



Collegio dei Tecnici dell'Acciaio



XX CONGRESSO C.T.A.

AVANZAMENTI NELLE COSTRUZIONI IN ACCIAIO

ADVANCES IN STEEL CONSTRUCTIONS

Editore: ACS ACAI SERVIZI srl - Milano



NUOVA PASSERELLA MOBILE CICLO-PEDONALE SUL CANALE BURLAMACCA A VIAREGGIO (LU)

NEW MOVABLE BRIDGE ON BURLAMACCA CHANNEL IN VIAREGGIO (LU)

Prof. Ing. Raffaello Bartelletti
Dipart. di Ingegneria Strutturale
Università di Pisa

Dott. Ing. Marco Pascucci
Studio Bartelletti - Pisa
studio@bartelletti.it

Dott. Ing. Massimo Viviani
Libero Professionista - Lucca
stviviani@tin.it

ABSTRACT

The new movable bridge in Viareggio is a cycle-pedestrian bridge over the Burlamacca channel well fitted in the harbour environment. The steel bridge show reproposal of a method of movement based upon the rotation between a cylindrical and a linear gear. The final result is a movable bridge with a low maintenance cost, very noiseless and fast movement.

SOMMARIO

Nell'ambito del porto canale di Viareggio la nuova passerella ciclo pedonale sul canale Burlamacca rappresenta un'opera di sicuro interesse. La struttura metallica studiata ed il sistema di movimentazione a settore rotolante contraddistinguono una soluzione sicuramente innovativa sia per la scelta progettuale operata, sia per la sua realizzazione pratica (Figura 1).

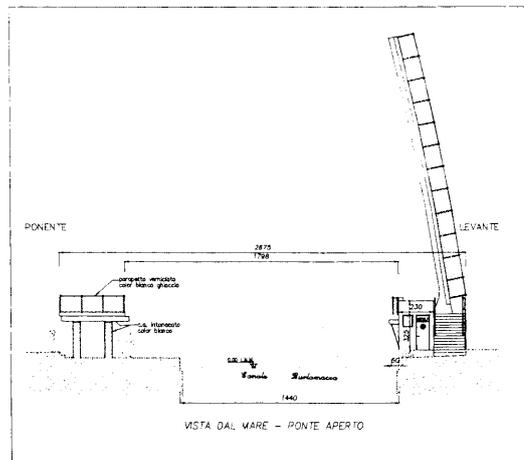


Figura 1

1. INTRODUZIONE

Il porto di Viareggio presenta aspetti urbanistici tipici delle piccole città portuali. Il litorale con la sua passeggiata si snoda attraverso il porto canale realizzando una forte compenetrazione tra le attività cantieristiche e le zone destinate ad abitazione o commercio. Durante la stagione estiva il porto aumenta sensibilmente la sua vitalità sia per i natanti da diporto, sia per i turisti balneari. In questo contesto l'attraversamento del canale Burlamacca rappresenta un'opera importante nel reticolo di collegamento viario ciclo pedonale del porto. Il comune di Viareggio, nell'ambito della riqualificazione della Passeggiata ha bandito un

concorso nazionale di progettazione per la sostituzione della vecchia passerella mobile sul canale Burlamacca. A seguito dell'esito del concorso, agli scriventi è stato affidato il progetto esecutivo dell'opera, che è stata realizzata e completata nell'estate 2004.

La passerella ciclo-pedonale mobile è costituita da una struttura il cui movimento di apertura e chiusura avviene mediante ruote dentate, rese possibili nella loro caratterizzazione classica con la dentatura di accoppiamento a profilo evolvente, dalla tecnologia di lavorazione meccanica oggi disponibile. Nel complesso l'opera realizzata presenta, insieme ad una elevata funzionalità di esercizio, un felice inserimento urbanistico ed architettonico (Figura 2).

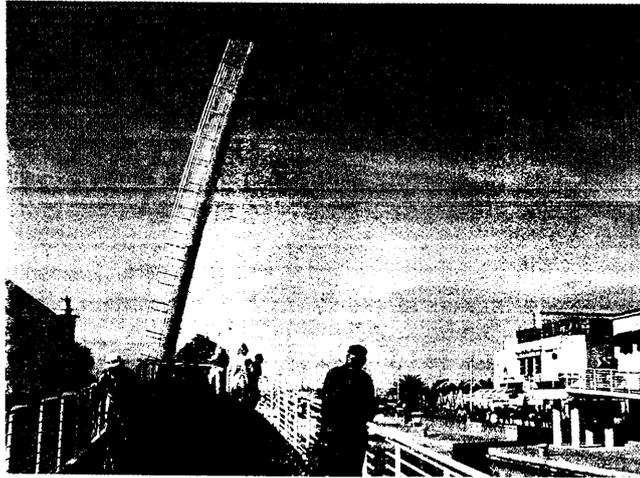
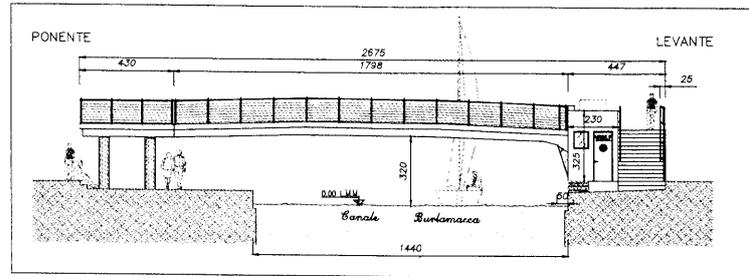


Figura 2: Vista da una rampa

2 SCELTE DI PROGETTO

La nuova passerella mobile sul canale Burlamacca ha sostituito una vecchia passerella di tipo girevole, la cui funzionalità era gravemente compromessa. Le esigenze da tenere presente per la progettazione del nuovo manufatto erano molteplici e tutte caratterizzate da elevata priorità. Il canale rappresenta la via principale di uscita dei pescherecci verso il mare e per questo era necessario prevedere una rapida manovra di apertura e chiusura; a questo deve aggiungersi che una serie piuttosto estesa di barche è in grado di transitare con tiranti d'aria modesti (3,00 m) e quindi conveniva prevedere un innalzamento dell'intradosso della sovrastruttura rispetto alla passerella preesistente, in modo da consentire il transito dei natanti più piccoli anche a ponte chiuso (Figura 3). Parimenti il traffico ciclo pedonale di attraversamento era previsto di un volume tale da rendere necessaria un passerella di larghezza netta di 3,50 metri, accessibile ai disabili.



VISTA DAL MARE - PONTE CHIUSO

Figura 3

Oltre ai suddetti vincoli progettuali principali, l'Amministrazione Committente ha richiesto anche il superamento della banchina di ponente, così da lasciare il "Molo" completamente sgombro e fruibile per passeggiate o per il mercato ambulante del pesce fresco.

2.1 Descrizione dell'attraversamento

La passerella rappresenta il prolungamento della Passeggiata a mare verso Levante ed il collegamento con il Porto ed il caratteristico quartiere "Darsena". L'attraversamento è costituito dalla campata mobile sul canale e da due rampe di accesso, quasi completamente a giorno, della larghezza netta di 3,50 metri, aventi pendenza inferiore ai minimi di norma e munite di ripiani intermedi per una migliore agibilità; la campata centrale, destinata al superamento canale Burlamacca e della banchina di ponente, è realizzata con una struttura metallica mobile di tipo levatoio, ad unica volata (Figura 4). La quota di progetto è tale da assicurare un tirante d'aria di almeno tre metri sul canale ed un'altezza libera superiore a 2,50 sulla banchina laterale, necessaria per il transito pedonale. Le rampe fisse sono state realizzate con una soletta in cemento armato portata da pilastri a sezione circolare del diametro di 30 cm.

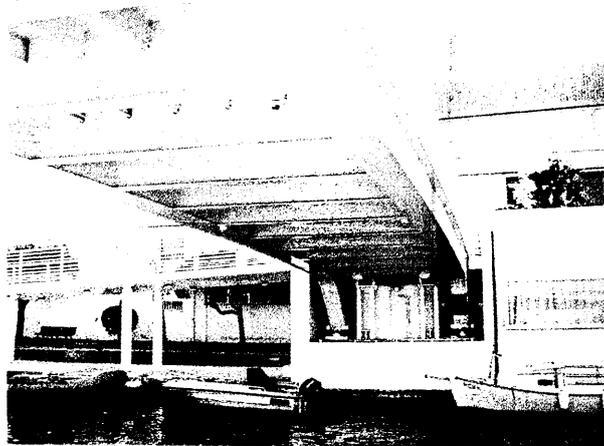


Figura 4: Vista area di movimentazione

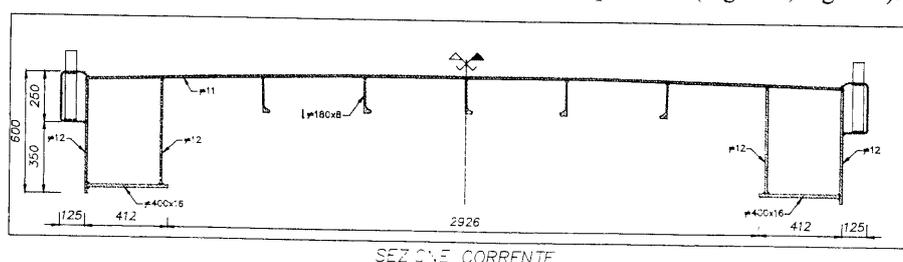
Nel complesso l'intero attraversamento è caratterizzato dalla continuità formale delle caratteristiche geometriche, larghezze e spessori, e cromatiche, che sono state uniformate in modo da evitare quelle cesure che talvolta appaiono nella realizzazione di opere ad elevato contenuto tecnologico, quale un ponte mobile. Il risultato è, a parere degli scriventi, un buon inserimento ambientale della nuova opera, che ha mantenuto il delicato equilibrio compositivo del contesto urbanistico e paesaggistico di questa zona particolarmente significativa della città di Viareggio.

2.2 Descrizione della struttura metallica

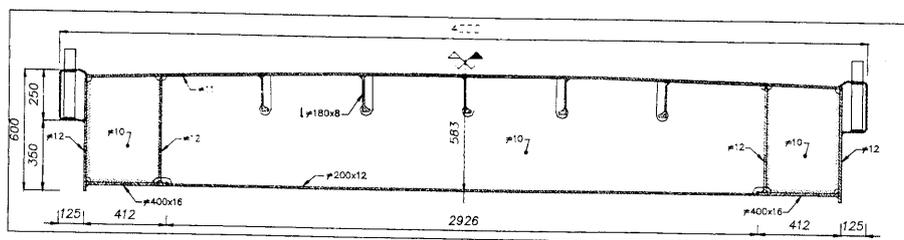
La struttura metallica di un ponte mobile presenta delle caratteristiche peculiari. La rigidità della struttura deve essere tale da escludere l'insorgenza di fenomeni dinamici che potrebbero amplificare oltre misura le sollecitazioni agenti; tale rigidità deve essere calibrata con il sistema di movimentazione e con la necessità di garantire la funzionalità della via. Funzionalità che impone l'assenza di apprezzabili discontinuità in corrispondenza del giunto

tra l'impalcato e la spalla: questo aspetto è particolarmente delicato a causa delle forti variazioni termiche differenziali tra superfici dell'impalcato diversamente orientate. Il sistema di movimentazione è caratterizzato da forze che, a paragone con i pesi strutturali, possono considerarsi grandi e quindi pongono evidenti problemi di diffusione dei carichi concentrati e di trasmissione delle tensioni tra le diverse parti di membratura destinate ad assolvere le funzioni statiche e dinamiche.

La lunghezza netta della volata, misurata dal centro del settore rotolante, è pari a circa 19,00 m a cui deve aggiungersi la parte posteriore per ulteriori 4,00 m, ottenendo così una lunghezza totale della passerella di circa 23,00 m. La struttura principale portante è costituita da due travi laterali a cassone e l'impalcato è del tipo a piastra ortotropa, composta da una lamiera superiore di 11 mm di spessore, irrigiditi longitudinali realizzati con piatti a bulbo 180x8 e trasversi disposti ad interasse di 1,50 m in sezione aperta a T (Figura 5, Figura 6).



SEZIONE CORRENTE



DIAFRAMMA

Figura 5



SEZIONE LONGITUDINALE

Figura 6

I due cassoni laterali sono stati sigillati in modo da migliorare sensibilmente la durabilità della struttura. Le travi principali a cassone sono collegate con il sistema di movimentazione a mezzo di settori in lamiera dello spessore di 25 mm che costituiscono la continuazione dei cassoni stessi e la sede delle ruote dentate di movimentazione (Figura 7). I due settori laterali sono collegati tra loro tramite un cilindro di acciaio 812,6/12,5 in grado di uniformare, grazie alla sua elevata rigidità torsionale, le coppie agenti sui due settori, nonché di consentire un agevole attacco dei pistoni oleodinamici. La struttura è quindi realizzata in modo da consentire un corretto sviluppo delle azioni interne che dal settore mobile sono destinate a

sostenere la volata limitando, per quanto possibile, situazioni di intaglio o carico indiretto che avrebbero pregiudicato la resistenza a fatica, tipica di strutture di questo tipo. Il meccanismo di movimentazione è completato, da ciascun lato, dalla cremagliera a terra e dal pistone, entrambi collegati ad una piastra metallica resa solidale con i pali di fondazione, in modo da eliminare pericolose situazioni di cedimenti differenziali che porterebbero al blocco del movimento. L'intero impalcato è realizzato in acciaio autopatinabile tipo COR-TEN ed è stato protetto con un ciclo di verniciatura adatto all'ambiente marino. La struttura è stata interamente saldata limitando le saldature in cantiere al minimo necessario. Il comportamento strutturale è risultato conforme alle aspettative con una sufficiente rigidità torsionale primaria, in grado di limitare le oscillazioni di rotazione durante il movimento, ma di consentire tuttavia di adeguarsi bene alle deformazioni di carattere termico differenziale che avrebbero potuto modificare sensibilmente l'accoppiamento impalcato- spalla durante la giornata.

2.3 Descrizione del sistema di movimentazione

Lo studio di un sistema di movimentazione presenta una serie di aspetti che devono essere considerati con molta attenzione in modo da ottenere una buona funzionalità del movimento. Semplicità di costruzione, velocità di movimento, rumorosità ridotta o assente, facilità di manutenzione: per questo ventaglio di aspetti sono state prese in considerazione diverse tipologie di ponti mobili. La specifica di progetto era di lasciare completamente libera la via d'acqua a ponte aperto, senza limitazioni in altezza; anche nelle versioni più moderne, senza buca posteriore [1], il ponte levatoio tradizionale a cerniere fisse non consente aperture complete a causa della cinematica stessa del movimento che porta il sistema di apertura in situazione di singolarità con il centro di rotazione (punto morto). Le modifiche alla catena cinematica che consentirebbero il superamento delle singolarità conducono a sistemi complessi sicuramente non ottimali nei riguardi dei costi di realizzazione e degli oneri di manutenzione. Inoltre la rotazione attorno ad assi orizzontali fissi porta a funzionamenti rumorosi a causa delle tensioni di rifollamento sugli accoppiamenti rotoidali radenti (bronzine), tipici dei ponti levatoi tradizionali, che impongono, in ultima analisi, una ridotta velocità di manovra.

Il ponte girevole classico non era adatto alla particolare conformazione del sito in quanto non era possibile realizzare una parte posteriore da zavorrare ed anche versioni moderne di ponte girevole senza zavorra [2] non erano geometricamente compatibili con le banchine. Il ponte girevole poi non si attaglia ai porti turistici in quanto le manovre di apertura/chiusura richiedono uno specchio d'acqua libero nell'area di rotazione, situazione che potrebbe non verificarsi con notevoli rallentamenti delle operazioni di manovra sia del natante che del ponte stesso.

La soluzione di ponte a settore rotolante presenta una serie di vantaggi, almeno in linea teorica. L'accoppiamento è organizzato con un settore cilindrico (polare mobile) ed una cremagliera orizzontale (polare fissa); il centro di istantanea rotazione giace sulla polare fissa su cui ruota il settore cilindrico limitando così l'attrito alla sola quota volvente. La particolare conformazione del sistema consente di muovere la volata del ponte, solidale al settore, utilizzando un cilindro oleodinamico posto con asse parallelo alla cremagliera e fissato in corrispondenza dell'asse di simmetria polare del settore cilindrico (Figura 8). Una tale conformazione consente di utilizzare al meglio la potenza offerta dai sistemi oleodinamici e realizza una movimentazione pressoché priva di accoppiamenti radenti: il risultato è un movimento veloce e silenzioso. In aggiunta, non avendo alcun problema geometrico, il meccanismo a settore rotolante può consentire aperture anche oltre i novanta gradi; ciò

peraltro non è di regola necessario grazie al contemporaneo arretramento dell'asse di istantanea rotazione che consente la totale liberazione del canale con rotazioni minori di 90° .

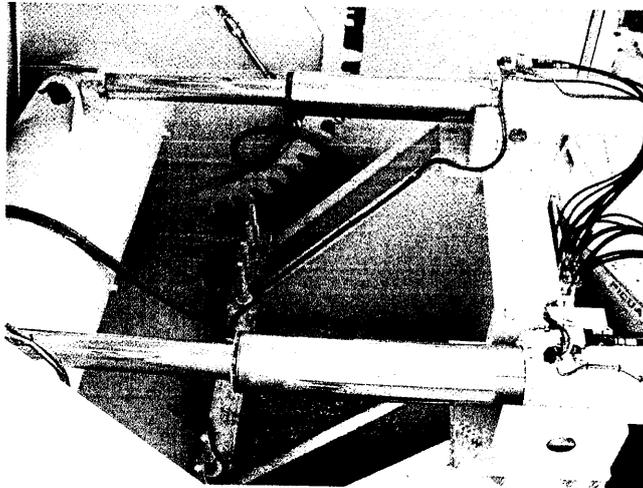


Figura 8: Dispositivo di manovra

A fronte di questi aspetti positivi, la soluzione a settore rotolante presenta evidenti difficoltà realizzative. L'accoppiamento dentato potrebbe risultare affetto da tolleranze di lavorazione incompatibili con il movimento stesso, mentre, passando a soluzioni di ripiego, ad esempio con perni, si vanificano molti dei vantaggi del cinematismo classico: il sistema diventa rumoroso ed accusa un'usura elevata con conseguenti rischi di blocco per scarrocciamento. In pratica l'utilizzo dei settori rotolanti con perni è stato relegato a strutture mobili con bassa frequenza d'apertura.

In considerazione delle possibilità offerte dalle tecniche di fresatura a controllo numerico con movimento tridimensionale della testa di fresa e gestione di grandi pezzi, in questo progetto è stato scelto l'accoppiamento ad ingranaggio. Nel dettaglio la ruota dentata e la corrispondente cremagliera sono state progettate con modulo 50, sul diametro primitivo di 3000 mm e con angolo di pressione pari a 10° (Figura 9).

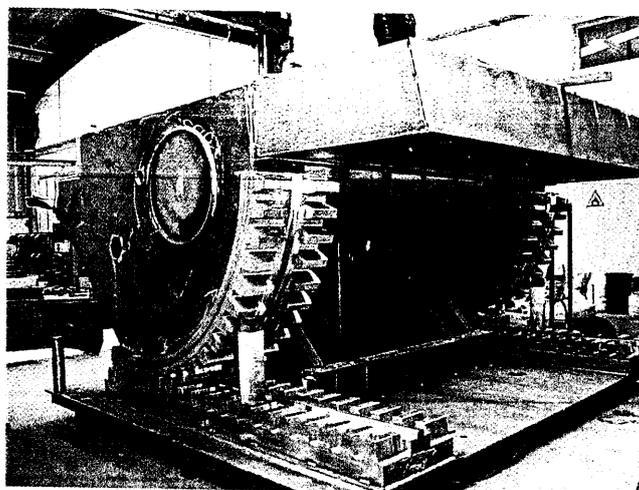


Figura 9: Cremagliera e ruota dentata in officina

La soluzione realizzata rispetta il complesso dei vincoli imposti: consente un'apertura tale da liberare completamente il canale, riduce i tempi di manovra e grazie all'assenza di attrito radente limita, per quanto possibile, la rumorosità del movimento. L'accoppiamento ad ingranaggi è completato da una parte centrale, priva di dentatura e sviluppata sul diametro primitivo, destinata a trasferire il carico verticale mediante il contatto lineare secondo la generatrice di rotolamento.

3. REALIZZAZIONE

Il progetto è stato studiato in tutti i dettagli in modo da limitare, per quanto possibile, gli imprevisti di esecuzione.

Le opere di fondazione sono state realizzate mediante l'impiego di micropali.

La struttura metallica presenta le seguenti caratteristiche:

- volata con impalcato in piastra ortotropa;
- settori rotolanti con ruota dentata e settore cilindrico centrale con chiavetta di allineamento;
- piastra di base con cremagliere e contrasti per i pistoni di movimentazione.

Il problema principale era quello di realizzare l'accoppiamento dentato con le tolleranze sufficienti a garantire l'affidabilità del movimento. La soluzione adottata è stata la seguente:

- a) realizzazione del settore dentato e della cremagliera con taglio a cannelo e sovrappessore di circa 15 mm sul profilo teorico;
- b) saldatura delle due parti sbazzate sul settore di carpenteria mobile;
- c) lavorazione a fresa del settore dentato e della cremagliera già saldati sulla carpenteria;
- d) posizionamento della parte posteriore del ponte con le ruote dentate secondo il profilo di progetto sulla piastra di base e successivo allineamento delle due cremagliere (Figura 10).
- e) taratura e blocco definitivo dell'accoppiamento con l'inserimento dei pistoni di movimentazione.

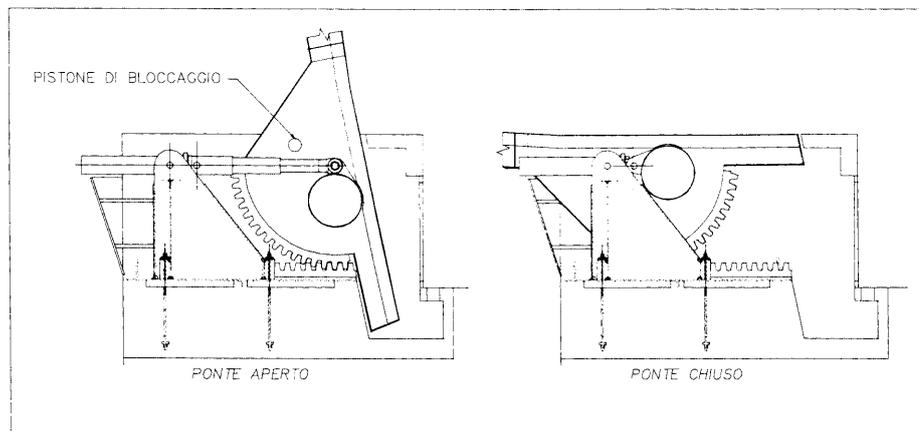


Figura 10: Dettaglio del dispositivo di manovra

Operando in questo modo sono stati annullati tutti gli errori di posizionamento in cantiere restringendo il ventaglio degli imprevisti ai soli errori geometrici della volata.

Dopo il posizionamento del blocco di movimentazione, la struttura è stata completata con il montaggio della volata mediante l'esecuzione di un elaborato giunto saldato.

Particolare cura è stata posta nel sistema di controllo della movimentazione in modo da evitare qualsiasi danno alla struttura in caso di malfunzionamento sia cinematico sia elettrico. In dettaglio sono stati previsti dei sensori di controllo dell'avanzamento della rotazione e del corretto sviluppo del rotolamento in modo da bloccare il sistema in caso di tendenza a ruotare nel piano orizzontale (blocco di una ruota dentata) o di distacco dal piano di rotolamento (innalzamento da un lato del ponte). Al termine delle tarature del sistema oleodinamico e di controllo ed effettuato il collaudo statico, il ponte è stato messo in esercizio.

La movimentazione del ponte avviene con frequenza almeno oraria nelle ore diurne e durante la notte il ponte resta in posizione di apertura della via d'acqua con blocchi di arresto capaci di assorbire una pressione cinetica del vento corrispondente ad una velocità di oltre 150 Km/h.

Dal punto di vista manutentivo il sistema oleodinamico, con pistoni a doppio effetto e doppia sfilata, non presenta particolarità di rilievo rispetto ai sistemi oleodinamici correnti.

4. DATI CARATTERISTICI

Progetto e Direzione dei Lavori: Prof. Ing. Raffaello Bartelletti (PI), Dott. Ing. Marco Pascucci (PI), Ing. Massimo Viviani (LU).

Imprese Esecutrici: VARIA COSTRUZIONI srl (LU) - LA QUADRIFOGLIO srl (LU)- OFFICINE CAR srl (VE)

Lunghezza della volata: 19065 mm

Larghezza totale dell'impalcato: 4000 mm

Peso della struttura metallica : 35134 Kg

Sistema di movimentazione: coppia di pistoni oleodinamici a doppio effetto e doppia uscita, stelo D 210/160, corsa 2050 mm.

Tipologia di accoppiamento: settore rotolante cilindrico con cremagliera rettilinea in orizzontale di tipo dentato con modulo 50, angolo di pressione 10°, diametro primitivo 3000 mm.

Angolo di apertura completa: 78,6 gradi

Tempo di manovra: 4 minuti.

RIFERIMENTI

[1] F. Morelli, M. Viviani "Nuovo ponte levatoio tra le darsene Toscana e Italia del Porto canale di Viareggio", Atti XV Congresso CTA, 1995.

[2] R. Bartelletti, M. Viviani "Nuovo ponte girevole nel porto di Livorno", Atti XIX Congresso CTA, 2003.

KEYWORDS

Ponte mobile, passerella ciclo-pedonale, movimentazione oleodinamica, ruota dentata, cremagliera, settore rotolante.