

RADDOPPIO ED AMPLIAMENTO DI PONTI ESISTENTI IN CEMENTO ARMATO: IL FLY OVER AVENUE DE LA REPUBLIQUE – RUE D’ITALIE A TUNISI

Paola Rita Marcantonio¹, Gaetano Usai², Marco Petrangeli³

1 Dottorando Facoltà di Architettura Università “G. D’Annunzio” Pescara

2 Direttore Tecnico INTEGRA Srl, Roma

3 Professore Facoltà di Architettura Università “G. D’Annunzio” Pescara

SOMMARIO

Nell’articolo sono presentati gli interventi di raddoppio e ampliamento effettuati dagli scriventi sulla tangenziale interna di Tunisi che passa tra il centro città ed il porto, costituita da 2 viadotti affiancati, realizzati con solettoni continui in c.a.p.. Nonostante questa infrastruttura sia stata costruita negli anni ’90, a distanza di meno di due decenni la stessa non era più adeguata a fronteggiare il forte incremento di traffico veicolare registratosi negli ultimi anni. Nella prima parte dell’articolo viene illustrata la progettazione e la costruzione dei nuovi viadotti necessari al raddoppio della piattaforma stradale, mentre nella seconda parte vengono descritti i due interventi effettuati sui viadotti esistenti; ovvero l’allungamento dell’ultimo tratto dell’originaria carreggiata Nord e l’unione degli impalcati, mediante l’interposizione di un giunto longitudinale. In alternativa all’utilizzo di questo giunto viene discussa una soluzione di incollaggio delle due strutture mediante la realizzazione di un concio di calcestruzzo armato gettato in opera.

SUMMARY

The paper discuss the design and construction of two new viaducts required to double the capacity of an existing urban highway in Tunis, a city extension of Trans-African Highway 1, coming from Algeria and continuing towards the Libyan border along the Tunisian south-eastern coast. The highway cut through Tunis running a couple of hundred metres from the city centre on two post-tensioned viaducts, each made of several continuous girders of 6 to 7 span 22m each. The decks are full post-tensioned concrete slab 80 cm thick, 9 m wide each way. The first part of paper deals the project and the construction of the new viaduct (OA2), 1200m long. The deck is a full post-tensioned concrete slab, carrying 4 lanes on an overall platform width of 16m. The second part of paper deals with two interventions on the existing viaducts: the demolition and reconstruction of a segment of it and the analyses and interventions carried out to joining the two old decks so as to obtain a single 4 lane carriageway. The structural effects caused by joining the two decks with a cast in situ reinforced concrete strip are analyzed and the more conservative solution, finally implemented with a longitudinal expansion joint is discussed.

1. INTRODUZIONE

Tunisi, come molte città magrebine, sono in questi ultimi anni soggette ad un forte sviluppo infrastrutturale. Tale sviluppo in alcuni richiede la realizzazione di nuove opere, in altri si rende necessario il potenziamento di quelle realizzate durante gli anni della prima industrializzazione (’80 e ’90).

In Tunisia l’asse autostradale più importante, la Trans-African Highway 1, segue la costa mediterranea collegando i vari centri che vi si affacciano, da Tunisi ad Hammamet e proseguendo verso la Libia. A Tunisi il passaggio dell’autostrada avviene tra la città stessa e la costa. Ciò ha reso necessario, negli anni ’90, in corrispondenza del centro della città, il sollevamento dell’asse viario in un lungo fly-over tale da permettere la permeabilità richiesta verso il porto e i gli eleganti quartieri posti sulla costa (La Goulette, Bous Said, Cartagine). Tale fly over era costituito da due lunghi solettoni precom-

pressi a sezione piena poggianti su pile a setto. Ciascun solettone ospitava una carreggiata da due corsie senza banchina. Il progetto di potenziamento di questa infrastruttura prevedeva il raddoppio della sezione mediante la realizzazione di un nuovo fly-over a 4 corsie da affiancare a quelli esistenti; questi ultimi dovevano quindi essere uniti per la realizzazione di un’unica piattaforma stradale di 4 corsie a servizio dell’altro senso di marcia.

Dato che gli impalcati dei viadotti esistenti non erano della stessa lunghezza ovvero non iniziavano alla stessa progressiva, si è reso necessario la demolizione di 120 metri di una delle rampe dei due viadotti e quindi il prolungamento dello stesso in affiancamento all’altro per un tratto di 400m circa.

Nel presente articolo saranno descritte le scelte progettuali legate alla realizzazione, ormai conclusa, dei tratti di nuova costruzione, e le scelte e le analisi condotte per garantire l’unione degli impalcati dei viadotti esistenti.



Figura 1 – Veduta del fly-over appena terminata la costruzione dell'OA2

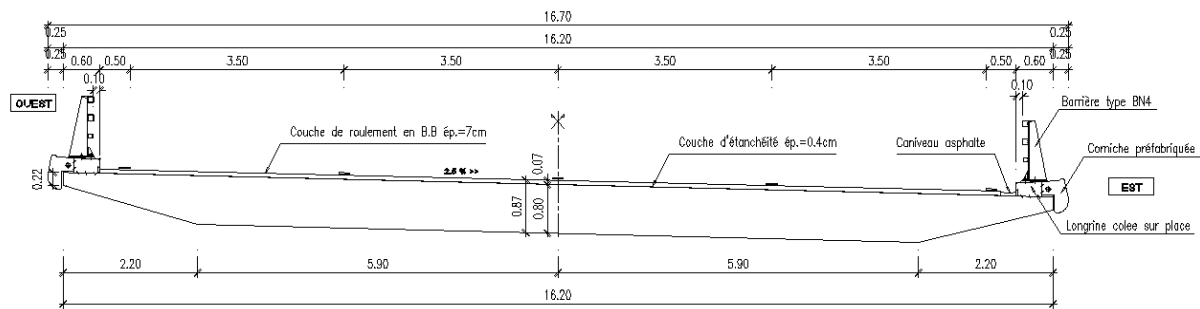


Figura 2 – Sezione della soletta piena dell'OA2

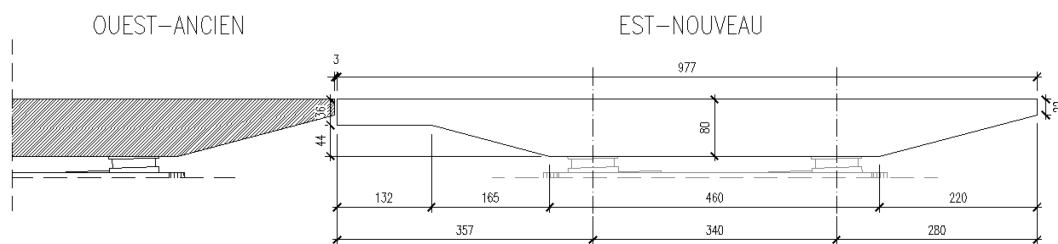


Figura 3 – Sezione della soletta piena dell'OA1

2. I TRATTI DI NUOVA REALIZZAZIONE

Nei tratti di nuova realizzazione le opere da realizzare erano due viadotti, in c.a.p. denominati OA1 e OA2: l'opera principale, l'OA2, è un viadotto composto da 6 tratti continui di 6/7 campate di luce di pari a 22m circa per una lunghezza complessiva di 1200m, che, con i suoi 16m di larghezza, costituisce il raddoppio del fly-over esistente. L'OA1, invece, costituisce il prolungamento di uno dei viadotti esistenti, ed è composto da 3 tratti continui di 6/7 campate di luci pari a quelle dell'OA2, con un impalcato di larghezza pari circa a 9 metri.

2.1 Il progetto esecutivo

In fase di progettazione esecutiva, le difficoltà principali sono state relative alla precompressione. Il progetto a base di gara prevedeva una realizzazione delle opere in avanzamento gettando una o più campate per volta secondo lo schema utilizzato per la realizzazione dei viadotti esistenti da imprese italiane che, al tempo, utilizzarono una centina auto varante. In questo schema, i cavi di precompressione non sono continui lungo tutta l'opera ma vengono ripresi con accoppiatori per ogni nuova campata gettata sino all'ancoraggio finale posto in corrispondenza dei giunti (ogni 6/7 campate).

La realizzazione delle nuove opere non prevedeva però, da

parte dell'impresa aggiudicataria, l'utilizzo di centina autovariante in quanto un impalcato era troppo largo e l'altro troppo breve per giustificare l'impiego di queste macchine. In ogni caso, il getto in avanzamento avrebbe incontrato degli ostacoli dovuti alla necessità di espropriare ed abbattere alcuni casseggiati densamente abitati al momento dell'inizio della costruzione. Pertanto la realizzazione del tratto di viadotti in corrispondenza di queste palazzine è stato posticipato.

Visto la modesta altezza da terra, l'impresa costruttrice, la Chabanne et Cia, ha scelto di gettare i solettoni su casseri sorretti dal basso. Ciò ha reso possibile la realizzazione di ciascun tratto continuo (6 per l'OA2 e 3 per l'OA1) in un'unica soluzione secondo una fasizzazione flessibile, anche in funzione degli espropri di cui sopra e delle esigenze di gestione del traffico. Con questo metodo costruttivo, il progetto originale della precompressione non era più fattibile dato che i tratti continui, lunghi anche 150 metri, erano distanziati tra loro di soli 10cm (larghezza del giunto) e pertanto, anche accettando delle perdite per attrito molto elevate, comunque non vi sarebbe stato lo spazio sufficiente per poter tirare i cavi da entrambe le estremità.

La precompressione è stata pertanto studiata in modo tale che, anche gettando la travata in un'unica fase, i cavi potessero essere installati e tesi sia dalle testate eventualmente libere sia da scassi ricavati all'estradosso dell'impalcato; in questo modo posizione e andamento dei cavi è stato ottimizzato in funzione delle esigenze strutturali.



Figura 4 – Il viadotto OA2 in fase di costruzione

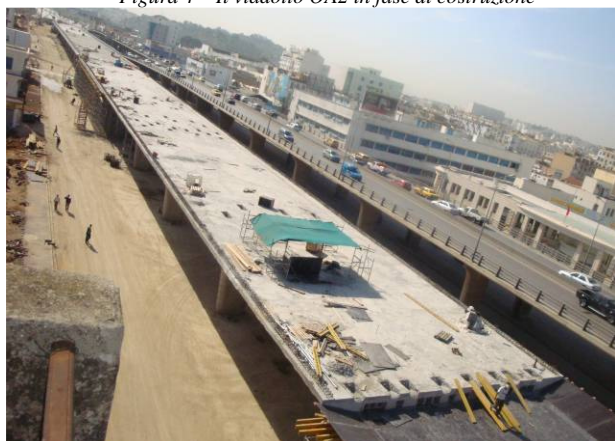


Figura 5 – Il viadotto OA2 in fase di completamento

L'impresa disponeva di una quantità di casseri e puntelli tale da permettere di accelerare le fasi di costruzioni dei tratti continui dei viadotti, realizzando le due opere in tempi relativamente contenuti. L'opera principale (OA2), infatti, è stata costruita e aperta al pubblico in circa 12 mesi.



Figura 6 – Posa in opera dell'armatura lenta e delle guaine della precompressione nell'impalcato dell'OA1

Con il traffico spostato sulla nuova opera, sono seguiti quindi i lavori di demolizione della rampa di uno dei viadotti esistenti. Tale demolizione è stata effettuata segnando l'impalcato esistente in fette da 2 metri circa e quindi rimuovendo le stesse per portarle a demolizione fuori dal centro cittadino.

La precompressione degli impalcati è stata effettuata senza incontrare particolari problemi. Le lunghezze di insilaggio e le deviazioni complessive dei trefoli sono state infatti contenute proprio per facilitarne l'infilaggio. Come sempre in questi casi, l'attenzione principale in fase di esecuzione deve essere dedicata alla minimizzazione delle deviazioni non intenzionali delle guaine di precompressione durante la loro posa in opera. Manodopera e direzione lavori non specializzata tendono infatti a sottostimare gli effetti negativi di queste deviazioni.

Un altro problema che si deve evitare è la eccessiva concentrazione di forze di precompressione agli ancoraggi dove possono verificarsi cedimenti o plasticizzazioni localizzate. Non potendo contare su di un calcestruzzo di buona qualità e considerando che le imprese tendono sempre ad accelerare sui tempi di tesatura, il progetto ha previsto che nelle zone di ancoraggio fosse presente un'adeguata armatura di frettaggio ed inoltre si è scelto di posizionare i cavi della precompressione così da evitare concentrazioni elevate di sforzi agli ancoraggi.



Figura 7 – Cedimento localizzato della zona di ancoraggio trefoli

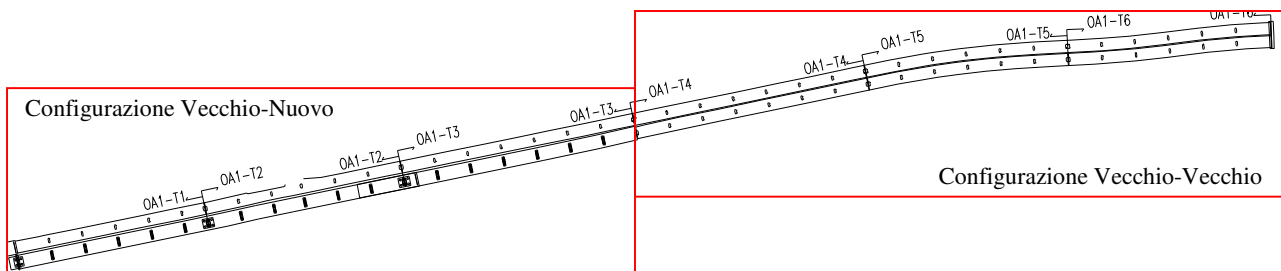


Figura 8 – Planimetria viadotti esistenti – Individuazione configurazioni di incollaggio previste

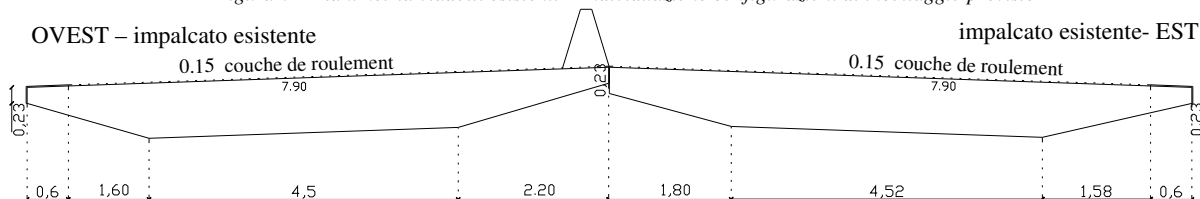


Figura 9 – Configurazione geometrica studiata (solidarizzazione “vecchio-vecchio”)

3. INCOLLAGGIO IMPALCATI ESISTENTI

La nuova piattaforma stradale, che costituirà la carreggiata in direzione Sud, sarà realizzata unendo gli impalcati esistenti più il prolungamento realizzato (OA1). La proposta scelta dagli scriventi prevedeva la solidarizzazione dei due solettoni mediante un elemento in cemento armato gettato in opera. Rispetto a soluzioni convenzionali, quale la posa in opera di un giunto longitudinale, rappresenterebbe una soluzione molto più efficace in termini di prestazioni a lungo termine in quanto si eviterebbero le operazioni di manutenzione ordinaria e il problema del percolamento delle acque. Il cliente non ha però ritenuto di voler sperimentare questa soluzione e le due opere sono state solidarizzate mediante un giunto longitudinale, la cui installazione è documentata nella sequenza fotografica di Fig. 20.

Vengono però in questa sede presentati i risultati delle analisi condotte per lo studio di incollaggio dei due viadotti. In questi analisi sono confrontate, per le medesime condizioni di carico in esercizio, le sollecitazioni nel singolo impalcato e negli impalcati solidarizzati. Come si vedrà, l'operazione di incollaggio modifica sensibilmente la risposta strutturale, soprattutto in direzione trasversale. Con riferimento alla sezione in corrispondenza degli appoggi è come se l'impalcato passasse da uno schema statico di trave in semplice appoggio con due sbalzi laterali ad un trave continua su 4 appoggi.

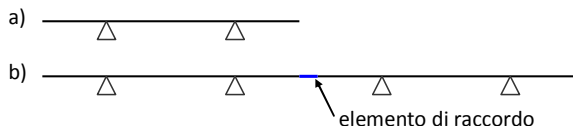


Figura 10 – Schema statico a) impalcato singolo b) impalcati solidarizzati

I due impalcati esistenti e il prolungamento costruito (OA1) si distanziano da un minimo di 5 cm ad un massimo di 80cm; ciò ha reso necessario studiare gli effetti della solidarizzazione per diverse configurazioni geometriche. Dato inoltre che la parte terminale di uno dei viadotti esistenti è stata demolita e ricostruita è sorta la necessità di differenziare le ana-

lisi tra quelle relative all'incollaggio “vecchio-vecchio”, dove non si è tenuto conto dei fenomeni lenti, in quanto ampiamente esauriti, da quelle relative all'incollaggio “vecchio-nuovo” tra l'impalcato esistente e quello nuovo, dove è necessario tenere conto dei fenomeni lenti che si sviluppano nel nuovo impalcato dell'OA1, non ancora esauriti al momento dell'incollaggio. Per quanto riguarda i carichi adottati, non essendoci variazioni dei pesi propri tra la configurazione iniziale e quella post incollaggio, sono stati analizzati in particolare gli effetti dovuti ai carichi accidentali e ai fenomeni lenti quando necessario. Tali carichi sono stati calcolati in riferimento alla normativa vigente in Tunisia [1] – [2] – [3].

I risultati dimostrano che l'incollaggio porta ovviamente ad una riduzione delle sollecitazioni massime nei due impalcati per via di una maggiore redistribuzione dei carichi accidentali tra gli stessi. Non mancano alcuni aspetti interessanti legati al comportamento a piastra, soprattutto in direzione trasversale, dei due solettoni dove l'incollaggio provoca chiaramente un aumento delle sollecitazioni in direzione trasversale sebbene le stesse restino relativamente contenute e globalmente benefiche rispetto alla capacità portante delle opere.

3.1 Solidarizzazione “Vecchio-Vecchio”

In questa configurazione di collaggio, gli impalcati sono risalenti alla stessa epoca di costruzione, pertanto posso considerarsi esauriti gli effetti dovuti ai fenomeni lenti. Gli unici carichi che variano tra la configurazione iniziale (impalcato singolo) e quella finale (impalcati incollati) sono i pesi propri (siccurvia centrale, che viene eliminata, e una porzione di manto stradale) e i carichi accidentali. Per quest'ultimi, sono state ipotizzate le condizioni più sfavorevoli, considerando pertanto il carico con la massima eccentricità. È da sottolineare come la norma preveda una riduzione del carico accidentale all'aumentare del numero di corsie. Infatti il carico posizionato sull'impalcato solidarizzato (4 corsie di riferimento) è inferiore al doppio di quello da posizionare sull'impalcato singolo (2 corsie di riferimento). Onde rendere i risultati comparabili si è preso invece un carico esattamente uguale per le due configurazioni.

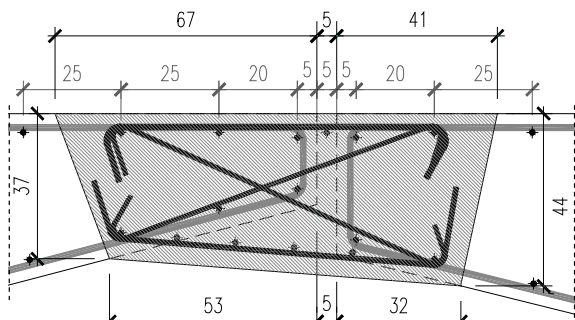


Figura 11 – Elemento gettato in opera ipotizzato per la solidarizzazione degli impalcati (configurazione “vecchio-vecchio”)

I risultati ottenuti dimostrano che l’operazione di collaggio comporta un miglioramento del comportamento globale della struttura. Si ha, infatti, una benefica riduzione degli effetti torcenti indotti dai carichi eccentrici. Ciò porta ad una riduzione delle tensioni principali di trazione nella configurazione finale (impalcato collati) rispetto a quella iniziale (impalcato singolo).

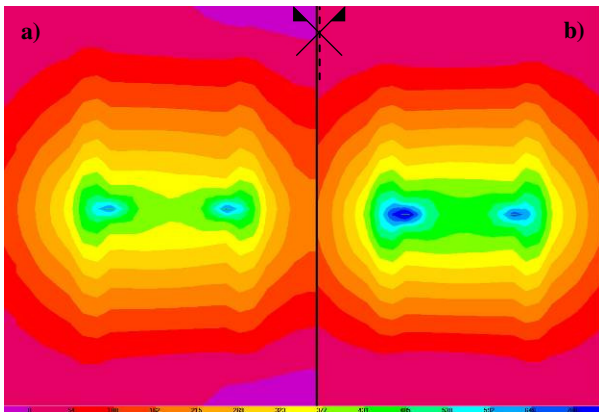


Figura 12 – Confronto delle tensioni principali di trazione della sezione di testa pila; a)impalcati solidarizzati b)impalcato singolo

In direzione trasversale si ha una redistribuzione delle sollecitazioni che comporta:

- una diminuzione delle sollecitazioni flettenti e di taglio nella sezione in testa pila
- un aumento di suddette sollecitazioni nella sezione di mezzeria.

L’aumento che si ottiene nella sezione di mezzeria può essere considerato trascurabile, in quanto non si hanno aumenti considerevoli in termini di tensione nelle armature.

Il miglioramento nel comportamento strutturale è riconducibile al fatto che gli impalcati solidarizzati diventano più stabili, si riducono gli effetti torcenti sotto condizioni di carico eccentrico e si ottiene quindi una generale riduzione delle tensioni principali di trazione che sono quelle che comandano le verifiche allo SLE delle opere in precompresso. Le verifiche SLU non possono ovviamente che beneficiare dall’aumento della iperstaticità dell’opera.

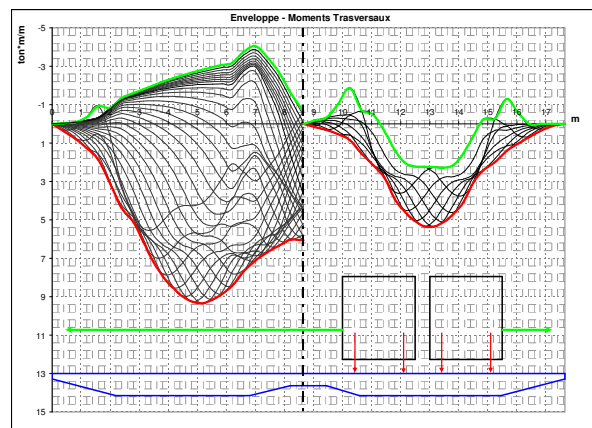


Figura 13 – Involuppo dei momenti trasversali sulla sezione di campata; a)impalcato solidarizzato b)impalcato singolo

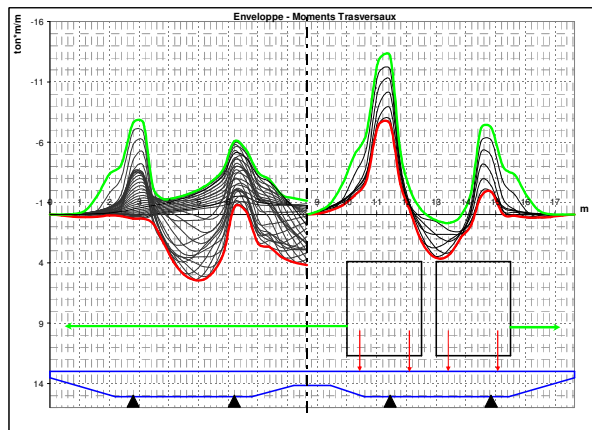


Figura 14 – Involuppo dei momenti trasversali sulla sezione di testa pila; a)impalcato solidarizzato b)impalcato singolo

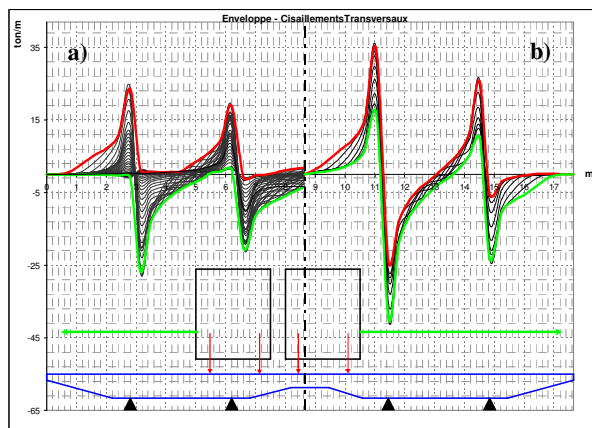


Figura 15 – Involuppo dei tagli trasversali sulla sezione di testa pila; a)impalcato solidarizzato b)impalcato singolo

3.1 Solidarizzazione “Vecchio-Nuovo”

In questa configurazione di collaggio, gli impalcati dei tre tratti continui verso Sud avrebbero differenti età di maturazione; infatti l’impalcato esistente lato Ovest risale agli anni '90, mentre l’impalcato lato Est è l’OAI di nuova realizzazione.

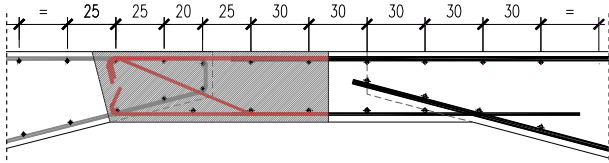


Figura 16 – Elemento gettato in opera ipotizzato per la solidarizzazione degli impalcati (configurazione “vecchio-nuovo”)

Secondo i tempi di costruzione, l’unione dei solettoni doveva avvenire a circa 6 mesi dal getto dell’OA1. Ciò avrebbe portato ad un comportamento differito tra i due solettoni a causa dei fenomeni lenti (viscosità e ritiro) ancora in atto in quello di nuova realizzazione e ai cedimenti differenziali in fondazione.

Siccome i risultati ottenuti nello studio precedente (solidarizzazione “vecchio-vecchio”) per i pesi propri e i carichi accidentali sono validi anche per questo studio, in questa parte dell’articolo si riportano e si commentano solo i risultati ottenuti considerando gli effetti dovuti a ritiro viscosità e a cedimenti in fondazione.

Le analisi dovute agli affetti lenti (ritiro, viscosità, cedimenti fondazionali) sono state condotte separando il comportamento dell’impalcato nel piano (accorciamento dovuto a ritiro e viscosità) da quello fuori dal piano (deformazione verticale dovuta a viscosità e cedimenti fondazionali).

Nel piano l’impalcato di nuova costruzione tende ad accorciarsi per via del ritiro e degli effetti viscosi dovuti alla compressione indotta dalla precompressione. Questi effetti possono essere studiati imponendo una variazione termica uniforme ad uno dei due impalcati. Con l’incollaggio, l’impalcato vecchio si oppone all’accorciamento del nuovo e nascono sollecitazioni di trazione nel nuovo impalcato e di compressione in quello esistente. A queste sollecitazioni sono associate ovviamente sollecitazioni taglianti nel piano, più intense nei tratti iniziali e finali di ciascun viadotto in prossimità dei giunti longitudinali.

Per quanto riguarda il comportamento a piastra dei due viadotti, ovvero le deformazioni lente fuori dal piano degli impalcati, si deve considerare che il nuovo impalcato non solidarizzato tende a salire e quindi il collaggio provoca un leggero aumento delle sollecitazioni flettenti longitudinali nella nuova opera ed un alleggerimento nella vecchia. Questo scambio di sollecitazioni passa ovviamente per un trasferimento di taglio in direzione trasversale. Questi effetti sono ben resi dalla deformata amplificata delle due opere incollate riportata in Fig. 19.

Per quanto riguarda infine le sollecitazioni dovute ai cedimenti differenziali, queste hanno segno opposto a quelle causate dalla viscosità. Se infatti il nuovo impalcato tende a salire per viscosità (circa 6 mm a tempo infinito senza incollaggio), le fondazioni su pali della stessa opera non possono che cedere considerato che in questa area si hanno banchi molto potenti di argille e limi fortemente comprimibili che hanno infatti richiesto pali di lunghezza pari a circa 50 metri. Il cedimento atteso per le fondazioni dell’OA1 è stato infatti stimato in 10 mm.

Le analisi mostrano chiaramente che le sezioni di campata risentono maggiormente degli effetti dovuti alla viscosità; al contrario nelle sezioni in corrispondenza degli appoggi sono maggiori gli effetti dovuti ai cedimenti fondazionali. Tali au-

menti, sommati a quelli indotti dai carichi accidentali, non determinano tuttavia un aumento considerevole di tensione nelle armature.

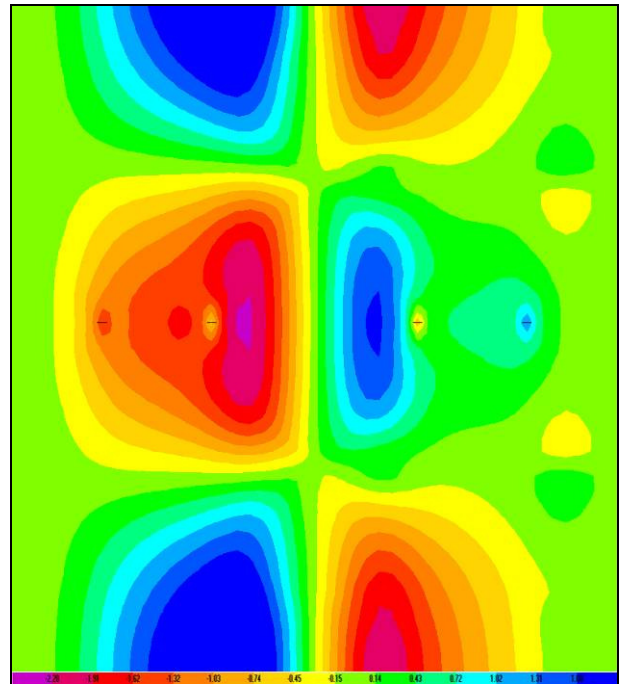


Figura 17 – Momenti in direzione trasversale nella sezione in corrispondenza degli appoggi indotti dalla viscosità

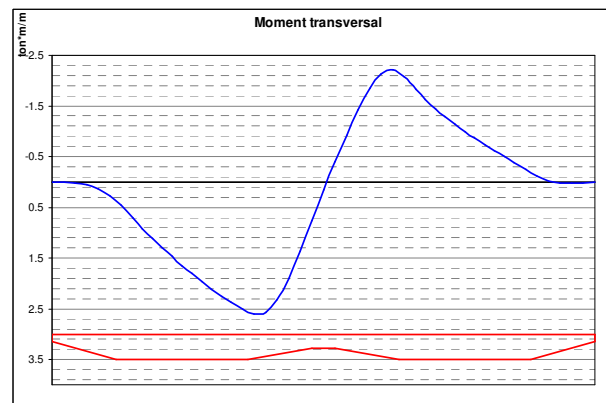


Figura 18 – Momenti in direzione trasversale nella sezione in mezzera indotti dalla viscosità

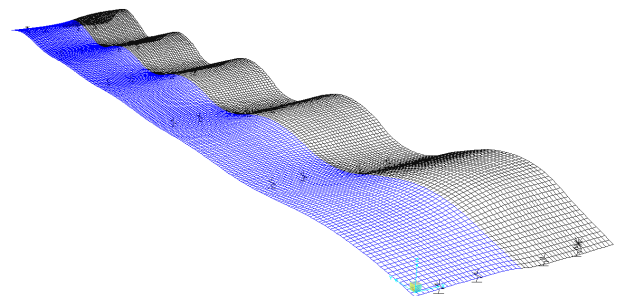


Figura 19 – Deformazione dovuta al peso proprio + precompressione + viscosità (configurazione vecchio-nuovo)

3. CONCLUSIONI

La progettazione e la realizzazione dei viadotti a Tunisi presentate in questo lavoro danno lo spunto per le seguenti considerazioni conclusive:

- L'impiego di strutture post tese è curiosamente più diffuso all'estero che in Italia dove meccanismi a volte distorti di ottimizzazione dei costi ed eccessivo potere contrattuale delle imprese fanno a volte propendere per soluzioni più povere e meno durevoli come ad esempio quelle prefabbricate
- Per la realizzazioni di queste opere in Italia è necessario che le società di ingegneria riacquistino il ruolo centrale che hanno in altre parti del mondo. Il progetto a base di gara di questi viadotti è stato redatto da una primaria impresa francese; un'altra impresa francese, specializzata in audit e controlli ha prima validato il progetto costruttivo redatto dagli scriventi e quindi controllato e supervisionato la costruzione.
- Nella progettazione di interventi nuovi e sull'esistente è necessario saper porre gli aspetti teorici nella giusta prospettiva. Il problema dell'incollaggio è stato esemplare: una interpretazione troppo rigida e schematica dei fenomeni lenti ha spaventato il cliente circa la possibilità che insorgessero effetti indesiderati in fase di solidarizzazione dei due impalcati. Per ogni effetto teorico indesiderato c'è sempre un effetto pratico che mitiga eventuali problemi o che addirittura dà luogo a benefici non contemplati dalla teoria
- Tutto il nord africa come del resto i paesi del golfo sono aree dove si fa grande impiego del precompresso. La realizzazione di queste opere, un tempo appannaggio di ditte Europee o Nord-Occidentali in genere e successivamente di Giapponesi e più recentemente Cinesi sta progressivamente passando a ditte locali. Progettare per queste ditte richiede di tener conto di tutta una serie di problematiche legate alla qualità non sempre soddisfacente di calcestruzzi e particolari costruttivi. Per il precompresso questo significa prestare particolare attenzione alle zone di ancoraggio della precompressione dove non è inusuale incontrare problemi legati alla concentrazione di sollecitazioni.



Figura 20 – Posa in opera del giunto longitudinale gli impalcati esistenti.

BIBLIOGRAFIA

- [1] FASCICULE N°61 „Conception, Calcul et Epreuves des ouvrages d'art“ TITRE II – Programme de charges et épreuves des ponts-routes du CCP
- [2] FASCICULE N°62 “Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et construction en béton précontrainte suivant la méthode des états limites” TITRE I – SECTION II du CCTG.
- [3] FASCICULE N°65 “Exécution des ouvrages de génie civil en béton arme ou en béton précontraint par post-tension” du CCTG
- [4] EC1 – EN 1991 – Actions sur les structures. Partie 2° : actions sur les ponts, dues au trafic
- [5] EC2 – EN 1992 – Calcul des structures en béton



Figura 21 – Veduta del fly over. Il viadotto OA2 completato e aperto al traffico (verso il mare) e il tratto OA1 in fase di costruzione

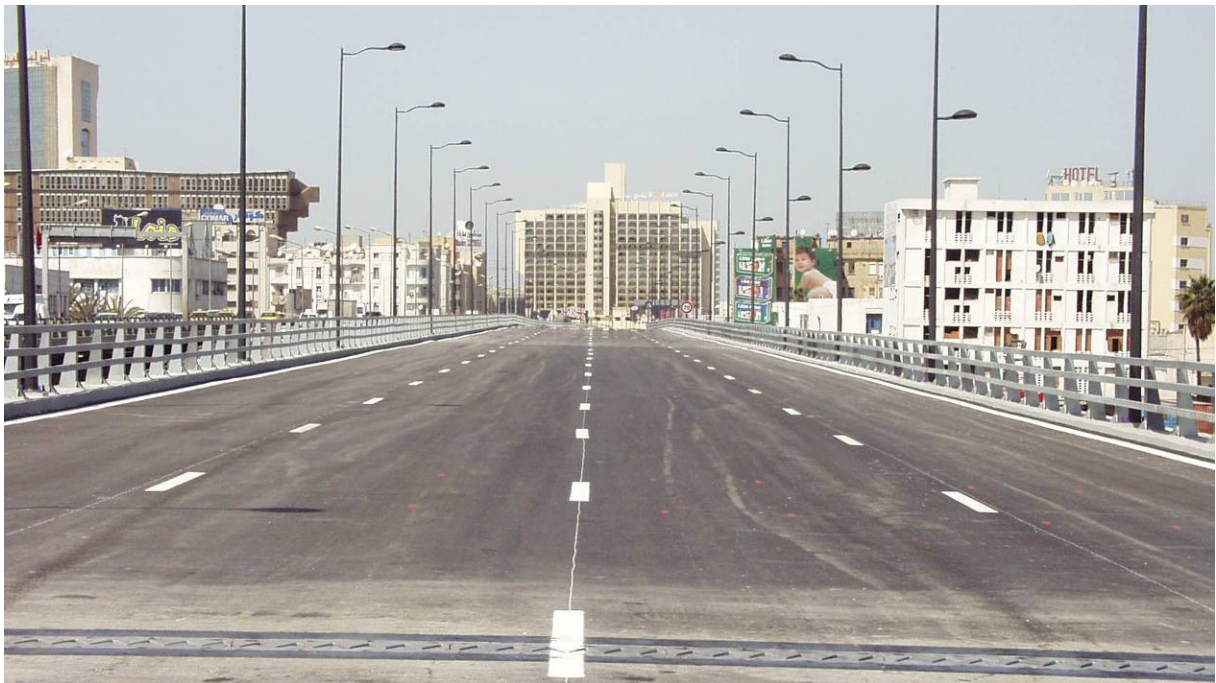


Figura 22 – Veduta del viadotto OA2 a costruzione ultimata