

sintesi di tesi di laurea

Università degli Studi di Firenze - Facoltà di Ingegneria - Corso di Laurea in Ingegneria Civile
Indirizzo Strutture

PROGETTO DI UN PONTE STRALLATO SULL'ARNO PER IL NUOVO COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE "BRETTELLA LASTRA A SIGNA-PRATO"

Autore: Zahra NAGI

Relatori: Prof. Ing. Salvatore Giacomo MORANO, Prof. Ing. Paolo SPINELLI

Nella progettazione dei ponti si assiste spesso alla continua proposizione di schemi statici ben consolidati, applicati rigorosamente nelle loro configurazione ottimale.

Se da un lato ciò garantisce il buon funzionamento strutturale d'insieme, impedisce però di percorrere strade progettuali che lascino più spazio all'originalità.

In questa tesi il tema del ponte strallato è sviluppato adottando una geometria di strallatura originale.

Anche l'accostamento di un'antenna di cemento armato, dalle forme plastiche, ad un impalcato in acciaio dalla linea semplice e snella contribuisce a conferire all'opera una personale eleganza.

Il risultato compositivo è interessante e gradevole ed è raggiunto senza sacrificare l'efficienza strutturale

Salvatore Giacomo MORANO

SOMMARIO

L'oggetto di studio è un "ponte strallato" sul fiume Arno per il nuovo collegamento autostradale "Bretella Lastra a Signa-Prato". Si tratta di un'opera prevista dal Programma di Intervento sulla viabilità regionale della Regione Toscana e quella prospettata è un'ipotesi alternativa a quella presentata per la proposta di **project-financing** (Fig.1).



Fig. 1 - Il tracciato del "Viadotto Arno"

L'attraversamento, avente luce di 200 metri, si ricollega al viadotto di 1,5 Km. Il collegamento tra Prato e Signa era una questione aperta da tempo ed ora, con la nuova "Bretella", si permette non solo di migliorare i collegamenti nella Piana ma, su scala regionale, quelli tra Prato e la superstrada e quindi gli insediamenti industriali del Valdarno fino a raggiungere il porto di

Livorno. Una volta completata, la "bretella" dovrebbe non solo assorbire il traffico pesante fra l'interporto di Prato e l'uscita di Lastra a Signa della FI-PI-LI, ma sgravare considerevolmente anche il traffico sull'A1.

Per poter dare inizio realmente al progetto del ponte, il **primo passo** è stato quello di studiare le varie tipologie eseguibili in quel determinato sito, dopo aver valutato tutti i vincoli geometrici dettati dall'andamento orografico del terreno e dalle strutture esistenti. In particolare, per l'attraversamento sull'Arno, poiché ci si ricollega al tracciato planimetrico esistente, proposto dalla regione Toscana, gli ostacoli da superare, nello specifico, sono stati: il corso d'acqua individuato dal fiume Arno, le strade e le vie, e la ferrovia. Per quanto riguarda quest'ultimo, esso non rappresenta nel nostro caso un vero e proprio vincolo, in quanto volendo mantenere sia in planimetria che in altimetria il tracciato proposto dalla Regione Toscana, variando solo il tratto di attraversamento sul fiume, si osserva che esso passa ben al di sopra della quota minima vincolante proposta dalle Ferrovie dello Stato, che impongono un passaggio dell'intradosso di progetto almeno 7 metri sopra il piano ferrato. La caratteristica ambientale esercita poi un ruolo essenziale sul progetto: in questo caso, il profilo ambientale in cui andiamo a operare è favorevole ad ospitare una nuova opera d'arte in quanto il territorio è libero e posto in zona pianeggiante (Fig.2), con la presenza di pochi vecchi edifici di piccole dimensioni.

Il **secondo passo** consiste invece nell'analizzare la sezione longitudinale lungo l'asse del ponte in progetto, con le condizioni di altezza libera o di larghezza di passaggio. Il profilo longi-



Fig. 2 - Rilievo fotografico

tudinale della nuova via di traffico e il profilo altimetrico sono pertanto fattori altrettanto vincolanti per la realizzazione dell'opera, specialmente per la scelta dello spessore di impalcato e per la disposizione di eventuali pile. La larghezza del ponte è tuttavia stabilita in base alla classe di strada che si va a progettare e in base alle dimensioni della piattaforma stradale, in quanto queste devono essere mantenute invariate lungo tutto il tracciato della strada, secondo le prescrizioni delle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade". Le condizioni della fondazione e le condizioni locali, quali ad esempio la possibilità di accesso per il trasporto delle attrezzature, dei materiali da costruzione e degli elementi strutturali, vanno a incidere anch'esse sulla scelta della tipologia da adottare.

Infine, è necessario valutare quali siano le esigenze dell'ambiente: l'aspetto estetico e l'impatto visivo in una zona urbana vanno a riflettersi sul quadro della città, pertanto è indispensabile una conformazione accurata dei ponti in un territorio libero di grande estensione. Bisogna pertanto ricordare che parallelamente al corso del fiume avanza la linea ferroviaria e una pista ciclabile, per cui il proposito della scelta tipologica è anche quello di far sì che ogni spettatore possa restare affascinato dall'eleganza e dall'accuratezza dell'opera d'arte.

PARTE I: SCELTA DELLA TIPOLOGIA

Dopo le suddette valutazioni e un primo sopralluogo nel sito, è stato considerato come primo vincolo proprio l'impatto visivo che la nuova struttura implica sull'ambiente esistente. Dunque, la scelta progettuale e il design elegante intendono fondere le considerazioni di carattere funzionale ed economico con quelle di carattere estetico. Si è potuto cominciare, così, una serie di disegni e schizzi alla ricerca delle possibili soluzioni. L'orientazione si è volta verso le tipologie a luce medio-grande, in particolare la tipologia strallata con unica antenna posta asimmetricamente rispetto alla luce libera di attraversamento (Fig.3), trasversalmente posta in mezzo a due impalcati rappresentanti le due carreggia-

te autostradali. I due impalcati risultano quindi separati tra loro (Fig.4), collegati solo da una serie di traversi rigidi che accolgono l'ancoraggio attivo degli stralli.

Andando ad esaminare i singoli elementi, si ha:



Fig. 3 - Vista 3D del ponte progettato

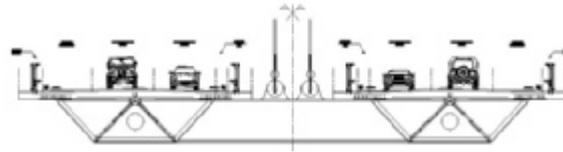


Fig. 4 - Sezione Impalcato

ANTENNA → La posizione dell'antenna è dettata da studi idrologici, in particolare la sua collocazione è tale da dividere la luce netta di 200 metri in due campate rispettivamente da 120 e 80 metri, senza quindi accentuare smisuratamente l'asimmetria che avrebbe così richiesto un'elevata altezza per il corpo dell'antenna (Fig.5). Inoltre il punto di collocazione di questa, è tale da non ingombrare la parte centrale dell'alveo del fiume, per cui il corso d'acqua nei periodi di secca non va a interferire in alcun modo col pilone. Per quanto riguarda invece la geometria di quest'ultima, è stato fatto ricorso d'un'antenna piena in c.a. a sezione ellittica variabile con l'altezza che si va leggermente a riallargare in prossimità della vetta in modo da poter accogliere tutti gli ancoraggi passivi degli stralli (Fig.6). La scelta del materiale in c.a. è dovuta a questioni di economicità connesse anche alla realizzazione di tale forma plastica.

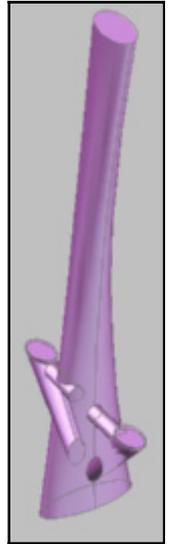


Fig. 6 - Vista 3D dell'antenna

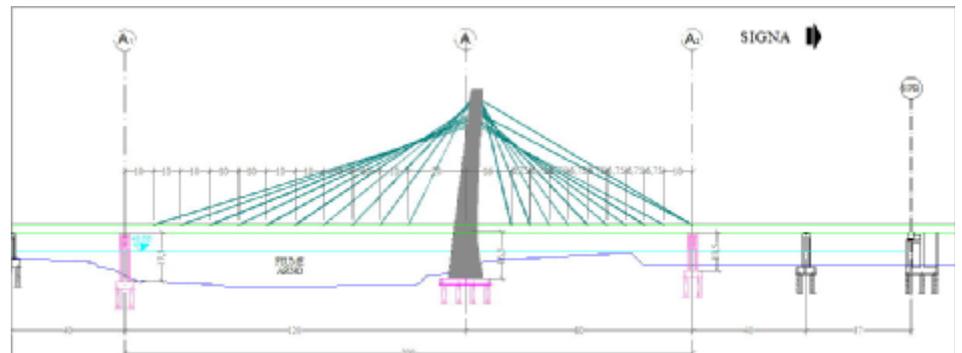


Fig. 5 - Vista prospetto altimetrico della soluzione adottata

STRALLATURA → Essa è pensata diffusa con passi di 10 metri da un lato e 6,75 dall'altro con un gioco di intrecci che plasma una sorta di superficie parabolica nello spazio. Ciò permette di utilizzare più cavi di diametro più piccolo che sono di più facile installazione, di più semplice ancoraggio e soprattutto di più facile sostituzione. Passi così ravvicinati danno inoltre la possibilità di non dover interrompere il traffico ma solo di limitarlo qualora si presentasse la necessità di sostituire un cavo o effettuare la manutenzione.

IMPALCATO → Data la luce di attraversamento è stato immediato orientare la scelta a due impalcati separati a cassone in sezione mista acciaio-calcestruzzo dove la solidarietà tra la soletta in calcestruzzo e il cassone d'acciaio è garantita da un sistema di connettori a pioli (Fig.7). Tale scelta è vantaggiosa perché oltre ad attribuire un aspetto estremamente leggero ed elegante, fornisce anche un'ottima soluzione strutturale data la sua elevata rigidità torsionale.

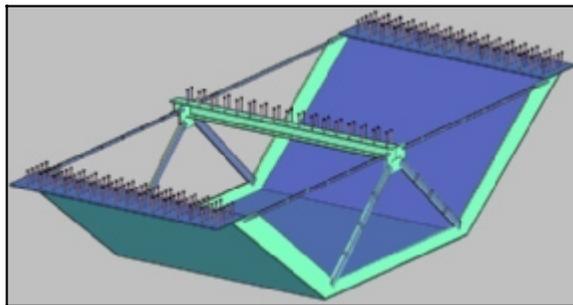


Fig. 7 - Vista 3D del cassone

TRAVERSI → I due cassoni sono collegati da traversi rigidi a parete piena alleggeriti, che seguono l'inclinazione degli stralli ospitati (Fig.8).

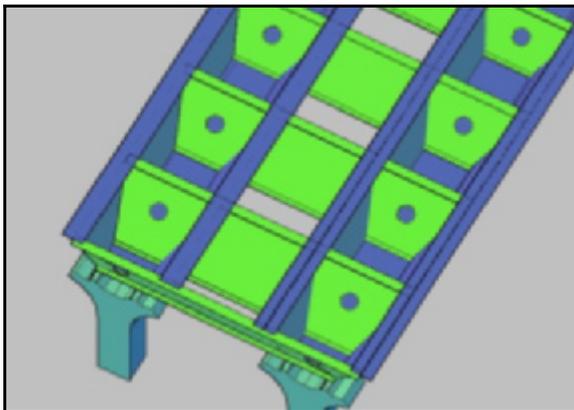


Fig.8- Vista 3D dei traversi

PARTE II: MODELLI DI CALCOLO E VERIFICHE

Per quanto riguarda i modelli di calcolo, ne sono stati analizzati in particolare due:

a) un primo modello di predimensionamento 2D;

b) un modello di verifica 3D.

In entrambi i modelli è stato fatto uso di elementi monodimensionali. In particolare, nel modello piano si assegna il tiro agli stralli tramite variazioni termiche imprresse (Fig.9). Ciò avviene in due fasi: la fase "solo acciaio" e la fase "permanenti portati" a $t = 0$. Nel modello di verifica 3D, si assegnano gli stessi carichi agli elementi e lo stesso tiro agli stralli ottenuti dal modello piano, in più si vanno a considerare: l'intervento dei traversi, le forze orizzontali in direzione Y e gli effetti torsionali.

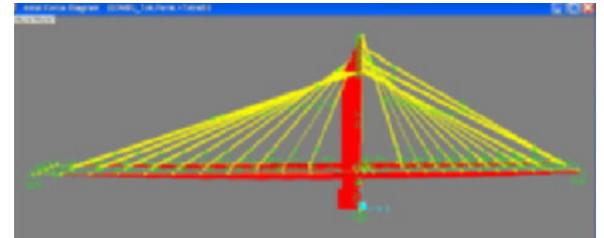


Fig. 9 - Deformata e Diagramma dello sforzo normale

Se andiamo ad osservare le varie deformate del modello piano, abbiamo ad esempio che, la deformata data dalla combinazione dei soli carichi permanenti con il solo tiro degli stralli dà un impalcato perfettamente orizzontale. I risultati che si ottengono sono:

IMPALCATO → La verifica a presso flessione nelle varie fasi di carico è sempre soddisfatta, con tensioni massime di verifica sempre inferiori a quelle limite indicate dalla normativa (D.M.'96);

TRAVERSI → Influenzano poco il funzionamento globale (sono rigidi);

STRALLI → Risultano sempre tesi in tutte le fasi di carico, con una tensione che varia gradualmente dagli stralli più esterni spostandosi verso l'antenna;

ANTENNA → Sia la verifica a pressoflessione che quella di stabilità sono sempre soddisfatte per i vari schemi analizzati. Se ad esempio andiamo a considerare lo schema che vede l'antenna come una mensola incastrata alla base e con una molla all'altezza dell'ancoraggio dello strallo di ammaro, si ha che anche in questo caso la verifica a presso flessione, secondo l'EC2, UNI-EN 1992-1-1:2005, è soddisfatta.

Pertanto, si può affermare che il modello 3D riconferma le sollecitazioni e le deformazioni del modello piano.

Andando a spendere ancora due parole sui bracci di sostegno dell'impalcato, si può dire che, si tratta di due elementi monolitici con la restante parte in calcestruzzo caratterizzati da una geometria a sezione variabile (Fig.10). Per tutte le fasi di carico i due bracci risultano elementi compressi mentre l'elemento di collegamento risulta sempre teso. I bracci vengono verificati a presso flessione, mentre per il tirante in calcestruzzo si procede con una precompressione: all'armatura lenta vengono aggiunti 7 gruppi di cavi da 17 trefoli da 15 mm.

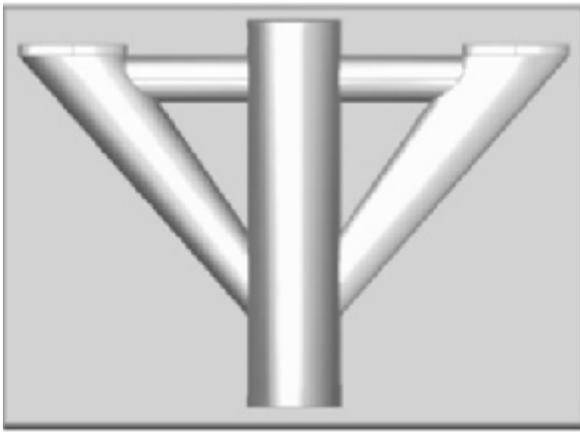


Fig. 10



Fig. 11 - Dettagli degli ancoraggi passivi in testa all'antenna

PARTE III: PARTICOLARI STRUTTURALI

Passo infine a presentare i particolari strutturali:

ANCORAGGI ATTIVI DEGLI STRALLI: L'unione tra il traverso e lo strallo viene realizzato prolungando l'anima del traverso fino alla lunghezza considerata con l'ausilio di due occhielli ai due lati dell'anima che contribuiscono all'aumento di spessore della piastra (Fig.12). Si tratta di ancoraggi accessibili e sostituibili che richiedono un posizionamento semplice dello strallo.

ANCORAGGI PASSIVI DEGLI STRALLI: Dato l'elevato numero di stralli, è stato necessario ipotizzare due tipi di ancoraggio: un sistema di barre passanti e un sistema di barre terminali (Fig.13).

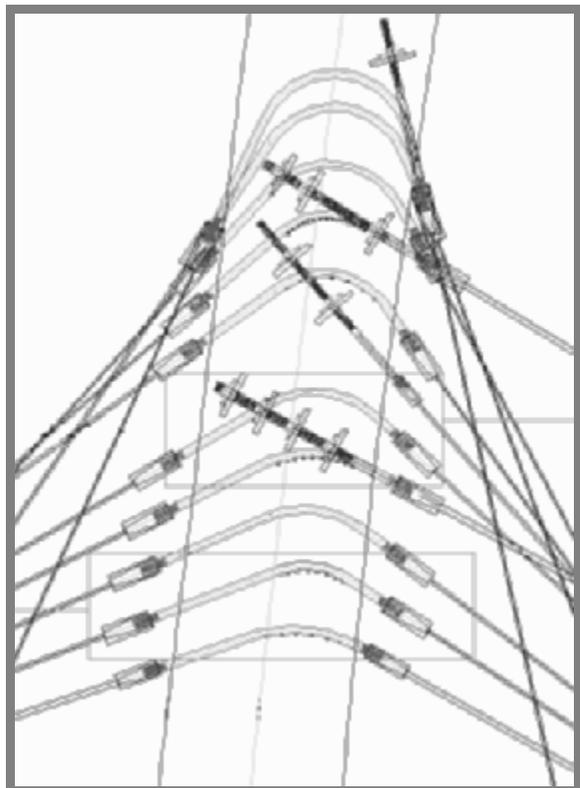


Fig. 13 - Particolare ancoraggi passivi

Le prime sono barre lisce d'acciaio piegate a caldo con testa filettata; per esse si effettuano due verifiche: la verifica a sfilamento della barra e il controllo della compressione delle barre sul calcestruzzo. Per le barre terminali, invece, si effettuano la verifica a sfilamento della barra e la verifica a punzonamento. Là dove la lunghezza di ancoraggio non sia sufficiente a vincere le tensioni tangenziali di scorrimento si interviene con l'inserimento di un certo numero di dischi rigidi.

APPOGGI: Il sistema di vincolo adottato nel modello 3D è rappresentabile con lo schema di Fig.14 nel piano orizzontale. Si tratta di uno schema con: 1 appoggio fisso, 2 appoggi mobili unidirezionali longitudinali, 1 appoggio mobile unidirezionale trasversale e 2 appoggi mobili multidirezionali. Si adottano dispositivi ad elastomero confinato e là dove le forze sugli appoggi risultano negative, si fa ricorso ad appoggi bilateri che resistono anche a carichi di trazione. I dispositivi d'appoggio vengono scelti da catalogo sulla base delle azioni massime allo stato limite ultimo agenti.

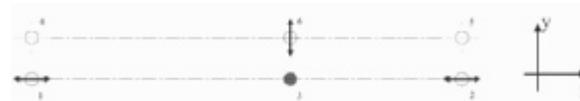


Fig. 14 - Schema appoggi

CONCLUSIONI

Benché il sistema di strallatura non sia tipico e abituale, l'opera pare ben concepita. Il risultato che si ottiene è quindi un ponte che non solo soddisfa l'aspetto estetico di leggerezza ed eleganza cercato, ma soprattutto è funzionale con caratteristiche statiche e di rigidità apprezzabili.

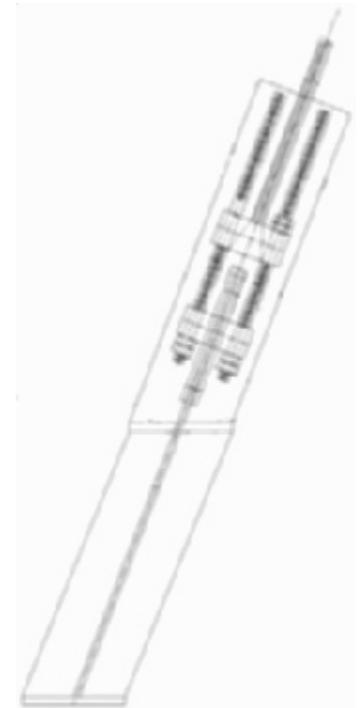


Fig. 12



Fig. 15 - Render 3D del ponte progettato

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] MARIO PAOLO PETRANGELI, *Progettazione e Costruzione di ponti*, Masson editoriale ESA, 1993;
- [2] WALTHER R., *Cable stayed bridges*, Thomas Telford, London, 1999;
- [3] VINCENZO NUNZIATA, *Teoria e pratica delle strutture in acciaio*, Dario Flacovio Editore, 2000;
- [4] S.G.MORANO, *Appunti del corso di ponti*, 2004.