente effetto di risonanza.
Ma, poiché *non tutto il male vien per nuocere*, fu proprio in seguito all'apertura del Millennium Bridge che l'esistenza di questi fenomeni fu evidenziata, riconosciuta e lo studio del fenomeno oscillatorio delle passerelle ampiamente approfondito dagli esperti, dando vita alla pubblicazione di diverse linee guida sulle passerelle. Come citato precedentemente, la valutazione delle vibrazioni indotte dai pedoni è in piena fase di approfondimento e di ricerca di una modalità di analisi univoca e condivisa.

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

Figura 1.1. Vista del Millennium Bridge

Nel caso del Millennium Bridge, per risolvere il problema, è stato fatto uso della dinamica dei sistemi accoppiati, il che ha offerto un'eccellente soluzione, consentendo di smorzare le oscillazioni.
Ad opera ultimata furono applicati dispositivi ad inerzia per contrastare le oscillazioni verticali e dispositivi idraulici (o viscosi) per quelle orizzontali. Questo comportò una spesa aggiuntiva di circa 5.000.000 di sterline e lavori protratti per più di un anno.

Sinteticamente di seguito viene spiegato in cosa consistono questi smorzatori. L'uso di quelli a inerzia o a massa risonante, per contrastare le oscillazioni verticali, consiste nell'aggiunta di uno o più pesi vincolati elasticamente (molle) all'impalcato, aventi opportune caratteristiche inerziali, che si muovono in controfase al ponte smorzando così le oscillazioni verticali.
Indicativamente, gli smorzatori a massa risonante TMD (*Tuned Mass Damper*) hanno una massa compresa tra lo 0,5% ed il 5% della massa della passerella, ma l'esatta individuazione viene acquisita mediante prove di caratterizzazione dinamica ad opera ultimata.
Quelli idraulici per contrastare le oscillazioni orizzontali sono viscosi e, dissipando energia, impediscono il propagarsi delle oscillazioni orizzontali. Ad opera realizzata, è possibile eseguire le prove di caratterizzazione dinamica volte alla misurazione del rapporto di smorzamento e delle esatte frequenze naturali dei modi di vibrare della struttura per la corretta calibrazione dei dispositivi. Essendo la prevenzione ex ante più importante della cura ex post e sicuramente molto meno onerosa, è di fondamentale importanza che il progettista tenga conto di questi aspetti già nelle fasi iniziali della progettazione di una passerella pedonale. Tenerne conto significa ottimizzare e ridurre i costi.

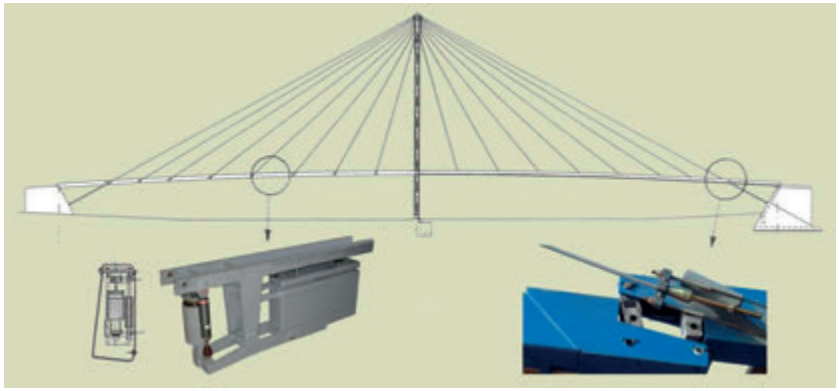

Figura 1.2. Dettaglio dell'utilizzo di smorzatori

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

Per queste ragioni il problema delle possibili vibrazioni indotte dal transito dei pedoni, fenomeno intrinseco alle passerelle, deve essere valutato in fase progettuale insieme alla verifica delle azioni del vento, della neve, del sisma e di altri carichi accidentali, prevedendo l'eventuale installazione di dispositivi di mitigazione delle vibrazioni, se ritenuta necessaria.
Un'opera all'avanguardia su questo aspetto, che è possibile approfondire al capitolo 4.3.1 della presente pubblicazione, è il ponte ciclopedonale all'interno del Parco San Giuliano di Mestre, per il quale il progettista aveva previsto, durante la progettazione eseguita prima del 2000, una soluzione mediante smorzatori.
In sintesi, una corretta progettazione delle passerelle pedonali deve garantire la sicurezza dell'opera sia sotto il profilo statico sia sotto quello dinamico, assicurando un transito dei pedoni privo di disagi.

Figura 1.3. Vista della passerella strallata del parco San Giuliano

Figura 1.4. Vista interna della passerella Expo-Merlata, con il transito dei visitatori durante l'Esposizione Universale del 2015

Si riportano infine alcuni riferimenti generali di carattere normativo per la progettazione di passerelle pedonali e ciclopedonali. Il Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 *Norme Tecniche per le Costruzioni* è il riferimento italiano per la progettazione delle passerelle pedonali. Al capitolo 5, "Ponti", si fa riferimento ai ponti di 3ª categoria: *ponti per il transito dei soli carichi associati allo Schema 5, ovverosia alle passerelle pedonali*.
Il riferimento europeo, per quanto riguarda la progettazione delle passerelle in acciaio, è la EN 1993-2, Eurocodice 3 *Progettazione delle strutture di acciaio, Parte 2 – Ponti*.

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

4.1.2. Passerella ciclopedonale sul fiume Adige nel tratto Nomi-Calliano (Trentino-Alto Adige)

Figura 4.1.13. Vista della passerella nella cornice della Val d'Adige

Committente	Servizio Ripristino e Valorizzazione Ambientale della Provincia Autonoma di Trento – Ufficio Piste Ciclabili
Progetto	T&D Ingegneri Associati – Ing. Giorgio Raia
Costruttore metallico	C.M.M. F.lli Rizzi Srl

Posizione

La passerella ciclopedonale sul fiume Adige nel tratto Nomi-Calliano raccorda la viabilità ciclopedonale esistente sulle sponde destra e sinistra a valle del fiume con l'obiettivo di favorire ed incentivare forme di mobilità diverse ed alternative all'auto, in particolare l'uso della bicicletta. Il ponte ciclabile di attraversamento dell'Adige a Nomi ha un significato del tutto particolare in quanto rappresenta il definitivo completamento della *ciclopista del Sole* e di fatto la definitiva unione del tratto nord, verso

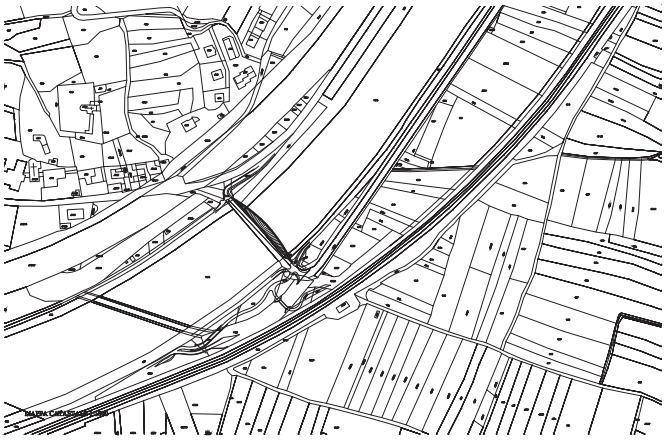

Figura 4.1.14. Planimetria catastale della passerella

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

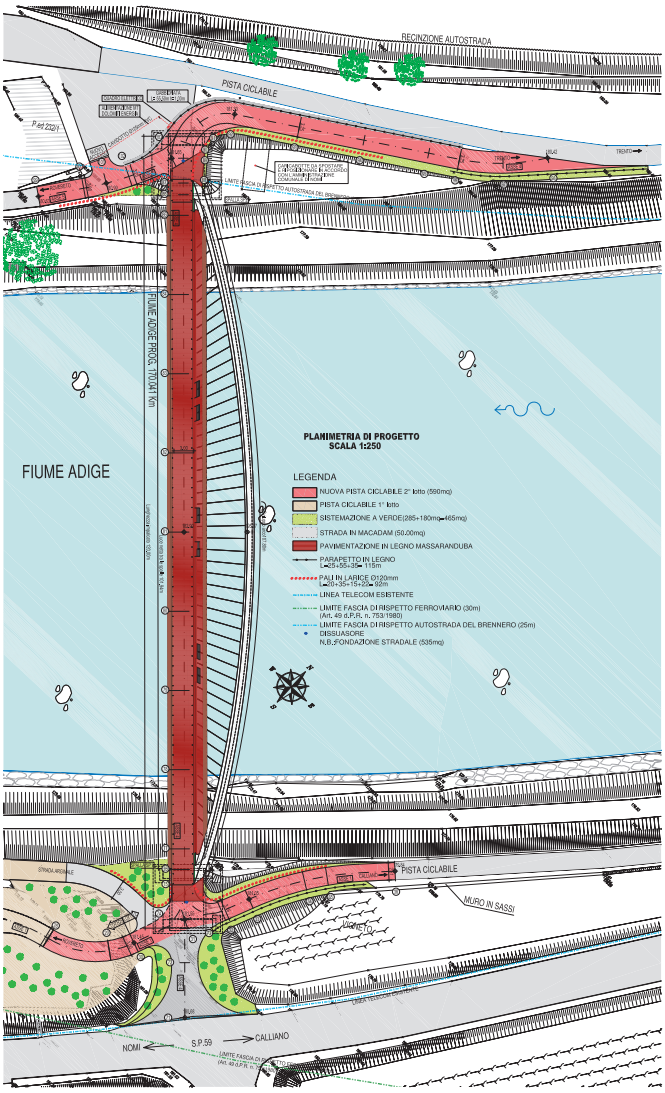

Figura 4.1.15. Planimetria generale della passerella

Trento, posizionato in destra orografica dell'Adige, con quello a sud, verso Rovereto, posto sulla sponda opposta del fiume.

Tipologia

Passerella ad arco a via di corsa inferiore.

Descrizione

Con lunghezza complessiva di 120,75 m, la luce netta fra le spalle è di 101,95 m, la freccia (misurata nel piano dell'arco) è di circa 14,60 m. L'arco presenta una configurazione a tracciamento circolare con sezione rettangolare a cassone su tutto lo sviluppo, con larghezza pari a 1,20 m, ed altezza variabile fra l'imposta e la chiave da 1,20 a 0,60 m.

L'impalcato è costituito da un cassone chiuso di forma trapezoidale verso monte e da uno sbalzo realizzato con una piastra irrigidita dal lato di valle. La sezione del cassone dell'arco è variabile, con altezza massima in prossimità delle spalle e minima nella parte centrale.

La caratteristica principale della struttura è rappresentata dalla completa asimmetria della sezione trasversale. L'arco risulta disposto su un piano inclinato di 30° rispetto alla verticale, con l'impalcato per gran parte a sbalzo rispetto agli elementi di sostegno costituiti da una serie di pendini.

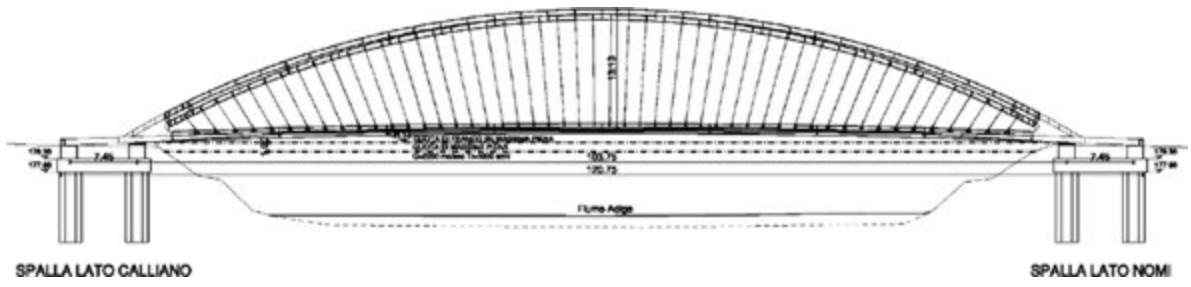

Figura 4.1.16. Prospetto

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

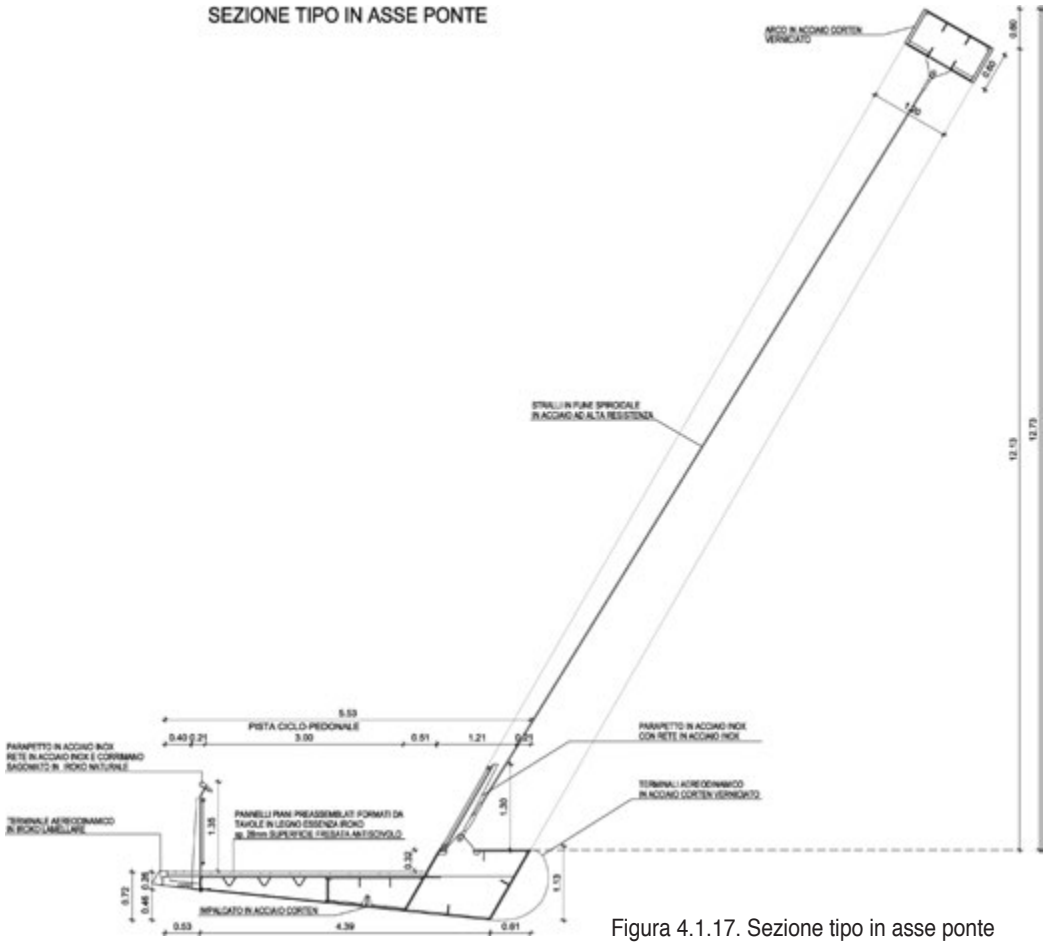

Figura 4.1.17. Sezione tipo in asse ponte

L'impalcato ha una larghezza complessiva di 5 m mentre quella netta della pista ciclabile è pari a 3,25 m. In senso longitudinale l'impalcato presenta una leggera monta verticale di circa 1 m.

Il sistema di sospensione è costituito da 50 pendini, in funi spiroidali da 20 mm di diametro, disposti in modo radiale con un passo di 2 m. Le fondazioni di ciascuna spalla sono realizzate da due linee di diaframmi in c.a. affiancati, orientati in direzione trasversale al ponte, costituiti da 5 elementi di dimensione 2,50 × 1,20 e 20 m di profondità e da una platea di raccordo con le spalle, alta 1,50 m. Essendo la struttura fortemente iperstatica, la scelta di tale sistema di fondazione è dettata dalla necessità di dover assorbire delle forze orizzontali di notevole entità. Il sistema è in grado di contrastare il momento torcente nell'ordine di 6.000 kNm con azione nel piano dell'impalcato che si sviluppa in prossimità dell'incastro tra l'arco e l'impalcato-catena.

Figura 4.1.18. Vista prospettica modello di studio 3D

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

La spinta dovuta alla messa in esercizio dell'arco viene eliminata attraverso la contemporanea messa in trazione dell'impalcato metallico che, essendo solidamente collegato all'arco, svolge anche la funzione di catena.
Per quanto riguarda lo schema di vincolo, data la particolarità della struttura, è risultato conveniente adottare una soluzione cosiddetta "integrale" ovvero una modalità che prevedesse il ripristino della continuità fra sovrastruttura e sottostruttura. Tale sistema elimina la necessità di ricorrere a dispositivi di vincolo specifici, nonché a dispositivi per assorbire le dilatazioni della struttura, come accade invece assumendo schemi di vincolo esternamente isostatici.
L'impalcato è solidarizzato alle sottostrutture attraverso una coppia di ancoraggi realizzati con barre in acciaio ad alta resistenza tipo "Macalloy".

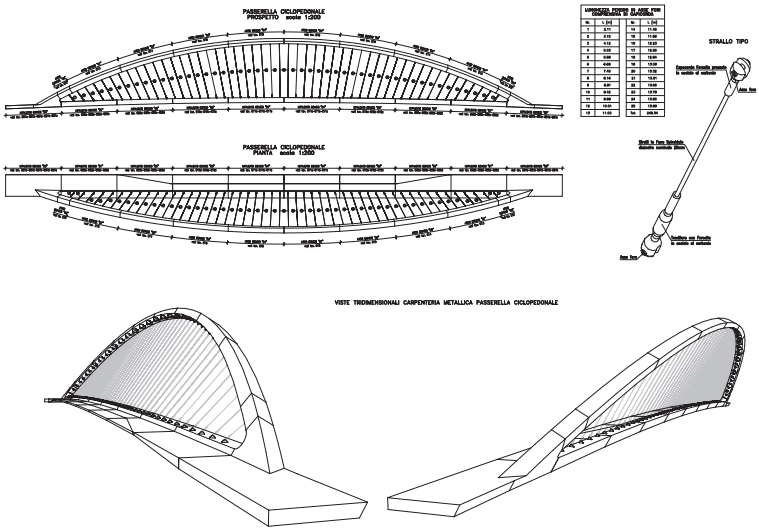

Figura 4.1.19. Viste tridimensionali carpenteria metallica

La scelta di questa tipologia d'impalcato è stata dettata in particolare dalla necessità di ottemperare ai limiti imposti dal Servizio Bacini Montani della Provincia Autonoma di Trento che nella fase autorizzativa ha categoricamente escluso la presenza, in alveo e nelle zone golenali, di elementi di sostegno ed inoltre ha imposto l'entità del franco netto tra il pelo libero dell'evento di massima piena e l'intradosso dell'impalcato.
La soluzione scelta è stata perciò ritenuta complessivamente la più conveniente e quella che è riuscita a soddisfare maggiormente dal punto di vista architettonico le esigenze paesaggistiche e di visibilità del sito.
L'arco è stato rastremato per due motivi: il primo per sfruttare al massimo il rapporto peso/efficienza della struttura, il secondo scaturito dallo studio, eseguito dal Politecnico di Milano, del comportamento aeroelastico della struttura sottoposta all'azione del vento.
A tale proposito si ritiene utile ricordare che le frequenze critiche di vibrazione dipendono dalla geometria della sezione: se tali grandezze vengono forzatamente fatte variare per effetto della rastremazione strutturale la medesima variabilità sarà assunta anche dalla frequenza critica propria di quella sezione. Per questo motivo l'azione forzante dovuta all'evento avrà una frequenza propria che potrà incidere esclusivamente con una piccola porzione della struttura attorno alla sezione e quindi limitarne le conseguenze indesiderate.

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

Figura 4.1.20.
Viste con dettaglio dell'arco

Figura 4.1.21.
Vista della passerella perfettamente inserita nel contesto

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

Figura 4.1.22.
Vista della passerella lato Calliano

Figura 4.1.23.
Fase di studio della struttura

Human comfort

La successiva modellazione matematica degli effetti dinamici sulla struttura eseguita dall'Università degli Studi di Trento (UNITN) ha individuato nell'ambito dell'analisi modale alcuni modi di vibrare della struttura per i quali si è ritenuto indispensabile procedere con sistemi di smorzamento esterni quali i TMD.

È stata effettuata una campagna di prove finalizzata all'identificazione dinamica della passerella ed alla taratura del sistema di smorzamento, mirato sulle frequenze ritenute critiche tra 0,74 Hz e 2,13 Hz. Il sistema è costituito da quattro diversi TMD di cui tre di massa pari a 2.000 kg ed uno, posizionato in chiave all'arco, di 400 kg. Le numerose misure in termini di frequenza e accelerazione hanno permesso il riconoscimento dei principali modi di vibrare in direzione verticale e orizzontale. A tutt'oggi la struttura è costantemente monitorata dall'UNITN.

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

Materiale utilizzato

La passerella è realizzata interamente in acciaio autopatinabile (corten) verniciato, scelta determinata dalla necessità di avere un materiale ad alta resistenza e di grande durabilità. Il progettista ha proposto una serie di cicli di verniciatura che permettessero una limitata manutenzione.

Nel dettaglio sono stati impiegati:

- acciaio autopatinabile S355J0W per spessori per $t \leq 20$ mm; S355J2W per spessori $t > 20$ mm e $t \leq 40$ mm; S355K2W per spessori $t > 40$ mm e $t \leq 60$ mm;
- funi spiroidali in acciaio zincato ad alta resistenza e basso rilassamento, diametro nominale 20 mm e sezione nominale = 245 mm^2; tensione caratteristica di rottura *fptk* 1.570 N/mm^2;
- l'ancoraggio dell'impalcato alle sottostrutture è realizzato impiegando barre in acciaio ad alta resistenza e basso rilassamento tipo "Macalloy", diametro nominale = 40 mm e sezione nominale = 1.257 mm^2, tensione caratteristica di rottura *fptk* 1.030 N/mm^2;
- parapetti in acciaio inox tipo 1.4301.

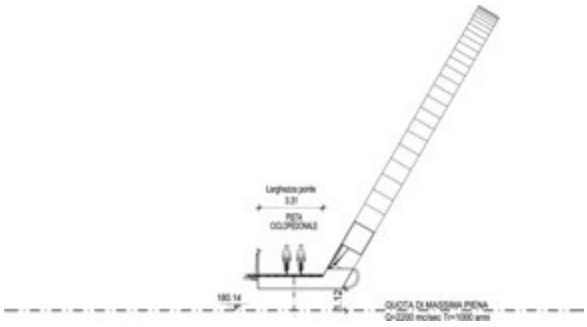

Figura 4.1.24. Sezione tipo

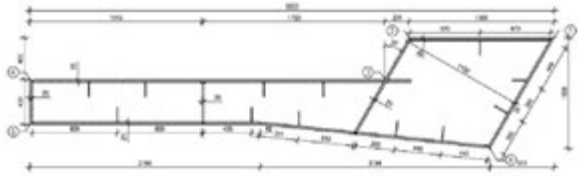

Figura 4.1.25. Sezione trasversale concio 1

Realizzazione e montaggio

Il montaggio della struttura è avvenuto attraverso quattro distinte fasi, su una penisola provvisoria appositamente realizzata e idraulicamente protetta mediante palancole tipo Larssen.

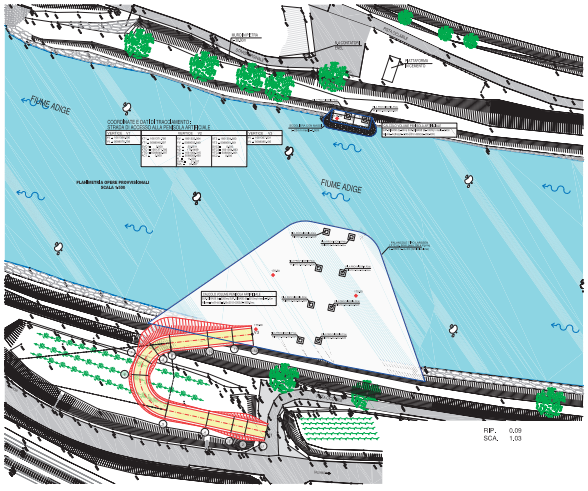

Figura 4.1.26. Penisola provvisoria: pianta

Figura 4.1.27. Fase di montaggio 1

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

Figura 4.1.28. Fasi di montaggio 2

Figura 4.1.29. Fasi di montaggio 3

Figura 4.1.30. Fasi di montaggio 4 e varo

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

La fase finale ha previsto il montaggio e la messa in tiro degli stralli e quindi la chiusura del sistema statico, arco-catena del ponte con la possibilità quindi di rimozione dei sostegni provvisori dell'arco e dell'impalcato. In particolare per la fase 4, che prevedeva il montaggio sopra il fiume, mantenuto in scorrimento, del tratto d'impalcato costituito dai conci 2-3-4 preventivamente saldati a terra tra loro, l'ipotesi progettuale ha previsto la post-tensione esterna dei tre conci in modo tale da giungere all'eliminazione della deformata dovuta ad un funzionamento flessionale dell'impalcato-catena.
Per il sollevamento è stata impiegata un'autogru a braccio variabile da 500 t. Tutte le fasi di montaggio sono state costantemente seguite e controllate mediante una stazione topografica.

Figura 4.1.31. Vista della passerella lato Nomi

Dati significativi
Costo complessivo dell'opera: 1.930.000 euro
Anno di realizzazione: 2013
Quantità di acciaio: 460 tonnellate

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

4.3.3. Passerella ciclopedonale sull'autostrada A13 a Bologna (Emilia-Romagna)

Figura 4.3.15. Vista prospettiva dell'intradosso della passerella

Committente	Comune di Bologna
Progetto architettonico e strutturale	Studio Majowiecki – Prof. Ing. Massimo Majowiecki
Imprese appaltatrice	S.I.P.A.L. Srl
Costruttore metallico	M.B.M. Spa

Posizione

Lungo l'autostrada Padova-Bologna (A13), all'altezza dell'abitato di Dozza (BO), si trova un innovativo ponte di terza categoria, passerella ciclo-pedonale, di 100 m circa di luce. La passerella è stata

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

progettata per l'attraversamento dell'A13 collegando la via Tuscolano con il comparto R.5.4d del quartiere Dozza. Il progetto concettuale di architettura strutturale ha tenuto in particolare considerazione i vincoli funzionali, ambientali ed economici imposti dalla committenza.

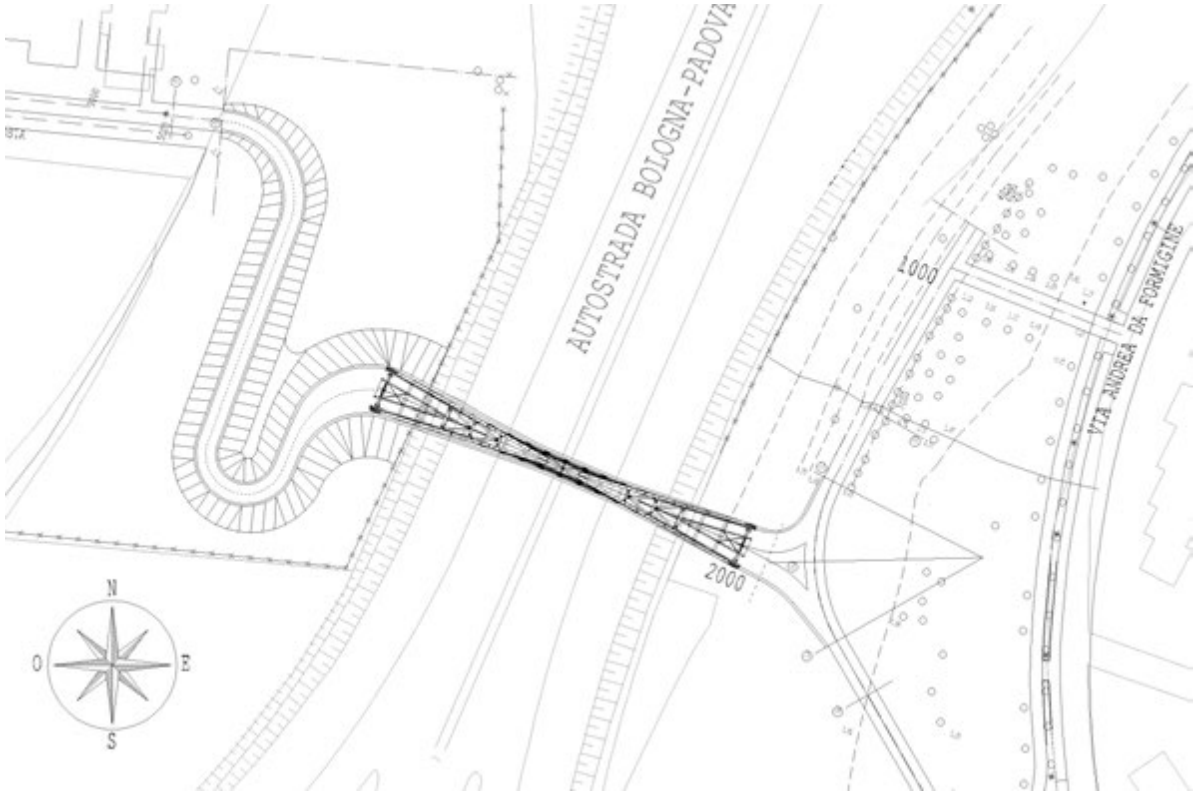

Figura 4.3.16. Planimetria generale

Tipologia

Passerella ad arco strallato con funi a raggiera.

Figura 4.3.17. Vista intradosso del raccordo funi

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

Descrizione

Molto particolare lo schema statico di questa passerella, che si avvicina di più ad una tipologia ad arco che a quella strallata. Il sistema portante principale è costituito da due cavalletti ad A, inclinati, contrastati in mezzeria, in modo da superare, tra le imposte, circa 100 m di luce libera con 20 m di freccia. L'intradosso dell'impalcato si trova ad una quota superiore di 6 m rispetto al livello dell'autostrada.
I cavalletti sono divaricati, in corrispondenza delle imposte, di circa 10 m e la spinta, generata dal meccanismo portante molto simile ad un arco a tre cerniere, viene equilibrata da un sistema di funi spiroidali di acciaio ad alta resistenza. Le aste sono sagomate a sezione variabile in modo da ottenere una configurazione ottimale rispetto alla sollecitazione di pressoflessione ed ai problemi di stabilità nel piano e fuori dal piano principale di flessione.

La "catena", coincidente con l'impalcato, presenta una monta del 3% della luce libera. Il sistema portante secondario è costituito da stralli, di tipo spiroidale, convergenti in chiave ed aperti a ventaglio, che, in collaborazione con le "catene" tubolari, sostengono l'impalcato realizzato in lamiera grecata con getto in c.a. Gli stralli si ancorano nella confluenza delle funi stabilizzanti e dei traversi orditi ad interassi costanti di 5 m. Accurate scelte tecniche, a partire dal tipo d'acciaio impiegato (Fe 510 D, secondo la denominazione vigente all'epoca del progetto), ai sistemi protettivi utilizzati quali l'uso dell'acciaio zincato, fino alle modalità ed alla velocità di montaggio, hanno permesso di coniugare perfettamente qualità, estetica ed economicità. Aspetti, questi, che permettono di accrescere il valore di un'opera d'ingegneria.

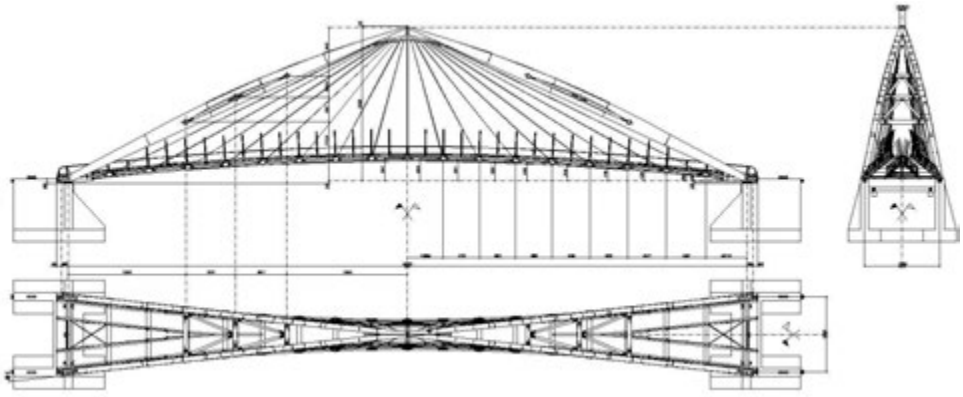

Figura 4.3.18. Pianta, sezione e prospetto

Human comfort

Nei ponti pedonali la risposta dinamica è caratterizzata da frequenze naturali di vibrazione molto vicine alle frequenze di sensibilità umana. I range di frequenze consigliati dalla letteratura tecnica non sempre trovano riscontro con opere in servizio, come esposto dal prof. Massimo Majowiecki durante il convegno *Footbridge 2005* a Venezia. Alla luce di queste considerazioni, per garantire sicurezza e comfort è stato predisposto, in sede di collaudo, il collegamento ad un sistema TMD, che permette di modificare in corso d'opera le caratteristiche meccaniche della struttura, evitando il tipico fenomeno vibrazionale prodotto dall'attività antropica.

Materiale utilizzato

Le aste dei cavalletti sono realizzate in acciaio S355J2G3 (Fe 510 D secondo la denominazione in vigore all'epoca del progetto) a sezione scatolare, mediante saldatura automatica di piatti di vario spessore.

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

Le funi di strallo, di tipo spiroidale, sono realizzate con fili elementari ad alta resistenza (s_r > 1600 N/mm^2), di diametro nominale ⌀ = 40 mm e ⌀ = 28 mm, protette contro la corrosione mediante zincatura. La lamiera grecata è di tipo collaborante in acciaio zincato Fe E 250 G secondo la nomenclatura vigente all'epoca, attuale S250 GD.

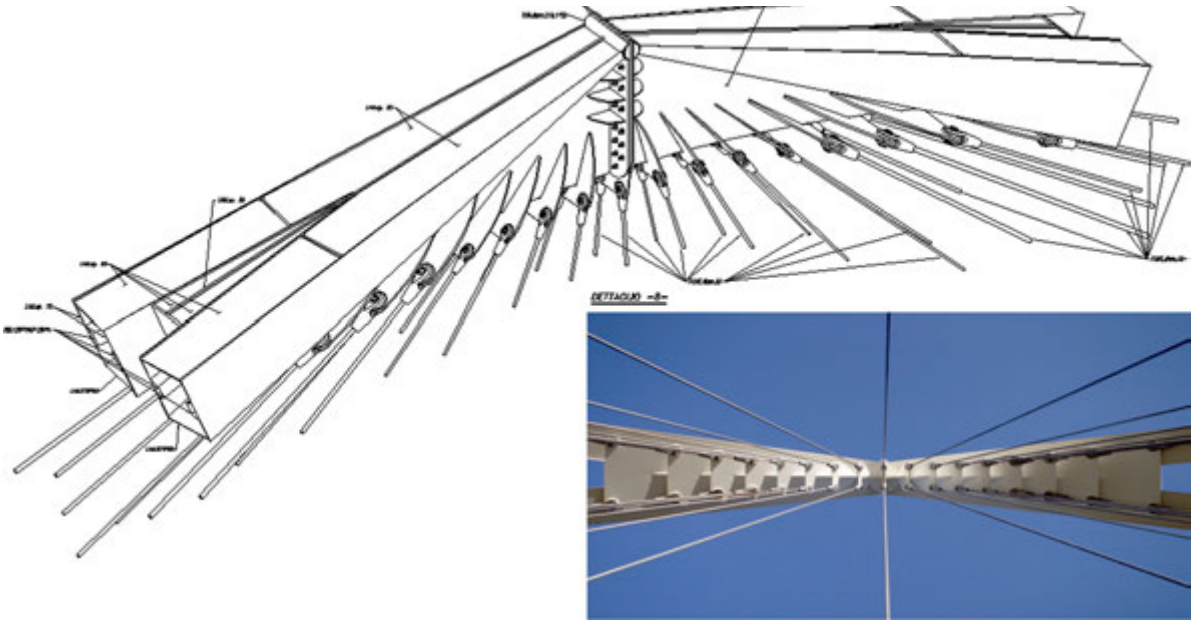

Figura 4.3.19. Dettaglio raccordo funi

Realizzazione e montaggio

Prese in analisi le condizioni di traffico il montaggio della passerella è stato eseguito nella zona lato via Tuscolano, assemblando e connettendo la struttura alle spalle in c.a. mediante movimentazione notturna. Ciò ha permesso di minimizzare l'interruzione del traffico stradale.

Figura 4.3.20. Montaggio: fasi cantiere

L'assemblaggio degli elementi costituenti il sistema strutturale ha rispettato le seguenti fasi:

- l'arco-cavalletto è stato montato parallelamente all'autostrada, contrastando le spinte orizzontali contro i blocchi-spalla provvisionali;

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

- in seguito è stato assemblato l'impalcato su supporti provvisori e sono state inserite le "funi-catena". I supporti a terra sono stati livellati secondo la configurazione geometrica in assenza del carico della soletta in calcestruzzo, in modo da facilitare l'aggancio degli stralli con gli attacchi di impalcato;

Figura 4.3.21. Montaggio: fasi di cantiere

- le funi catena sono state tesate al punto di "liberare" i contrasti alle spalle provvisorie;
- sono stati messi in tiro gli stralli con controllo geometrico della posizione dei capocorda rispetto ai dettagli di contrasto e gradualmente riprese le funi catena per evitare troppi incrementi di spinta alle spalle;

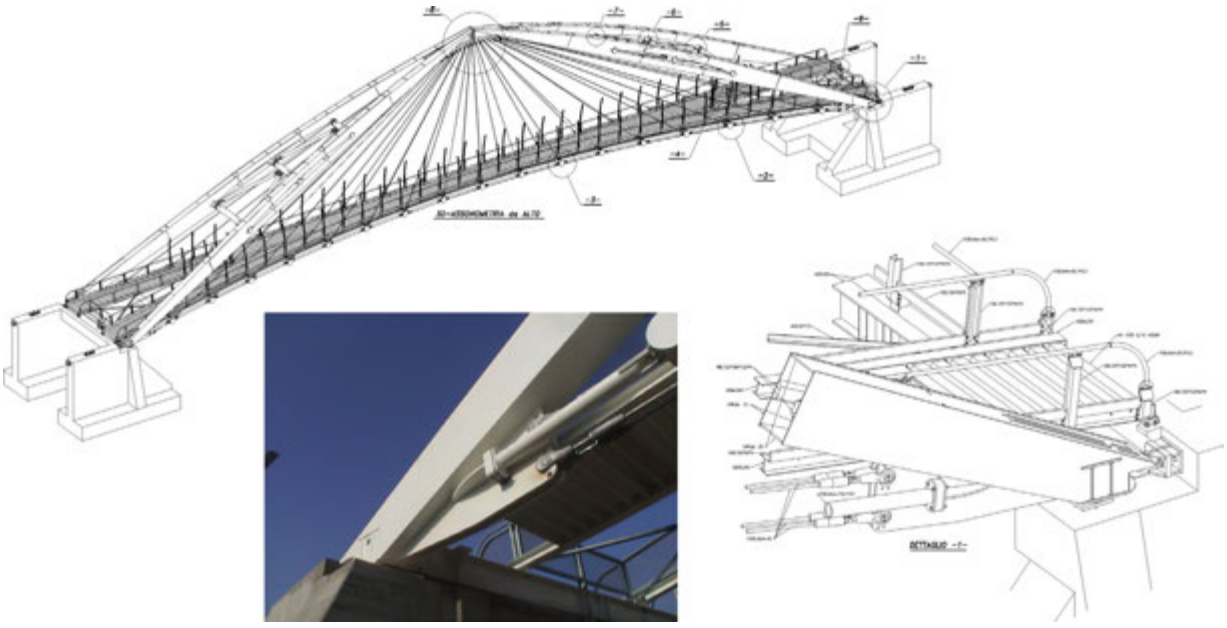

Figura 4.3.22. Dettaglio attacco

- terminata l'operazione, il ponte si è presentato con gli stralli pre-tesi con forze calcolate senza l'azione del carico permanente della soletta e con la configurazione geometrica correlativa;

Abstract scaricato da www.promozioneacciaio.it - riproduzione vietata

- il getto della soletta di calcestruzzo ha portato la passerella alla configurazione finale dove le spinte sono interamente a carico delle "funi-catena". Al termine di dette operazioni le funi sono totalmente tesate al punto da "prendere" l'intera spinta, quindi la struttura così configurata per la fase "permanente" è nuovamente fissata orizzontalmente alle spalle per il periodo di maturazione della soletta e per le fasi di collaudo.

Figura 4.3.23. Vista passerella

Dati significativi
Costo complessivo dell'opera: 1.300.000 euro
Anno di realizzazione: 2009