



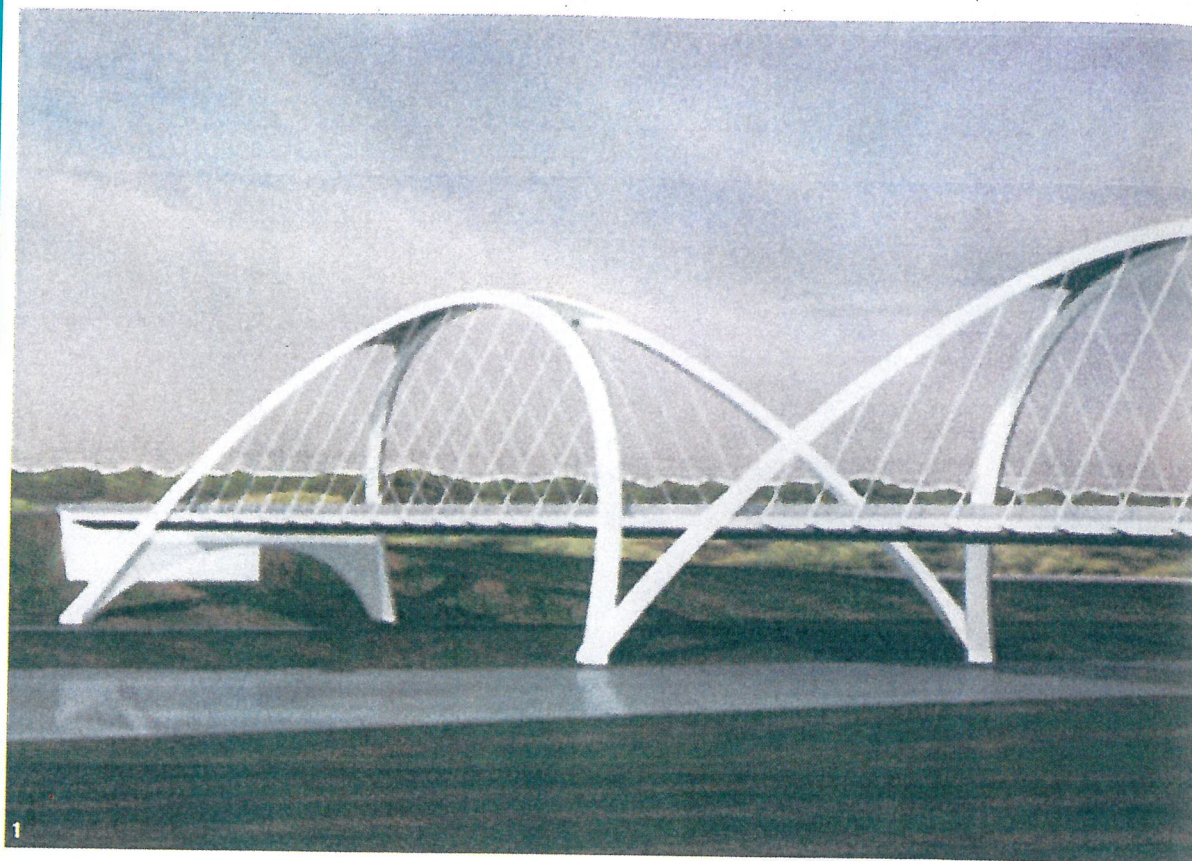
ESTRATTO DALLA RIVISTA

dal 1898
leStrade
Aeroporti Autostrade Ferrovie



**Casa Editrice
la fiaccola srl**

20123 Milano
Via Conca del Naviglio, 37
Telefono 02 89421350
Fax 02 89421484
e-mail: lestrade@fiaccola.it
www.fiaccola.com



Nuova accessibilità a Vigevano con la variante della SS 494

La progettazione definitiva del nuovo ponte sul Ticino (affidata alle società ERRE.VI.A. e Studio Tecnico MSC e Associati di Milano) si inserisce nell'ambito dei lavori per l'adeguamento del tracciato storico della SS 494 "Vigevanese". Il ponte offre una sezione adeguata alle nuove esigenze di mobilità, e prevede connessioni ex-novo alla viabilità ordinaria.

Maurizio Acito, Danilo Campagna, Antonio Migliacci

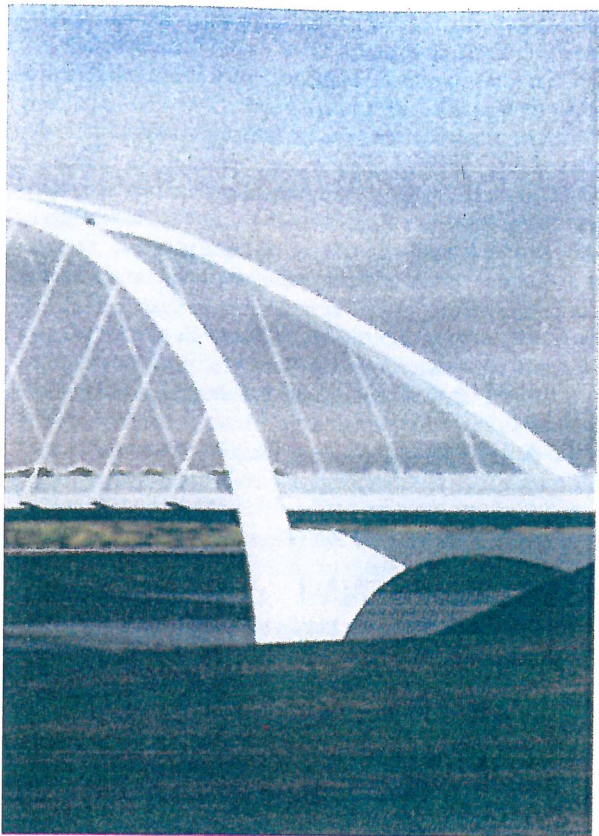
Nei programmi per l'accessibilità al nuovo aeroporto di Malpensa 2000 e con riferimento all'accordo di Programma Quadro sottoscritto nel 1999 tra Stato e Regione Lombardia, si inserisce la riqualificazione della SS 494 Vigevanese a Sud di Abbiategrosso comprendente un nuovo Ponte sul Fiume Ticino a Vigevano.

Attualmente la SS 494 ha volumi di traffico nell'ordine dei 25.000-30.000 veicoli/giorno, con valori dell'ora di punta prossimi alla congestione: pertanto i progetti compresi nel suddetto accordo dovranno consentire una sostanziale messa in sicurezza di alcuni incroci pericolosi, unitamente alla destinazione esclusivamente stradale del

nuovo ponte, lasciando a quello esistente l'unica funzione ferroviaria, rappresentata dal raddoppio della linea FS di Milano-Mortara in corso di approvazione.

Fin dal 1998 la Provincia di Pavia - Settore Lavori Pubblici (responsabile del procedimento Ing. Mario De Polo) si è fatta carico degli oneri relativi ai costi di progettazione, incaricando il Raggruppamento di Società di Ingegneria formato da ERRE.VI.A. Ricerca Viabilità Ambiente S.r.l. (capogruppo, progettista responsabile ing. Marco Zanetti) e studio Tecnico MSC e Associati srl.

Il progetto definitivo è stato approvato dalla Giunta Provinciale nel 1999 e successivamente è stato sottoposto a procedura di VIA (Valutazione di impatto ambientale) ai sensi



del DPR 12/4/96. L'esito della procedura (provvedimento della Giunta Regionale n. 10780 del 11.05.2001) consente l'avvio della Conferenza dei Servizi nei sensi e nei modi previsti dalla normativa vigente.

Per quanto riguarda gli aspetti viabilistici, l'intervento di riqualificazione stradale presenta le caratteristiche tecnico-geometriche del tracciato riportate di seguito

- lunghezza intervento: 1930 ml;
- tipologie CNR/80 IV e III;
- velocità di progetto: 80/100 km/h;
- raggio di curvatura planimetrico minimo $R=300$ m;
- pendenza longitudinale massima: $P=2,8\%$;
- raggio verticale concavo minimo: $R_v=4.000$;
- raggio verticale convesso minimo: $R_v=5.000$.

In questa sede, ci si limita a considerare gli aspetti strutturali più significativi che caratterizzano l'opera d'arte attraversante il fiume Ticino in corrispondenza della città di Vigevano.

Nel progetto preliminare del nuovo ponte, tra le tipologie costruttive proposte era stata individuata, come meglio rispondente alle istanze funzionali e di impatto ambientale, quella con ponte "ad arco a via inferiore".

Successive riflessioni e incontri con la Committenza, nonché considerazioni sulle metodologie costruttive, hanno indotto a proporre, come progetto definitivo, una soluzione che, pur riproponendo il valore formale del ponte ad arco ne esalta gli aspetti strutturali, in relazione alle peculiari funzioni delle diverse parti dell'opera.

In particolare, le istanze che hanno informato l'evoluzione del progetto preliminare si possono riassumere nei seguenti punti:

- esigenze di tipo estetico fanno preferire alla soluzione ponte "ad arco a via inferiore" del progetto preliminare, costituita da un unico arco posto in asse al ponte, una soluzione ad archi binati, all'interno dei quali si sviluppa l'impalcato del ponte;
- esigenze di tipo estetico-statico hanno suggerito di porre gli archi binati secondo piani inclinati (28° rispetto al piano verticale), in modo da consentire un avvicinamen-

to delle arcate e quindi la realizzazione di un collegamento nelle zone in prossimità delle sezioni di chiave, ottenendo così una maggiore stabilità degli archi soprattutto fuori del proprio piano;

- esigenze di metodologie costruttive e funzionali hanno indirizzato le scelte progettuali in direzione di uno schema statico, che consentisse la costruzione dell'arco staticamente garantito, indipendentemente dalla "funzione" di catena che l'impalcato era chiamato a svolgere nello schema con arco a via inferiore del progetto preliminare. A tale scopo si è traslata l'imposta dell'arco direttamente sulle strutture di fondazione, ottenendo così uno schema di ponte "ad arco a via intermedia".

Di riflesso a tale scelta si sono ottenuti diversi vantaggi di tipo funzionale quali:

- la possibilità di costruire l'impalcato successivamente alla costruzione degli archi, utilizzando le moderne tecniche di avanzamento per conci prefabbricati, riproponendo, così, le metodologie tipiche dei ponti strallati, evitando cioè la realizzazione di costose opere provvisorie, peraltro necessariamente poste in alveo;
- l'ulteriore allontanamento delle "pile" di sponda (circa 10 m) dall'alveo naturale del fiume, ottenendo sia una maggiore garanzia in fase esecutiva e in fase di servizio nei confronti degli eventi di piena, che una riduzione della luce delle campate di sponda (da 45 m a 35 m) per una lunghezza totale invariata del ponte di 350 m;
- la semplificazione nell'approvvigionamento dei conci di impalcato, dovuta alla presenza di una "piattaforma" di impalcato che si viene a formare in corrispondenza della "pila" centrale.

CONSIDERAZIONI GENERALI E DI INSERIMENTO AMBIENTALE

Il ponte situato ad Est di Vigevano, parallelo al ponte ferroviario è costituito da due campate che attraversano il Ticino su di un'unica "pila" situata nella lanca mediana al letto del fiume.

La "pila", architettonicamente, rappresenta l'appoggio delle due grandi arcate che attraversano l'alveo. L'impalcato è appeso attraverso il sistema costruttivo ampiamente illustrato nei tipi. Dalla sezione si evince il percorso delle ciclo-pedonali che ne fanno parte; sono altresì previste in progetto, in corrispondenza ai due capo ponte, le discese al greto del fiume.

Qui di seguito si illustrano le proposte in tema di mitigazione ambientale e di interventi coordinati con la progettazione architettonico-strutturale.

Si premette che il manufatto impone riflessioni di ordine generico, non solo funzionali, sul suo avvicinamento e attraversamento ed anche sull'apprezzamento della struttura dalle rive e dal letto del fiume che in quella località è percorso da natanti, e infine dal ponte ferroviario.

Considerando quindi i vari punti di osservazione e le "viste" della struttura, si riassumono proposte articolate secondo i punti di osservazione e della velocità del mezzo di percorso: queste proposte qui di seguito illustrate e commentate possono, approfondite in sede esecutiva, suggerire perfezionamenti delle strutture e sovrastrutture del manufatto, portando a compimento il complesso processo di progettazione.

L'intero sistema costruttivo, arcate e impalcato, si basa su segmenti di prefabbricato costruiti a piè d'opera e successivamente montati in elevazione ed estensione attraverso le procedure illustrate nello specifico paragrafo.

L'impalcato è quindi costituito da una struttura composta da conci di cemento armato precompresso sostenuto dalle due eleganti arcate modellate, sorgenti dal letto del fiume; esso ospita al centro corsie di traffico auto-

Maurizio Acito,
collaboratore dello
Studio MSC per la
parte strutturale.
Daniilo Campagna,
ingegnere
dello Studio MSC.
Antonio Migliacci,
professore al
Politecnico di Milano
ingegnere dello
Studio MSC e vice
presidente di MM
SpA.

**1, 2. Viste
assonometriche
del nuovo ponte
sul Ticino.**

mobilitativo divise dallo spartitraffico e, a lato, i due percorsi di ciclopista in andata e ritorno, con separatori di "new jersey" dal traffico carraio e infine la parapetteria del ponte in sequenza trasversale.

Nel punto mediano di congiunzione delle arcate sulla "pila" centrale il progetto prevede, in andata e ritorno, due piazzette di sosta del percorso ciclo-pedonale, che rappresentano fisicamente l'unico momento panoramico dell'attraversamento, inteso quindi come il belvedere dei ponti storici.

Per ordine, quindi, il percorso di accesso al ponte va valutato con attenzione per "riconoscere" a lunga/media/breve distanza il manufatto con due proposte di allestimento: operando sulle due rive, cercando di esaltare i due imbocchi del ponte, la vegetazione, ed impedendo l'apposizione di cartellonistica pubblicitaria, ma favorendo i varchi di interesse panoramico e di vista del ponte; sottolineando quindi con il verde gli accessi ciclo-pedonali al ponte e le discese al letto del fiume, formulando anche con modellazioni di terra allestita a verde le soste necessarie al parcheggio e le rampe laterali al capo ponte con ovvia verifica altimetrica delle piene, cercando quindi con operazioni di solo scavo e rinterro, disboscando e ripulendo il sottobosco, di creare viste di matrice esclusivamente organica e naturalistica, favorendo non il veloce attraversamento ma la contemplazione ambientale.

La seconda proposta riguarda i manufatti di capo ponte che, ricordando i ponti storici, si configurano come colimatori spaziali all'inizio e alla fine del percorso, esaltando quindi i terminali della struttura.

Si intende esprimere, attraverso la modellazione dei manufatti delle teste di ponte, soprattutto la tensione dell'attraversamento e lo sforzo strutturale, sottolineando gli ancoraggi e "allungo" verso la "pila" mediana, per conferire nei limiti del possibile ai particolari costruttivi "espressione" formale.

All'interno poi del percorso di attraversamento assumono particolare importanza le due piazzette in situazione mediana (pulpiti a sbalzo sul fiume con eventuale discesa nella lanca durante la stagione secca).

L'allestimento delle piazzette di sosta riguarda anche la continuità con lo spartitraffico che verrà sistemato con piante arbustive ed altre a portamento colonnare e di tipo autopulente, situate a intervalli e allocate in vasca tra i due corsi di "new jersey"; ovviamente gli spartitraffico sono provvisti di impianto ad ala gocciolante, comandato da apposita centralina automatizzata.

Le due piazzette pavimentate in autobloccanti saranno sistemate con panchine e verde in vasca, costituendo un "osservatorio" delle rive del fiume, con possibilità di sosta anche temporanea di un pulmino con generi di ristoro. A tale proposito, si rammentano i ponti storici, la vocazione pedonale e carraia rinforzata dalle soluzioni di continuità architettoniche e dalle "concrezioni" suggerite dai ponti urbani europei.

Indispensabile nell'ambito dei particolari costruttivi è la valutazione della parapetteria del ponte lato fiume, ovviamente trasparente in parallelo alla ciclopista. Le altezze dei parapetti saranno calcolate in modo che dal percorso automobilistico non si impedisca la vista del fiume, con segnalati limiti di velocità.

Tutto ciò senza pesare sulla economia strutturale generale, ma cercando con mezzi modesti (lieve dislivello, arredo verde, illuminamento) di esaltare minimamente il progetto architettonico strutturale e tutto ciò che pur valere l'attraversamento non cieco del fiume Ticino.

Importante è ancora il tema importante delle coloriture dei manufatti: le arcate sono realizzate in calcestruzzo ad al-

te prestazioni di resistenza e durata, confezionato con cemento bianco, con caratteristiche, quindi, autoprotettive.

Saranno comunque bianche le parti strutturali principali inerenti la sovrastruttura, ad esclusione dell'impalcato, fornendo un accentuato spunto fisico/naturalistico alle due arcate.

Gli stralli saranno di coloritura scura, mentre risalteranno i porta stralli puntiformi sulla struttura di sostegno e sui bordi dell'impalcato, come cuciture spaziali.

A contrasto delle "liane" strallate, il percorso del ponte sarà rinforzato nella sua linea guida dallo spartitraffico verde, fiorito stagionalmente, intervallato dalle alberature a portamento colonnare.

Infine potranno essere evidenziate, oltre al colore della parapetteria, alcune parti dell'impalcato, per accentuare l'effetto di sospensione e la leggerezza dei segmenti di attraversamento delle due campate (arcobaleno statico) e della zona di riposo mediana affondata nel letto del Ticino come un piede gigantesco che percorra due passi.

SCELTA DEI MATERIALI

Per quanto detto, nel paragrafo precedente appare evidente che nella scelta dei materiali occorre indirizzarsi verso materiali di elevata durabilità e limitata manutenzione. Dal momento che l'investimento per la costruzione e gestione deve essere considerato globalmente, la scelta di impiegare calcestruzzi ad alte prestazioni in termini di resistenza e durabilità, risulta economicamente conveniente sia nei confronti dell'impiego di calcestruzzi ordinari che nei confronti di una soluzione in carpenteria metallica.

In particolare, l'impiego di calcestruzzo ad alte prestazioni con classe di resistenza 75 MPa (C75), rispetto alla soluzione con calcestruzzo ordinario consente di ottenere i seguenti vantaggi.

- *Risparmio di materiale*

In confronto al calcestruzzo normale (C50) il risparmio in volume di materiale si è stimato intorno al 20÷25%. Dato che il dosaggio di cemento nei calcestruzzi ad alte prestazioni C75 è maggiore in volume ed il volume di materiale è minore, il risparmio si riconduce ad un minor volume di inerti.

- *Fase di esecuzione più rapida*

Il minore volume delle travi e delle solette porta ad una notevole riduzione del peso per unità di lunghezza dell'impalcato. L'incremento di lunghezza dei conci ottenuti a parità di peso dei conci da movimentare, consente una velocizzazione dei tempi di esecuzione.

- *Minore quantità di armature d'acciaio*

Il minore peso dell'impalcato e degli archi, rende necessaria una minore quantità di acciaio da precompressione e ordinario.

- *Maggiore durabilità*

Come è noto, la durabilità dei calcestruzzi aumenta con la resistenza meccanica in quanto il miglioramento della resistenza è sempre associato ad una riduzione della porosità del materiale con il risultato di una maggiore protezione dall'aggressione degli agenti atmosferici che possono penetrare la matrice cementizia (UNI 9858).

I CRITERI DELLA FHWA

È emblematico l'esempio del Ministero Federale dei Trasporti degli USA (Federal Highway Administration - FHWA) che, in base ad un certo numero di parametri di durabilità e di resistenza mec-



canica o:

- condizioni climatiche (escursioni termiche, cicli di gelo-disgelo, umidità),
- condizioni di esposizione (presenza di sali e/o altre sostanze chimiche aggressive),
- condizioni di carico, insite nella struttura (resistenze meccaniche, scorrimento viscoso, ritiro, ecc.) o dovute ad elementi esterni (vento, fenomeni sismici, traffico veicolare, ecc.),

ha definito i criteri per poter procedere alla formulazione dei calcestruzzi rispondenti ai requisiti ed alle specifiche di progetto di strutture, soprattutto quando queste devono essere inserite in ambienti aggressivi.

In pratica, attraverso lo svolgimento di un "Programma Strategico" già in corso da diversi anni (Strategic Highway Research Programm) sta promuovendo l'impiego di calcestruzzi ad alte prestazioni a lungo termine, più precisamente in termine di durabilità e resistenze meccaniche.

A conferma della validità di tale decisione, uno studio condotto nell'area di Chicago sulle caratteristiche prestazionali di calcestruzzi aventi resistenze dai 70 ai 140 MPa, ha dimostrato che vi è una sicura correlazione tra il miglioramento della durabilità e l'aumento della resistenza alla compressione del calcestruzzo.

In sintonia, utilizzando questo criterio di progettazione delle strutture, in cui vengono privilegiati gli aspetti di durabilità, di resistenza, di economicità di manutenzione nel lungo termine, sono attualmente in corso diverse costruzioni di opere civili, in particolare ponti in cui sono utilizzati calcestruzzi ad alte prestazioni.

Con la pubblicazione delle "Linee guida sul calcestruzzo strutturale" del dicembre '96 il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, riconosce i vantaggi che si ottengono con questi materiali in termini di resistenza ma soprattutto di durabilità e consente di utilizzare i calcestruzzi ad alte prestazioni (AP) e ad alte resistenze (AR) anche in Italia.

Formulazione e impiego di calcestruzzi ad alte prestazioni e ad alte resistenze

L'introduzione di calcestruzzi ad alta prestazioni (AP) e ad alta resistenza (AR) con Rck compresa fra i 75 ed i 140 MPa sta aprendo nuove prospettive per i materiali a base cementizia.

La loro realizzazione richiede che i materiali primari, acqua, cemento ed aggregato (gli stessi del conglomerato cementizio ordinario) vengano combinati con aggiunte minerali ed additivi superfluidificanti.

Con ciò, nel calcestruzzo ad AP e AR, si ottiene una microstruttura significativamente differente da quella propria del calce-

struzzo ordinario: molto compatta, caratterizzata da un sistema di pori capillari molto piccoli e da un legame interfacciale tra le fasi molto più intenso, tali da indurre differente microporosità che si riflette positivamente sulla resistenza meccanica e sulla durabilità.

Sulla rilevanza delle resistenze meccaniche di questi materiali è inutile sprecare parole: i dati che le contraddistinguono parlano da soli.

È però altrettanto importante la loro capacità di resistere a quelle azioni che possono - di contro - produrre un decadimento delle proprietà fisico-meccaniche del materiale o compromettere la corretta efficienza di una struttura realizzata con calcestruzzi di tipo tradizionale.

Le maggiori cause di degrado dei materiali a base cementizia - nel loro utilizzo in opere d'arte tipo ponti, o manufatti vari posti all'aria aperta - sono le variazioni cicliche di gelo-disgelo: il deterioramento si manifesta con la formazione di fessurazioni (internal cracking) o con lo sgretolamento superficiale (surface scaling).

L'elevata compattezza, cioè la ridotta porosità, dei calcestruzzi AP e AR è il miglior antidoto contro questo deterioramento. Calcestruzzo AP e AR è quindi sinonimo di calcestruzzo ad elevata durabilità praticamente insensibile ai cicli di gelo-disgelo.

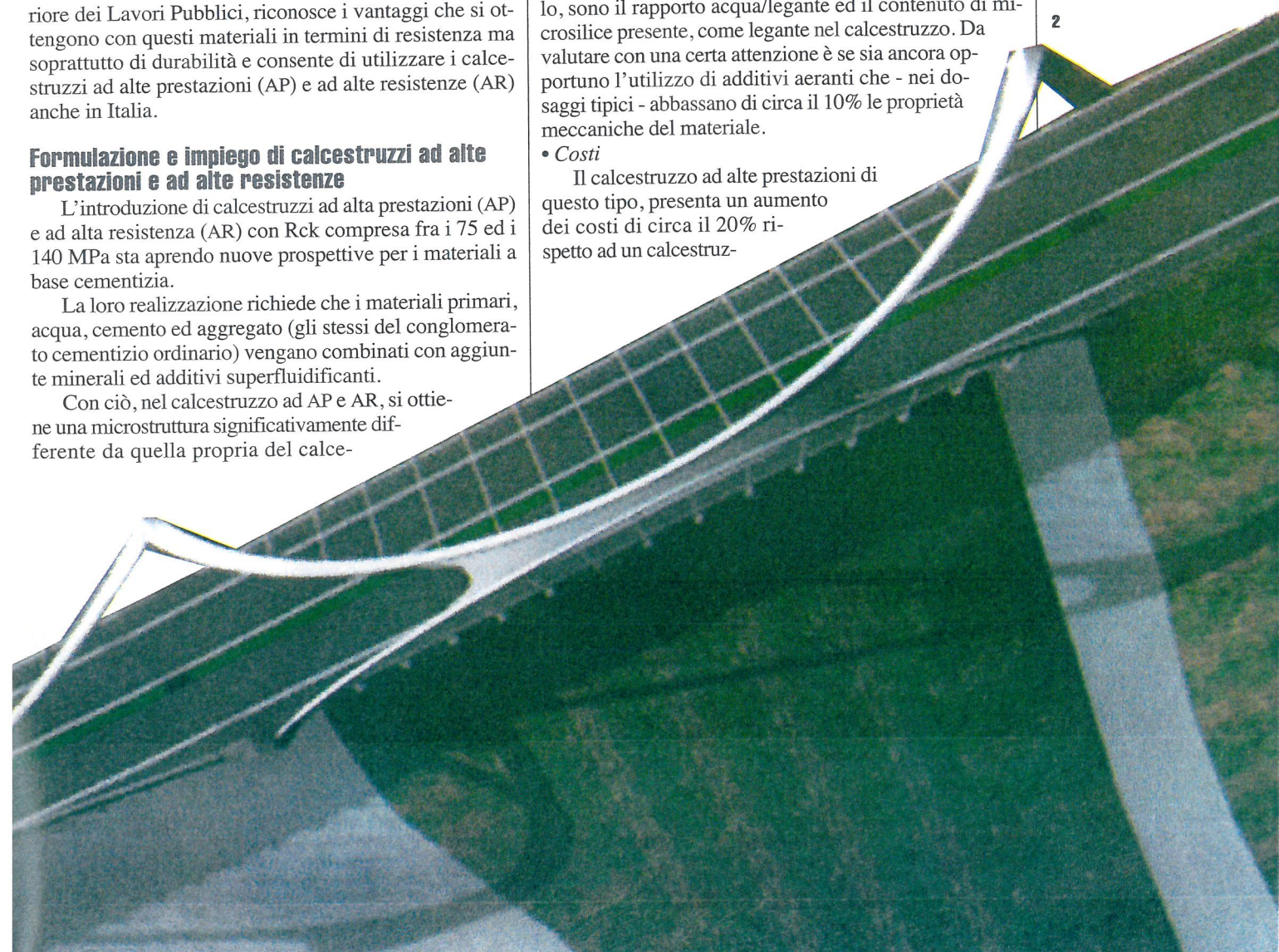
Al di là delle varie prove di laboratorio che testimoniano questo fatto, le normative stesse stanno facendo proprio questo principio.

• *Il mix design*

La realizzazione di questi calcestruzzi ad alte prestazioni, con il ricorso a materie prime speciali, ha comportato una riformulazione del mix design; due dei parametri più significativi nei riguardi della resistenza al gelo, sono il rapporto acqua/legante ed il contenuto di microsilice presente, come legante nel calcestruzzo. Da valutare con una certa attenzione è se sia ancora opportuno l'utilizzo di additivi aeranti che - nei dosaggi tipici - abbassano di circa il 10% le proprietà meccaniche del materiale.

• *Costi*

Il calcestruzzo ad alte prestazioni di questo tipo, presenta un aumento dei costi di circa il 20% rispetto ad un calcestruzzo-



zo per prefabbricazione tradizionale, aumento dovuto all'utilizzo di microsilice e di maggiori quantità di superfluidificante.

Calcestruzzo bianco ad alte prestazioni (AP)

Gli stessi accorgimenti adottati per il calcestruzzo "grigio" AP devono essere adottati, con qualche accorgimento in più, per i calcestruzzi bianchi di pari prestazioni.

• Acqua

Nell'AP e AR il dosaggio dell'acqua, limitato drasticamente dall'azione del fluidificante, una volta aggiunto all'impasto va attribuito e rapportato non solo alla quantità di cemento (rapporto acqua/cemento), ma anche all'insieme cemento più materiali cementizi supplementari (rapporto acqua/legante) costituzionalmente sempre presenti e non così reattivi come il cemento.

La ragione è strettamente funzionale dato che le proprietà del calcestruzzo alle brevi stagionature sono prevalentemente legate al suo rapporto a/c, mentre quelle a lunga scadenza al rapporto a/l. È da aggiungere che l'acqua, drasticamente limitata dall'azione dell'additivo, risulta confinata nella zona dei bassi dosaggi dove una sua variazione anche piccola, dell'ordine di qualche unità % (4-5 litri/m³), si riflette pesantemente sulle proprietà del calcestruzzo sia fresco che indurito.

• Cemento

In generale i cementi bianchi della classe 52.5, caratterizzati appunto da un rapido indurimento e da una alta resistenza finale, anche per calcestruzzi con elevate prestazioni con Ømax 15-25 mm, vanno dosati in ragione di 300-400 kg/m³.

• Aggregati

L'insieme degli aggregati, la sabbia e la parte a granulometria grossa, va scelto avendo presente le due esigenze a cui deve rispondere con questo calcestruzzo. Per quella estetica la scelta dell'aggregato grosso e quindi del suo colore è di importanza primaria nella realizzazione di superfici a vista lavorate (bocciardate, spuntate, sabbiate, lavate), mentre la scelta dell'aggregato fine

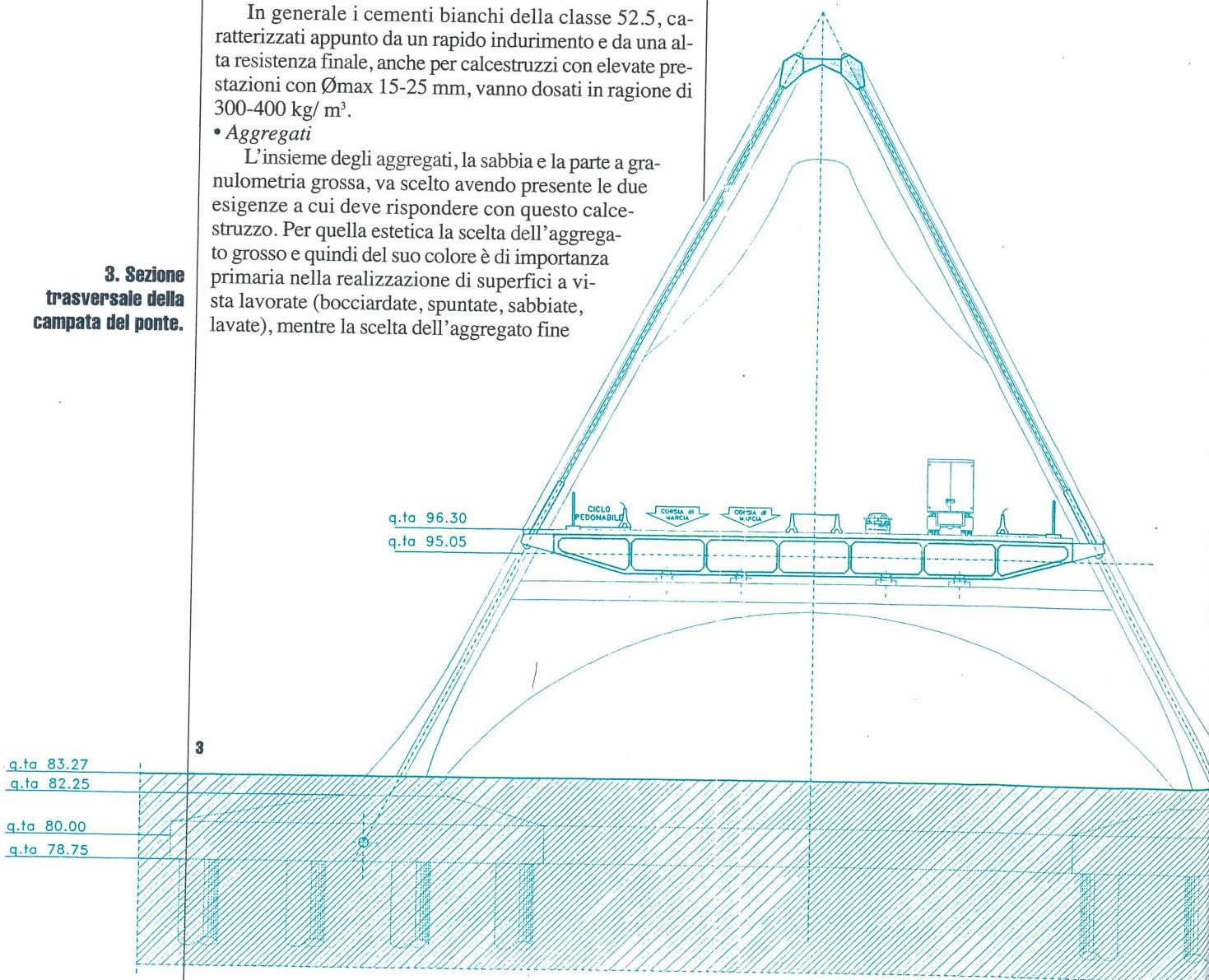
è determinante per caratterizzare l'aspetto cromatico delle superfici a vista lasciate tal quali dopo rimozione dei caseri. Una sabbia molto chiara è indicata se si desidera specificatamente ottenere una superficie perfettamente bianca, mentre una sabbia comune, è sufficiente se si intende ottenere tonalità più particolari.

• Materiali fini aggiuntivi

Negli impasti di AP, in particolare AR, l'impiego generalizzato e si può dire necessario di materiali fini aggiuntivi deriva appunto dalla necessità di saturare con solidi, anziché con l'acqua di impasto, gli spazi intergranulari della matrice cementizia. Nel caso dei calcestruzzi di cemento bianco, è chiaro che i fini pozzolanici devono essere bianchi e tra i differenti materiali disponibili quali fumo di silice, la loppa d'altoforno, la cenere volante, la cenere di pula di riso, il metacaolino, soltanto quest'ultimo può essere preso in considerazione. Il metacaolino, di per se di colore bianco, costituisce per la sua alta reattività una valida alternativa al fumo di silice. Si tratta di un silicato di alluminio ottenuto per calcinazione, entro un definito campo di temperatura, di caolinite pura. La dimensione media delle particelle è di 1,5 micron (quella del cemento Portland 10 micron).

• Additivi riduttori d'acqua e agente compatibilmente

3. Sezione trasversale della campata del ponte.



SEZIONE A-A

Dovendosi negli impasti di AP, in particolare AR riportare l'acqua su valori tali per cui il rapporto a/l rientri nell'intervallo 0,20-0,35, la tecnologia del calcestruzzo AP, in particolare AR si orienta sull'utilizzo degli additivi dell'ultima generazione quali gli acrilici piuttosto che i condensati solfonati melamina-formaldeide o i naftalenformaldeide. Nasce però una difficoltà causata dalle incompatibilità dei suddetti tipi di additivi con molti cementi ed in particolare con i cementi bianchi.

Tale incompatibilità, da un tempo conosciuta, si accentua nelle miscele per calcestruzzi AP e AR tanto che il controllo della reologia dell'impasto, ad esempio con una lavorabilità iniziale di 200 mm, per almeno 1 ora o più dopo la confezione, risulta molto difficile se non impossibile, se non utilizzando un agente compatibilmente fra cemento bianco e superfluidificante acrilico. Questo problema è stato ormai egregiamente risolto dagli studi di Italcementi.

• Agenti compatibilizzanti

Trattasi di prodotti innovativi: agenti compatibilizzanti efficaci sono ormai normalmente commercializzati.

• Il biossido di titanio

Si possono inoltre ottenere dei calcestruzzi bianchi autopulenti - nei riguardi delle sostanze organiche presenti nell'atmosfera che si possono depositare sulle superfici dei manufatti - additivando nell'impasto prodotti ad attività fotocatalizzatrice, tipo il biossido di titanio. I dosaggi medi del biossido di titanio sono compresi fra 1÷2% in peso del cemento ed i suoi costi oscillano fra le 3.500÷4.000 £/kg.

Calcestruzzo bianco ad alte prestazioni per il ponte sul Ticino

• Caratteristiche del materiale allo stato indurito:

- Rck=75 MPa,
- valore di brillantezza della superficie dei getti: 87÷90 (molto buona),
- classe di esposizione 3 (ambiente esterno con cicli di gelo e disgelo e sali disgelanti).

• Caratteristiche del materiale allo stato fresco:

- rapporto acqua/cemento max=0,35,
- classe di consistenza: S4÷S5,
- mantenimento della consistenza iniziale: almeno un'ora.

PREDIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE

La struttura presenta uno schema statico di ponte ad arco a via intermedia organizzato in modo da far fronte alle azioni secondo il percorso di seguito descritto.

L'impalcato raccoglie i carichi variabili ed i carichi permanenti secondo uno schema di trave continua su sei appoggi, due fissi e quattro scorrevoli, e dagli appoggi elastici costituiti dagli stralli di appensione.

La condizione di simmetria geometrica rispetto alla pila centrale consente di organizzare un collegamento monolitico tra l'impalcato e le anche degli archi binati.

I carichi raccolti dagli stralli giacenti nel piano degli archi vengono trasferiti alle arcate e da queste alle strutture di fondazione.

In particolare, per la strutture delle arcate può assumersi lo schema di calcolo di arco incastrato con azioni prevalenti agenti nel piano stesso dell'arco.

La componente del peso proprio dell'arco, agente in direzione normale al piano dell'arco, viene bilanciata dalla componente simmetrica rispetto al piano di simmetria longitudinale, dovuta al peso dell'altro arco, la quale si at-

TAB. 1 FORMULAZIONE DI UN CALCESTRUZZO AD ALTE PRESTAZIONI CON RESISTENZA RCK 75-80 MPA

Cemento Portland tipo CEM I 52.5 R	dosaggio minimo 400 kg/m ³
Microsilice	dosaggio 7-10% sul totale (cem+microsilice)
Aggregato; curva granulometrica continua	dosaggio 1800-1900 kg/m ³
Rapporto acqua/legante	0.30-0.32
Additivo	dosaggio 1-2% sul cemento, di estratto secco
Classe di consistenza	S4-S5
Mantenimento della lavorabilità	mantenimento della classe di consistenza iniziale per almeno 1 ora dalla preparazione dell'impasto.

tua attraverso la membrana di collegamento tra i due archi. Laddove, invece, la membrana non è presente la suddetta componente del peso proprio dell'arco, normale al piano degli archi stessi, induce effetti flessionali a cui si fa fronte mediante opportune costolature di irrobustimento ottenute come proseguimento della membrana verso le "anche" dell'arco binato.

Pertanto, ai fini di un pre-dimensionamento della struttura in elevazione costituita dall'arco binato si può operare valutando le sollecitazioni dovute alle azioni prevalenti nel piano degli archi, con riferimento allo schema di arco incastrato trascurando la presenza della membrana di collegamento fra gli archi che costituiscono l'arco binato.

In merito alla organizzazione delle fondazioni, la necessità di rinunciare alla funzione di catena per l'impalcato, ha fatto sì che le spinte degli archi confluissero direttamente nelle fondazioni.

Tale circostanza ha reso indispensabile l'organizzazione di una struttura orizzontale di collegamento fra i dadi dei plinti di fondazioni che, con un gioco di tiranti e puntoni, consentisse l'organizzazione di palificate in cui il numero di pali necessari per le esigenze di carico verticale, risultasse poco diverso dal numero di pali necessari al recupero delle azioni orizzontali dovute alle spinte degli archi.

In particolare, si è organizzato un collegamento (con un tirante precompresso) fra i dadi dei plinti di fondazione delle "pile" centrali che consente di recuperare la spinta di divaricamento dovuta all'inclinazione dei piani degli archi (28° rispetto al piano verticale).

TAB. 2 FORMULAZIONE CLS BIANCO AD ALTE PRESTAZIONI CON RCK=75 MPA

Composizione		kg/m ³
Polvere di Carrara da 0÷0,5 mm (15÷20%)	=	285÷380
Aggregato di Rezzato in pezzatura continua da 0,5 a 20 mm (85÷80%)	=	1615÷1520
Cemento bianco tipo I 52.5 R (ad esempio Italbiano Rezzato)	=	350÷378
Metacaolino bianco	=	35÷37
Agente compatibilizzante (0,65% in peso del cemento)	=	2,3÷2,4
Additivo superfluidificante di tipo acrilico (1÷3% in peso del legante)	=	3,8÷11,6

Per la spinta di divaricamento delle imposte nella direzione longitudinale è sufficiente, un collegamento fra il dado delle "anche" di sponda e il dado della spalle in modo da chiamare al recupero delle spinte orizzontali la palificata delle spalle.

Per la "pila" centrale la condizione di simmetria geometrica e di carico prevalente, permanenti, presenta equilibrio fra spinte, esercitate dalle "anche" adiacenti che si impostano sui plinti.

Tale circostanza consente una organizzazione delle palificate economicamente conveniente oltre che garan-

tire maggiormente le loro prestazioni in termini di resistenza e rigidità.

Pre-dimensionamento delle strutture di impalcato

Nei casi di costruzioni per conci successivi, la sezione trasversale è utilmente realizzata a cassone mono o pluricellulare. Si hanno normalmente cassoni monocellulari per larghezze fino ai 15 m, pluricellulari per larghezze maggiori.

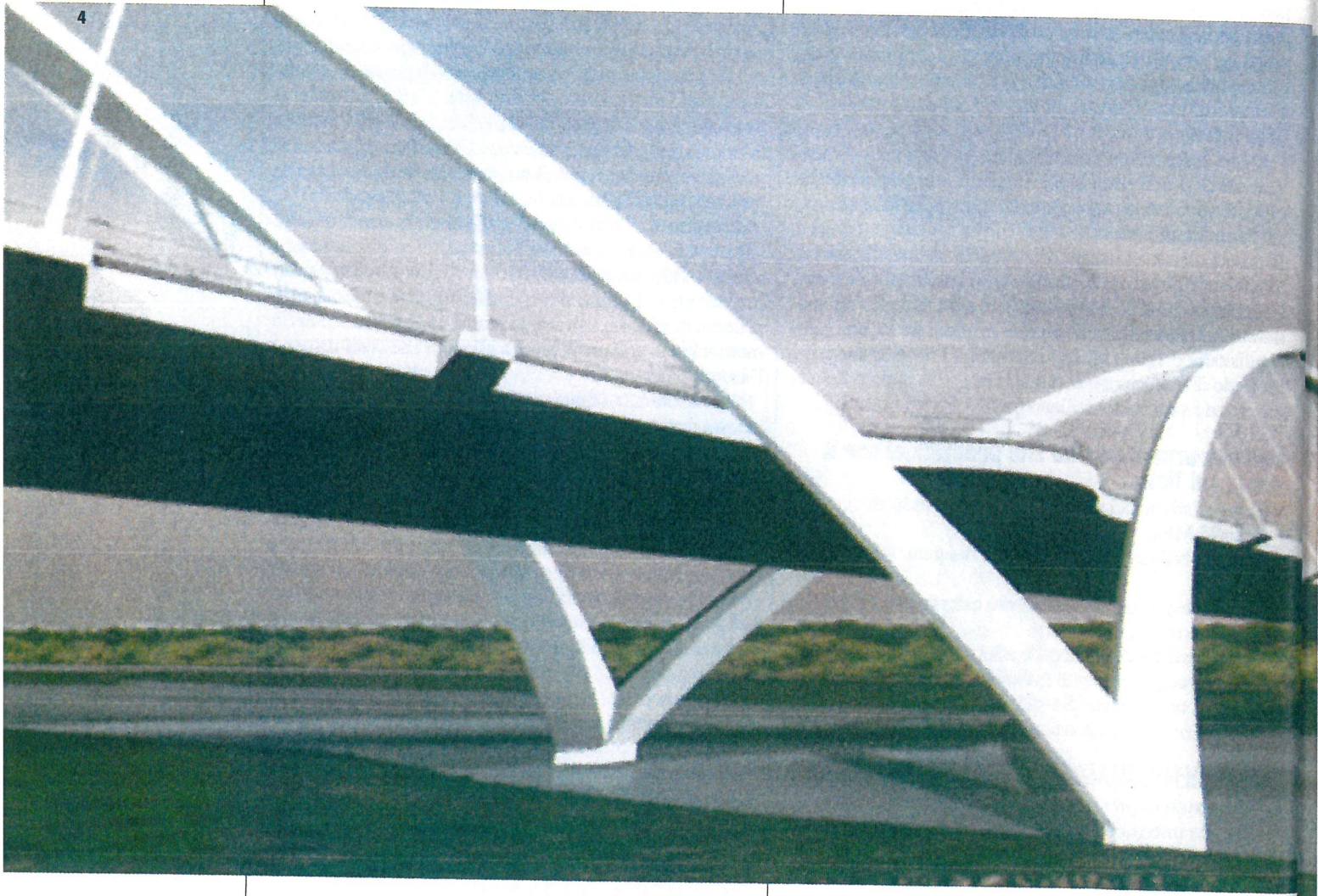
Nel caso in esame, si è ipotizzata una sezione pluricellulare la cui geometria è riportata negli elaborati gra-

Inoltre, nel definire il profilo dell'impalcato si è anche considerata la necessità estetica di avere un profilo unitario dell'impalcato lungo il suo intero sviluppo.

Apparecchi di appoggio e giunti di dilatazione

La posizione ed il tipo, di apparecchi di appoggio e dei giunti di dilatazione, sono stati individuati considerando che la condizione di simmetria geometrica rispetto alla "pila" centrale. Tale circostanza consente di organizzare nello spessore dell'impalcato un collegamento monolitico fra l'impalcato e le "anche" degli archi binati in corrispondenza dell'"pila" centrale (appoggi fissi).

4



4. Vista assonometrica dal basso del nuovo ponte sul Ticino.

fici, dove sono illustrate anche le sue variazioni in corrispondenza degli stralli e degli appoggi.

In alcune recenti realizzazioni con posizionamento di elementi prefabbricati a cassone, al fine di ridurre ulteriormente il peso dell'impalcato, si sono sostituite alcune pareti continue con aste di calcestruzzo, ottenendo così una struttura a tubo irrigidita da un sistema di aste reticolari che ne garantiscono la stabilità di forma. Di tale circostanza si deve tenere conto, in fase di progetto esecutivo, al fine di ottenere un ulteriore alleggerimento della sezione proposta.

Come già detto, l'impalcato raccoglie i carichi variabili, dovuti al transito dei veicoli e dell'utenza ciclopedonale, e i carichi permanenti, dovuti al peso proprio delle membrature e il peso delle finiture, secondo uno schema di trave continua su sei appoggi e dagli appoggi elastici costituiti dagli stralli di appensione.

Con tale schema si è proceduto alla stima delle sollecitazioni e delle deformazioni, che ha consentito di determinare l'altezza ottimale dell'impalcato ($h=200$ cm).

Così pure in corrispondenza della "pila" di sponda l'arco trasversale di appoggio, al di sotto dell'impalcato, realizza un collegamento monolitico con le "anche" delle arcate, nonché la sede di appoggi scorrevoli, al fine di consentire la respirazione termica dell'impalcato rispetto alla sezione di simmetria geometrica.

Per la stessa ragione in corrispondenza delle spalle gli appoggi sono di tipo scorrevole.

Stralli di appensione

Gli stralli di appensione raccolgono, come appoggio elastico i carichi dell'impalcato per trasferirli alle arcate. La sezione trasversale dell'impalcato, che in corrispondenza degli stralli è opportunamente irrigidita, presenta degli "sbracci" (mensole) su cui si agganciano gli stralli in modo da risultare complanari coi piani delle arcate.

Per la valutazione del numero dei trefoli necessari si è proceduto in modo che gli stralli lavorino con tensioni basse (≈ 600 MPa) limitando così il fenomeno di fatica.

È stata anche considerata la possibilità di far fronte,

in presenza di soli carichi permanenti, alla sostituzione completa di uno di essi, rispettando peraltro l'obiettivo della sostituibilità caldeggiata dalla vigente Normativa sui LL.PP.

Gli stralli sono ipotizzati con 37 trefoli tipo T15 super di 0,6" o similari, protetti da guaina di polietilene ad alta densità (ϕ 200 mm).

Costruzione impalcato

Gli elementi prefabbricati vengono posti in opera mediante carri di varo. Ogni segmento di cassone varato, viene tenuto in posizione mediante barre di precompressione



ne. La costruzione per conci oltre a risultare conveniente dal punto di vista economico consente di evitare di operare in alveo.

DESCRIZIONE DEL PROCEDIMENTO COSTRUTTIVO

Tradizionalmente, in Italia, il ponte ad arco si è largamente impiegato per superare grandi luci con strutture in cemento armato.

Attualmente, però, il loro impiego è limitato dall'elevato costo delle opere provvisorie di centinatura necessarie per la loro costruzione. Per tale motivo ad essi vengono preferiti altri schemi quali i ponti a travate o i ponti costruiti a sbalzo per conci successivi.

E' però possibile, grazie all'adozione di più moderne tecniche costruttive, recuperare il valore formale e statico di tali strutture.

Infatti, la rinuncia di utilizzare l'impalcato come catena per gli archi, consente di predisporre la loro realizzazione prima della costruzione dell'impalcato (come ad esempio si fa per i ponti ad arco con via superiore) secondo un pro-

cedimento descritto successivamente.

Inoltre, realizzata la struttura in elevazione costituita dagli archi binati, è possibile procedere alla realizzazione dell'impalcato con le stesse tecniche impiegate per la realizzazione dei ponti strallati.

Tale procedimento, oltre a consentire la realizzazione delle opere senza operare con costose strutture provvisorie le quali, peraltro necessariamente andrebbero ad occupare l'alveo riducendo così i margini di sicurezza durante le fasi esecutive, recupera le metodologie esecutive proprie delle strutture più moderne.

— La realizzazione degli archi può ottenersi mediante ele-

REFERENTI

Compartimento Anas di Milano	Ing. Maurizio Maurizi Ing. Vincenzo Petrarolo Ing. Giuseppe Bilancia
Studio per VIA	Prof. Sergio Malcevski (Studio NQA - Pavia)

menti prefabbricati i quali vengono posti in opera mediante gru.

In particolare, operando con tre gru (due sulle sponde ed una posizionata sull'isola), si può procedere al posizionamento e alla solidarizzazione dei conci mediante barre di precompressione Tipo DIWIDAG.

La stabilità durante la fase esecutiva è garantita da stralature provvisorie schematicamente descritte nel seguito. Saranno adottati due diversi sistemi di strallatura per sostegno provvisorio fino alla chiusura del concio in chiave dell'arco binato.

Il primo sistema è relativo alla costruzione dei due semiarchi che si dipartono dalle "pile" di sponda. Esso è costituito da un'antenna in traliccio metallico sagomata a cavalletto (configurato come la lettera A) posto trasversalmente all'asse del ponte e poggiante sulle fondazioni di sponda dei piedi d'arco.

Il cavalletto, organizzato con vincolo di cerniera al piede, presenta una leggera inclinazione verso l'arco e strallatura di sostegno ancorata sulle fondazioni delle spalle. Il secondo si ottiene collegando, mediante cavi, i semiarchi che si dipartono in simmetria rispetto alla "pila" centrale.

CONCLUSIONI

La scelta della tipologia strutturale e dei materiali proposta per l'opera d'arte, permette di rispondere al meglio alle principali esigenze che informano la moderna progettazione.

Infatti, dal lato della scelta della tipologia strutturale si concretizza una soluzione che ottimizza al meglio esigenze di tipo estetico-statico, anche nei riguardi dell'inserimento ambientale.

Importanti sono anche i risvolti che la tipologia strutturale scelta concretizza, in riferimento alla sicurezza in fase esecutiva, con la rinuncia al funzionamento a catena dell'impalcato.

Dal lato della scelta dei materiali, oltre al carattere innovativo per l'Italia legato all'impiego dei calcestruzzi ad alte prestazioni, concretizza una soluzione che ottimizza i costi globali dell'opera d'arte, favorendo l'abbattimento dei costi di manutenzione data la elevata durabilità dei calcestruzzi ad alte prestazioni, senza che ciò comporti un aumento dei costi d'impianto. ■

*Si ringraziano
Fausto Colombo e Lorenzo Forges Davanzati,
per la collaborazione in merito
alle considerazioni generali
e di inserimento ambientale.*