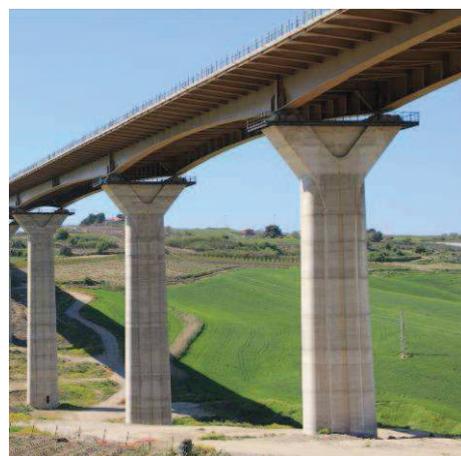
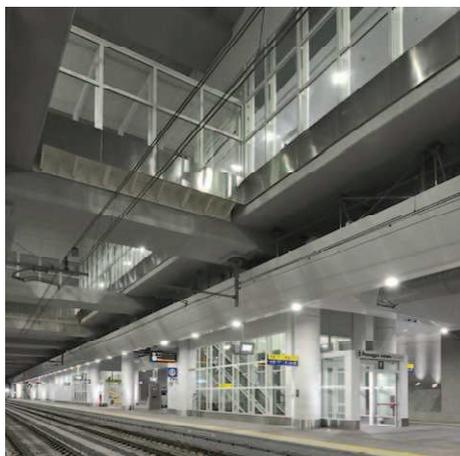
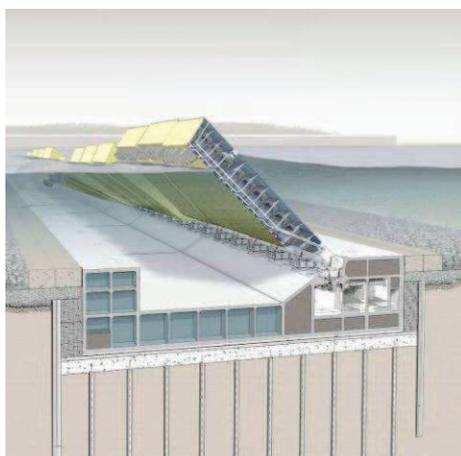
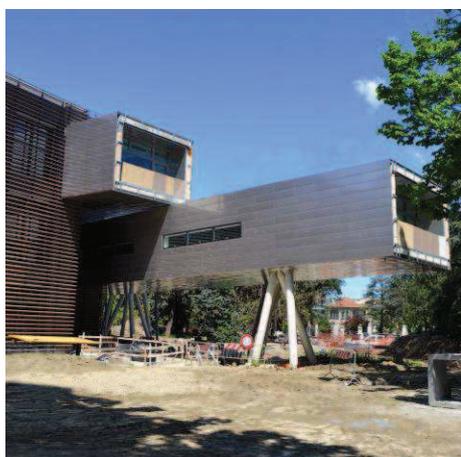


# PREMI aicap 2014 REALIZZAZIONI IN CALCESTRUZZO STRUTTURALE



I testi degli articoli di presentazione delle opere sono stati tratti dalla documentazione presentata dai Progettisti con la candidatura ai Premi aicap 2014.

**PREMI aicap 2014**  
**REALIZZAZIONI IN CALCESTRUZZO STRUTTURALE**

**CATEGORIA EDIFICI**

OPERA VINCITRICE

***“TREFOLO” - CAMPUS UNIVERSITARIO DI FORLÌ***

***EDIFICIO RESIDENZIALE IN VIA SAPPADA 23 A ROMA***

***NUOVA SEDE DELL'AGENZIA SPAZIALE ITALIANA  
A ROMA TOR VERGATA***

**CATEGORIA OPERE INFRASTRUTTURALI**

OPERA VINCITRICE

***BARRIERE MOBILI PER LA DIFESA DI VENEZIA E DELLA  
LAGUNA DALLE ACQUE ALTE – CASSONI DI BARRIERA***

***NUOVA STAZIONE PER L'ALTA VELOCITA' DI BOLOGNA***

***VIADOTTO SERRA CAZZOLA 1 SULLA SS 640 “DI PORTO  
EMPEDOCLE”***



**PREMI aicap 2014**  
**REALIZZAZIONI IN CALCESTRUZZO STRUTTURALE**

## **OPERE INFRASTRUTTURALI**

*Premio conferito a:*

**BARRIERE MOBILI PER LA DIFESA DI VENEZIA  
E DELLA LAGUNA DALLE ACQUE ALTE – CASSONI DI BARRIERA**

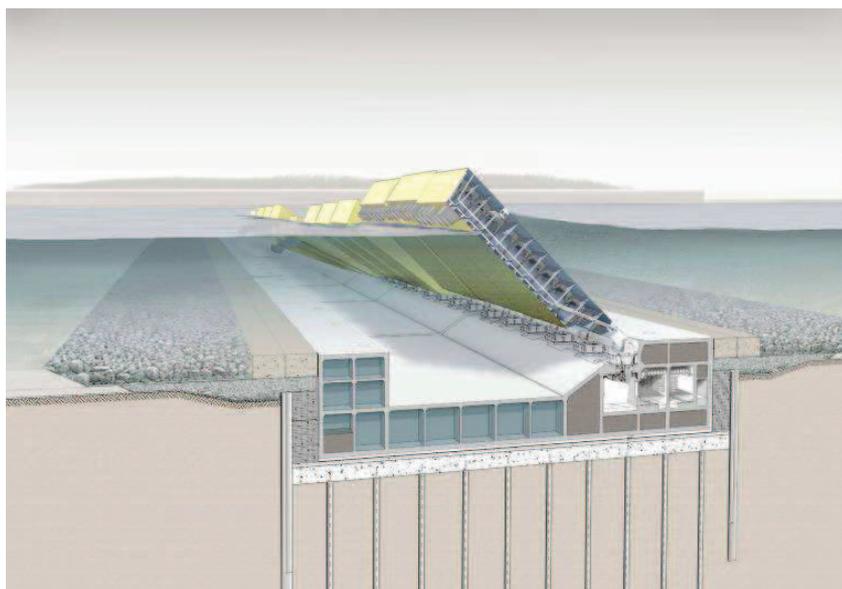
*“L'opera, di sicura originalità e rilevanza internazionale, si connota per le eccezionali dimensioni dei manufatti prefabbricati in calcestruzzo strutturale - ciascuno dei quali raggiunge il peso di 20.000 t - che ha comportato un accurato studio per il rigoroso controllo, tra l'altro, delle deformazioni e dei cedimenti del piano di imposta dei cassoni.*

*La necessità di garantire una vita utile molto elevata senza effettuare interventi di manutenzione, ha richiesto un'attenzione speciale nella scelta dei materiali, in particolare delle miscele cementizie, nella protezione dalla corrosione e nella valutazione del comportamento a fatica.”*



## OPERA VINCITRICE DEL PREMIO PER LA CATEGORIA OPERE INFRASTRUTTURALI

# BARRIERE MOBILI PER LA DIFESA DI VENEZIA E DELLA LAGUNA DALLE ACQUE ALTE – CASSONI DI BARRIERA



La serie di interventi contemplati nel sistema integrato di difesa dalle acque alte di Venezia comprende la realizzazione delle barriere mobili alle bocche di porto lagunari di Lido, Malamocco e Chioggia.

Ciascuna barriera è sostanzialmente costituita da una serie modulare di paratoie a spinta di galleggiamento, 18x21 elementi scatolari accostati l'uno all'altro, incernierati ad una struttura di fondazione e delimitati alle estremità dalle opere di sponda.

Le barriere sono complessivamente 4 in ragione della morfologia della bocca di Lido (che ne richiede due) e hanno una lunghezza variabile tra 360 e 420 m; la profondità dei canali intercettati varia tra un minimo di 6 m (Lido Treporti) ed un massimo di 14 m (Malamocco).

In condizioni di marea ricorrenti le paratoie sono piene d'acqua e restano adagiate sul fondo, nelle relative strutture di alloggiamento. Quando invece gli eventi meteorologici, associati alle escursioni di marea astronomica, lasciano prevedere un innalzamento dei livelli superiore a quello di salvaguardia, le paratoie

vengono parzialmente svuotate tramite l'immissione di aria compressa e sollevate. In questo modo si è in grado di bloccare transitoriamente il flusso della marea verso l'interno della laguna.

Gli elementi principali costituenti la barriera sono le paratoie, i gruppi di connessione alla fondazione (cerniera-connettore), una serie di cassoni cellulari accostati (2 di spalla e 6-7 cassoni intermedi di alloggiamento), gli impianti meccanici di alimentazione aria e quelli elettrici di comando/controllo. Le maggiori dimensioni si riscontrano per i cassoni di soglia e le paratoie: i cassoni hanno dimensioni massime 48x60x11,5 m, a cui corrisponde un peso di circa 20.000 t; le paratoie, realizzate in carpenteria metallica con una struttura di tipo navale, sono tutte larghe 20 m, ma la lunghezza può raggiungere 30 m e lo spessore 5 m, per un peso massimo di circa 300 t.

Tutti i componenti modulari sono stati prefabbricati: quelli in c.a. (cassoni cellulari) sono stati costruiti all'asciutto in prossimità dell'area di posa e poi varati e trasportati in galleggiamento fino al sito in cui sono stati affondati, mentre quelli in

acciaio (paratoie e gruppi connettore) realizzati in stabilimenti distribuiti sul territorio e poi trasportati via terra e via mare fino alla barriera.

La necessità di salvaguardare il delicato equilibrio idrogeologico lagunare ha indirizzato la scelta su un sistema di chiusura altamente innovativo ed ha quindi richiesto numerosi approfondimenti progettuali, tramite analisi/prove su modelli (matematici e fisici) e prototipi; una parte importante di queste indagini ha riguardato gli effetti idrodinamici procurati da moto ondoso e correnti di marea sulle opere di barriera, sia durante la costruzione che in esercizio.

L'opera è stata progettata per una vita utile di 100 anni e questo ha richiesto un'attenzione particolare nella scelta dei materiali, dei sistemi di protezione dalla corrosione, nella valutazione del comportamento sotto carichi ciclici (fatica), dell'evoluzione dei fenomeni fessurativi per il c.a. e dei cedimenti del piano di imposta dei cassoni (tenuta dei giunti).

Più di un centinaio di tunnel stradali e ferroviari sono stati realizzati nel mondo con la tecnica degli "immersed tunnel", ma

i cassoni delle barriere mobili, che sono stati costruiti e assiemati con tale modalità costruttiva, sono comunque unici per una serie di peculiarità tecniche e funzionali.

**Cassoni di barriera**

Il sistema strutturale dei cassoni di barriera risulta assimilabile ad un complesso multicellulare composto da elementi piani di diverso spessore, lavoranti in regime di lastra-piastra. Gli spessori delle pareti e la suddivisione del volume interno, fatta eccezione per le aree impiantistiche, nascono da esigenze essenzialmente strutturali. Il cassone di soglia è caratterizzato da 4-5 orizzontamenti e da una griglia di setti verticali orditi nelle due direzioni principali con maglia di circa 5 m (spessore medio di 40 cm).

Sono previste numerose aree rinforzate per far fronte a situazioni di carico concentrate anche di particolare intensità (ad es. zona di connessione paratoie).

Le dimensioni e la complessità geometrica del manufatto sono tali da richiedere che la realizzazione della struttura avvenga per getti in opera consecutivi (da 15 a 23), con sezioni di ripresa orizzontali e verticali, protetti da adeguati sistemi di impermeabilizzazione all'acqua. La realizzazione in fase unica della soletta di fondo comporta il getto di circa 1000 mc di calcestruzzo senza soluzione di continuità, mentre i volumi dei getti successivi sono mediamente inferiori, tra i 100 e i 450 mc.

Nel corso della realizzazione dei getti, in particolare delle solette, sono stati inghisati numerosi elementi metallici, alcuni dei quali di dimensioni notevoli, per consentire:

- La temporanea trasformazione del cassone in un natante tramite la chiusura in testata dei tunnel con tamponi metallici, il fissaggio di torrini metallici di accesso e collimazione, nonché di bitte e altri punti di aggancio sempre sul tetto del cassone.
- La costruzione della barriera tramite la tecnica "immersed tunnel": livellamento del cassone dopo l'affondamento in trincea tramite perni di livellamento, allineamento e accosto di ciascun cassone rispetto a quello precedentemente posato tramite attrezzature di allineamento e tiro, schiacciamento del giunto Gina installato su telai metallici di grande precisione.
- Connessione delle paratoie alle relative strutture di alloggiamento,

tramite un componente metallico a struttura scatolare (elemento femmina del connettore), inghisato e ancorato tramite 10 barre post-tese di grande diametro sulla soletta predisposta allo scopo.

La realizzazione dei cassoni prefabbricati delle 4 barriere ha contemplato l'utilizzo di circa 220.000 m<sup>3</sup> di calcestruzzo, con un tasso di armatura medio di circa 300 kg/mc, ma con punte di anche 500 kg/mc in zone particolarmente sollecitate. Circa il 15-20% di questa armatura è in acciaio inossidabile AISI316L, disposta essenzialmente nelle membrature in cui sia acqua che ossigeno potranno penetrare all'interno del copriferro.

Per migliorare la resistenza del calcestruzzo nei confronti della penetrazione dei cloruri, la porosità del calcestruzzo è stata minimizzata controllando tramite un adeguato mix design:

- la permeabilità della microstruttura del calcestruzzo
- il calore di idratazione della miscela
- la tendenza a fessurare della miscela

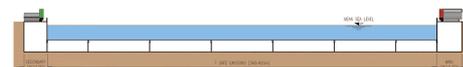
I fenomeni fessurativi da imputare agli stati coattivi generati dalle azioni permanenti (peso proprio), dal comportamento reologico del calcestruzzo, dalla successione delle fasi di costruzione, dal calore generato dalla reazione di idratazione e da eventuali altre deformazioni impresse sono stati indagati tramite un modello agli elementi finiti dell'intero cassone (codice non lineare DIANA 9.2). Per la caratterizzazione dei materiali sono stati utilizzati i dati ottenuti da una serie di prove di laboratorio eseguite su campioni di calcestruzzo di varie miscele.

I fenomeni che sono stati modellati sono di seguito elencati:

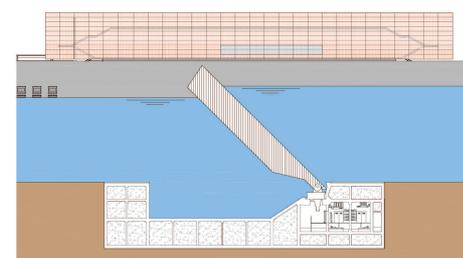
1. sviluppo di calore legato all'idratazione della pasta cementizia, sua diffusione all'interno delle strutture e dispersione dello stesso verso l'ambiente circostante: sviluppo di una analisi di flusso termico lineare in regime transitorio;
2. stati di coazione non congruenti dovuti al combinarsi dei fenomeni reologici (ritiro e fluage) e delle deformazioni termiche di idratazione;
3. comportamento non lineare del calcestruzzo con possibilità di fessurazione di tipo diffuso ("smeared");
4. variazione delle proprietà meccaniche (resistenza a compressione e a trazione, modulo elastico) dell'impasto

cementizio durante il processo di maturazione.

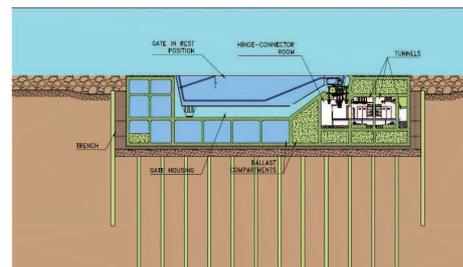
In ogni cantiere sono stati eseguiti anche dei getti prova (mock-up), rappresentativi di una porzione significativa della struttura cellulare, oggetto di indagini sia distruttive che non distruttive. ■



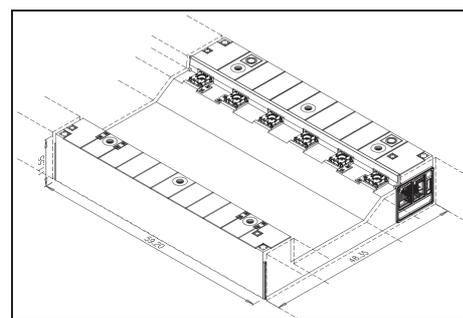
Sezione longitudinale tipica di barriera



Sezione trasversale con paratoia sollevata

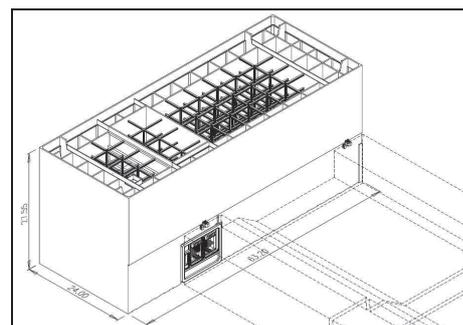


Sezione trasversale con paratoia a riposo



Vista 3D del cassone di soglia

Vista 3D del cassone di spalla



**Ubicazione:**

Bocche di porto della laguna di Venezia

**Committente:**

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Magistrato alle Acque di Venezia

**Concessionario**

per la realizzazione degli interventi per la salvaguardia di Venezia e della laguna di competenza dello Stato, in attuazione della legge 798/84:

Consorzio Venezia Nuova

**Imprese affidatarie per:**

Prefabbricazione dei cassoni di barriera di Lido Treporti:

ing. E. Mantovani spa

Prefabbricazione dei cassoni di barriera di Lido S. Nicolò e Malamocco:

Grandi Lavori Fincosit spa

Prefabbricazione dei cassoni di barriera di Chioggia:

Società italiana Condotte d'acqua spa

**Progettista:** Technital spa**Data di ultimazione:**

la prefabbricazione dei cassoni di barriera si è conclusa tra il 2012 e il 2014



Treporti: armatura platea con acciaio inox



Cantiere di Malamocco

Chioggia: preparazione armature cassone di soglia



Tura di prefabbricazione di Lido Treporti



Dettaglio del giunto di testata



Area di prefabbricazione di Malamocco



Tura di prefabbricazione di Chioggia

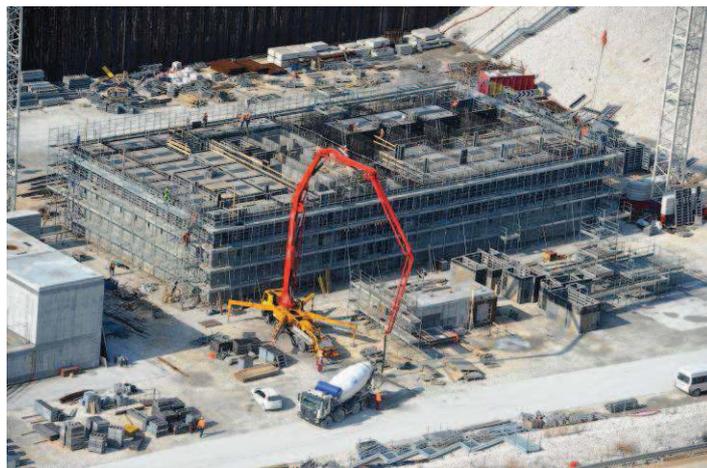


Allagamento della tura di Treporti (cassoni di barriera completati)

Costruzione dei cassoni



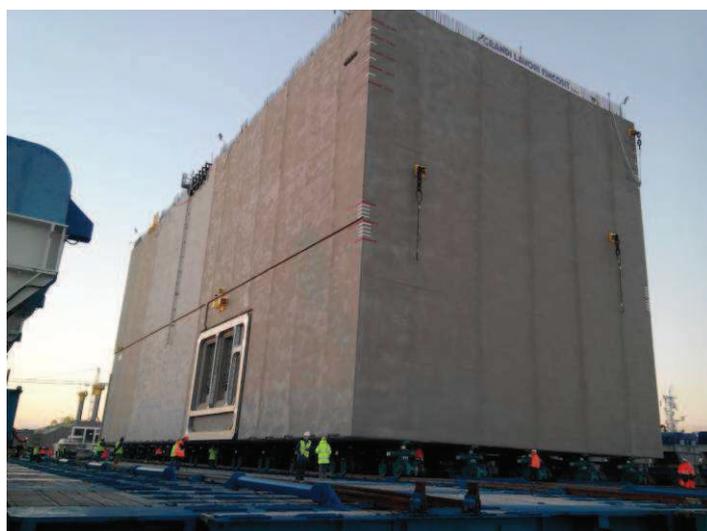
Cassone di soglia in costruzione a Malamocco



Lido Treporti: costruzione cassone di spalla



Chioggia



Trasporto del cassone di spalla S\_Nicolò

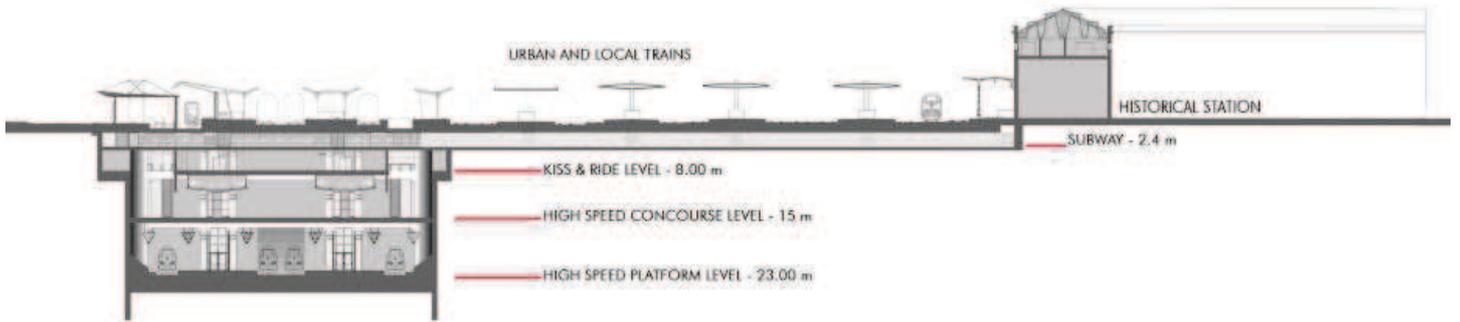
Cassoni di soglia in costruzione a Chioggia



Serie di cassoni di soglia in costruzione a Malamocco



# NUOVA STAZIONE PER L'ALTA VELOCITA' DI BOLOGNA



## 1. INTRODUZIONE

La stazione Alta Velocità di Bologna è una grande e innovativa opera infrastrutturale inserita in un ampio progetto di riconfigurazione del nodo ferroviario cittadino. Sotto l'aspetto "funzionale" la nuova opera è il fulcro di un sistema di interscambio fra il traffico passeggeri "ordinario" che si sviluppa sulle linee "storiche" in superficie e il nuovo servizio ad Alta Velocità che si espleta per il tramite del passante sotterraneo. Questa esigenza funzionale ha portato a concepire un'opera "innovativa", con imponenti strutture di contenimento realizzate sino ad una profondità di 25 metri dal piano campagna che si sviluppa al di sotto degli originari binari 12, 13, 14 e 15 della storica stazione Centrale (provvisoriamente rimossi per consentire la realizzazione della stazione AV). Il nuovo "hub" ferroviario, costituito dalla stazione storica e dalla nuova stazione AV, garantisce l'integrazione con tutti i sistemi di trasporto pubblico convergenti nel nodo, sia presenti che futuri. Nell'ambito del progetto della stazione, la realizzazione di un nuovo sottopasso viaggianti assieme al prolungamento e all'adeguamento dimensionale dei

sottopassi pedonali esistenti, ha consentito di potenziare gli accessi all'hub ferroviario sia da piazza delle Medaglie d'Oro che da via de' Carracci, incrementando la "continuità" tra il centro storico ed il quartiere Bolognina.

L'opera è stata commissionata da Rete Ferroviaria Italiana R.F.I. (Gruppo F.S. Italiane), progettata da Italferr (Società di ingegneria dello stesso Gruppo F.S. Italiane) e realizzata dall'impresa Astaldi; sempre Italferr ha svolto anche la Direzione Lavori e il Coordinamento della Sicurezza.

L'opera è costituita da un camerone interrato, la nuova stazione AV, ed è stata realizzata mediante uno scavo a cielo aperto tra i più grandi mai realizzati in Europa in ambito urbano, caratterizzato da strutture di sostegno del terreno scavato di tipo "innovativo" realizzate da volte con generatrici verticali e direttrice poligonale iscritta in un arco di cerchio, agenti su contrafforti verticali con sezione a T, equilibrati da un sistema di puntoni trasversali. Il camerone (640m di lunghezza, 41m di larghezza e 23m di profondità) si sviluppa su quattro livelli collegati da un sistema di scale mobili, scale fisse e ascensori, così organizzati:

- il piano AV (-23m), costituito da 4 binari – denominati 16, 17, 18 e 19 – dedicati ai treni veloci e 2 banchine specializzate per i servizi Nord-Sud (direzione Roma/Napoli) e Est/Ovest (direzione Milano/Torino e Verona/Bolzano);
- il piano intermedio hall AV (-15m), destinato ai servizi ferroviari (biglietterie self service, desk informativi, servizi igienici) e commerciali di ristoro per i viaggiatori;
- il piano Kiss&Ride (-7m), una strada sotterranea che attraversa la stazione in senso longitudinale, utilizzata come sosta breve, da taxi, auto private, mezzi di servizio e mezzi di soccorso per carico e scarico persone. Questa strada è interconnessa alla viabilità circostante tramite l'ingresso da via Fioravanti, l'uscita per i taxi su via de' Carracci e l'uscita su via Serlio. La sosta lunga è garantita grazie al collegamento con il parcheggio interrato dei Salesiani (488 posti disponibili, entrata su via Matteotti e su via Serlio) e tramite l'accesso alle aree parcheggio (circa 300 posti) dei due mezzanini sottostanti;

Figura 1- Inquadramento generale

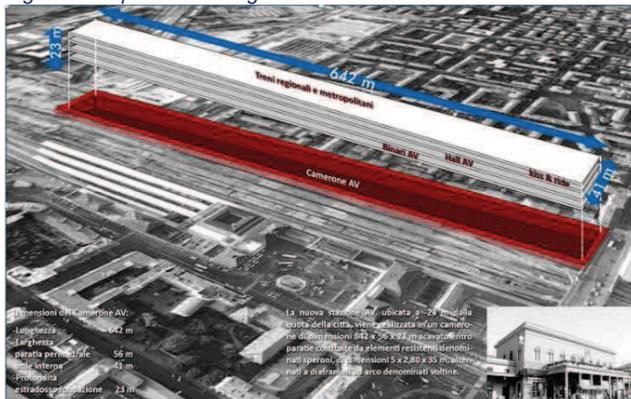
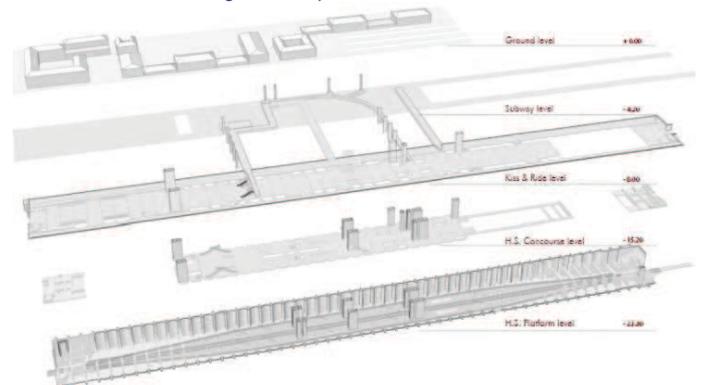


Figura 2 - Spaccato assonometrico dei diversi livelli



- il piano FS (0.0m), che accoglie i binari 12, 13, 14 destinati al traffico "ordinario".

Nel concludere questa breve introduzione è opportuno evidenziare che la stazione di Bologna AV è la prima al mondo ad utilizzare il sistema ERTMS (European Railways Traffic Management System) di livello 2 (senza segnali luminosi laterali) già operativo sulle altre linee AV. Standard tecnologico concepito e realizzato per la prima volta in Italia e divenuto standard europeo.

## 2. PROGETTO

L'ambiente urbano della stazione "storica" fortemente antropizzato, è caratterizzato da un spiccato rilievo architettonico, con innegabili valenze storiche e culturali e, al contempo è uno snodo fondamentale della mobilità cittadina, regionale e nazionale. Per questa molteplicità di ragioni sin dalle prime fasi progettuali si è svolta un'analisi approfondita di molteplici fattori storico architettonici, urbanistici e trasportistici. Gli obiettivi principali sono stati: garantire la contemporaneità tra le lavorazioni del cantiere e l'esercizio della stazione storica, mantenendo la viabilità locale limitando le interferenze con la viabilità a servizio dei lavori; salvaguardare gli edifici e le preesistenze limitrofe lo scavo, tutelare tutte componenti ambientali quali il sistema idrico sotterraneo, il clima acustico, le vibrazioni e le polveri.

L'analisi di tali necessità, unitamente alle notevoli dimensioni dello scavo, ha richiesto l'utilizzo di soluzioni "ad hoc" sia nella concezione architettonica dell'opera sia nella progettazione delle opere di sostegno dello scavo che nelle modalità di esecuzione dello stesso, richiedendo una progettazione integrata dei diversi interventi. A tal riguardo sono state adottate soluzioni tecniche e lavorazioni innovative come meglio si dirà nel seguito. Al fine di garantire la massima sicurezza per gli edifici prospicienti lo scavo, tutte le fasi di lavorazione si sono svolte sotto ampio e continuo monitoraggio delle preesistenze e del piazzale ferroviario. Per la gestione della molteplice strumentazione, il sistema di monitoraggio è stato implementato su di una piattaforma web interattiva, così da poter consultare da remoto e in qualsiasi momento le diverse strumentazioni in campo, ottenendo i dati in tempo reale.

### 2.1. Il concept architettonico

Il concept architettonico mira all'interazione tra la stazione interrata ed il contesto circostante, tramite l'utilizzo di lame di luce che, penetrando all'interno

della stazione, conferiscono una permeabilità visiva e sensoriale. Per tale finalità l'illuminazione della stazione è concepita tramite delle bucatore, allineate su tutti i solai, che consentono la propagazione della luce del sole tramite l'utilizzo di superfici vetrate.

Il lungo più rappresentativo è al livello delle banchine AV (-23m) all'interno di un volume denominato "la cattedrale". Sviluppandosi per circa 100m di lunghezza la cattedrale ospita un'ampia apertura spaziale, caratterizzata dall'assenza del solaio intermedio, e permeata dalla luce del sole tramite le bucatore orizzontali, posizionate sul solaio del livello sovrastante. Questa soluzione architettonica offre ai passeggeri dell'alta velocità che percorrono le banchine a -23 m, la sensazione dello spazio verso l'alto enfatizzato dalla presenza di due passerelle aeree panoramiche (circa 100 m), che collegano i parcheggi alla hall interrata, e dal duplice filone di colonne in cls prefabbricato bianco che lo attraversano. Dal piano sovrastante le banchine, il piano Vestibolo AV, una vetrata a tutta altezza consente l'affaccio sui binari e la diffusione della luce della cattedrale all'interno del piano.

Un ruolo fondamentale per consentire alla luce di giungere fino a quota -23m, è giocato dalle finiture degli ambienti. Difatti la soluzione strutturale della parte interrata, basata sul concetto della volta applicato alla spinta delle terre, consente di avere ampi campi di paratia (voltine) liberi da elementi di contrasto che consentono di sfruttare tali vuoti come elementi architettonici atti a proiettare la luce del sole fino ai binari creando un suggestivo effetto di verticalità. La stessa soluzione progettuale è adottata anche agli altri piani della Stazione illuminati lateralmente da veri e propri pozzi di luce che ospitano le scale mobili.

In tal modo la nuova stazione AV offre al viaggiatore un servizio adeguato all'importanza del nodo ferroviario di Bologna e alla città uno spazio poliedrico, una piazza coperta attrezzata con spazi commerciali, per la cultura e per il terziario, dove incontrare gente, fare shopping, vedere uno spettacolo e salire a bordo dei treni.

L'architettura degli interni ha richiesto uno studio approfondito dei materiali finali posti in opera: le lastre ceramiche di grandi dimensioni per il rivestimento delle voltine e degli speroni, di colore grigio, che assicurano al contempo una finitura liscia e pulita e il rispetto del carattere massivo delle strutture, il glass-fibre reinforced concrete per il rivestimento

prefabbricato delle grandi colonne, il vetro, trasparente o bianco, unito all'acciaio per creare gli spazi, riflettere la luce e collegare la stazione interrata con l'esterno, il porfido rosso in lastre levigate per le pavimentazioni.

Per la realizzazione di Bologna Centrale AV, sono state impiegate finiture realizzate con materiali caratterizzati da alti valori di resistenza meccanica e chimica, stabilità e durezza, tali da richiedere in futuro ridotte attività di manutenzione.

Le pareti interne sono in gran parte in vetro con caratteristiche di elevata resistenza al fuoco per aumentare il comfort ambientale, la diffusione della luce naturale e la luminosità. Inoltre, l'illuminazione, realizzata con tecnologia LED a lunga durata, permette di diminuire i consumi energetici del 50% circa, contribuendo a contenere l'inquinamento atmosferico e un sensibile abbattimento dei costi di manutenzione.



Figura 3 - La "Cattedrale"

### 2.2. Il concept strutturale

La struttura portante del camerone interrato è particolarmente innovativa: si basa sul concetto della volta applicato alle strutture di contenimento della spinta delle terre e consente di avere ampi campi di paratia "le voltine" libere da elementi di contrasto sia orizzontale sia verticale. Le voltine scaricano le loro spinte su importanti contrafforti: gli speroni, elementi strutturali "composti" in calcestruzzo armato e acciaio da carpenteria avente

sezione a T, reciprocamente affacciati sul lato lungo della stazione ed interessati di 12m. Le voltine, realizzate con setti di paratia, presentano delle armature "passanti" tra tutti i pannelli e sono connesse agli speroni anche in modo meccanico per il tramite barre di connessione introdotte subito a valle dello scavo. Per garantire una sufficiente resistenza e rigidità del sistema di contenimento delle terre, sono stati previsti dei puntoni metallici che trasferiscono le spinte da uno sperone all'altro. Questi puntoni metallici, inseriti in fase di scavo e connessi in modo rigido agli speroni per il tramite di un apposito sistema di collegamento, costituiscono nello schema statico finale gli elementi orizzontali dei telai trasversali che sostengono i solai di piano intermedi e la strutture di copertura. I telai trasversali, caratterizzati da una molteplicità di

tipologie diverse in funzione delle particolarità geometriche, funzionali e impiantistiche del complesso sistema infrastrutturale, sono stati realizzati inserendo delle colonne metalliche a partire dal solettone di base, collegandole ai puntoni per realizzare, appunto, i telai trasversali. Dette colonne, metalliche, sono state completate con l'introduzione di pioli Nelson sulle superfici interne, l'armatura di pelle e il getto di calcestruzzo di completamento; il tutto per ottenere un profilo composto. Per velocizzare l'operazione di completamento delle colonne, garantire una finitura di pregio architettonico e, al contempo, fornire una notevole resistenza al fuoco, quali cassaforme sono stati utilizzati dei gusci cilindrici di colore bianco realizzati in Glass Fiber Reinforced Concrete (GFRP). Tutte le parti metalliche dei puntoni, non inglobate nel calcestruzzo, sono state

rivestite con pannelli in calciosilicato per garantire la prevista resistenza al fuoco delle strutture. I solai intermedi e di copertura (quest'ultimo è per larga parte un ponte ferroviario) sono stati concepiti come travi continue in c.a. della lunghezza 60m (5 campi di voltina) con vincoli fissi orizzontali nel solo campo centrale. Entrambe le testate della stazione sono state realizzate con la tecnica del top-down: le strutture di piano sono state realizzate in fase di scavo, appoggiandole su sostegni verticali provvisori, e le colonne/setti sono state realizzate "in risalita". Ciò, ha consentito di conferire alle strutture di sostegno delle testate una idonea rigidità e una sufficiente resistenza per controbilanciare le spinte della terra afferenti le testate a partire dalla fase di scavo.

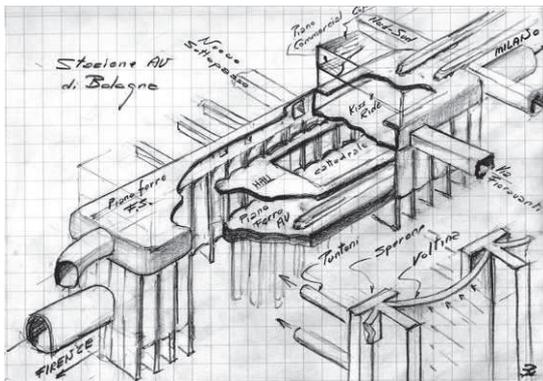


Figura 4 - Uno schema delle principali strutture

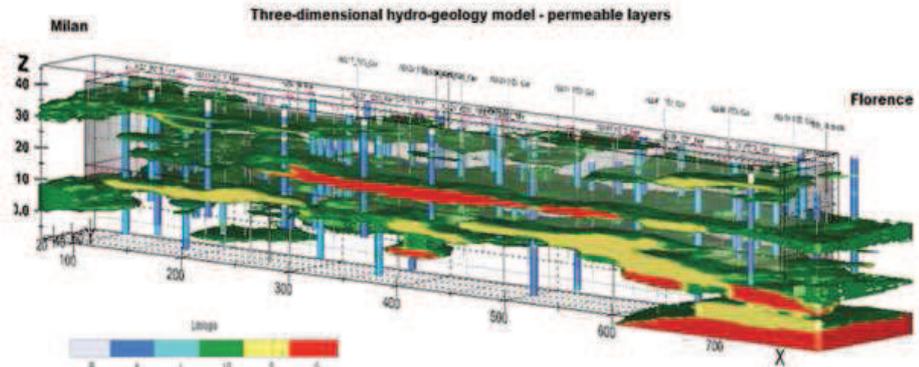


Figura 5 - Il modello idrogeologico

### 2.3. La geotecnica e l'idrogeologia

I terreni del sottosuolo bolognese sono di origine alluvionale fino a profondità di alcune centinaia di metri da p.c.; la stratigrafia vede la presenza di lenti di composizione granulometrica variabile da argille limose a sabbie con ghiaia. Nella zona della stazione prevalgono i materiali argilloso-limosi; i corpi a granulometria più grossolana, di forma lenticolare (tra cui un paleovalve che attraversa longitudinalmente l'area del camerone, con quote via via decrescenti da lato Firenze a lato Milano), sono costituiti principalmente da sabbie, sabbie limose e sabbie con ghiaia.

Dal punto di vista idrogeologico sono state identificate tre falde: una freatica superficiale con letto a circa 8,00-9,00m da p.c., una intermedia in movimento dall'area stazione verso la strada Via de' Carracci (verso il fiume Reno) tra 15,00 e 24,00m da p.c. ed una terza più profonda e non intercettata dalle opere.

Al fine di garantire la continuità idraulica del deflusso monte-valle delle prime due

falde sopra citate, sono stati adottati specifici sistemi di by-pass atti a mantenere il livello piezometrico della falda evitando l'insorgere di fenomeni effetto diga con possibili conseguenti ripercussioni negative sulle strutture degli edifici adiacenti alla stazione da un lato e al preesistente impianto ferroviario dall'altro.

## 3. LE COMPONENTI DELL'OPERA

### 3.1. Il camerone

L'impianto strutturale del camerone è costituito da: opere perimetrali di sostegno degli scavi (paratie-voltine, speroni e diaframmi puntone), opere di fondazione (tampone di fondo in jet-grouting, pali e micropali di fondazione per bilanciare le spinte idrauliche "sottopressioni") e strutture in elevazione (telai metallici e solai in c.a.).

La struttura della stazione è organizzata in modo modulare su 6 assi di progetto longitudinali (allineamenti da A ad F) e su 54 assi di progetto o sezioni trasversali

(allineamenti da 0 a 53), posti ad un interasse di 12,00m.

Le pareti laterali del camerone sono costituite da diaframmi perimetrali in c.a. in gran parte curvilinei (voltine) connesse a speroni posti ad interasse di 12,00m; questi ultimi sostengono sia la spinta che ricevono direttamente dal terreno sia quella trasferita dalle voltine.

In corrispondenza delle estremità del camerone "Testate" le paratie di testata sono state realizzate con superfici piane; tale scelta è dovuta all'esigenza di realizzare strutture "scatolari" rigide cui affidare la resistenza alle azioni orizzontali statiche e sismiche trasferendo le azioni orizzontali alle paratie laterali per il tramite di diaframmi di piano in cemento armato realizzate con la tecnica del top down.

La planarità delle paratie di testata ha anche facilitato la realizzazione delle opere di "sbocco" delle gallerie ferroviarie del passante A.V.. Il collegamento con le gallerie ha richiesto il taglio delle paratie di testata in corrispondenza del perimetro della sezione delle gallerie; tale

operazione è stata effettuata dall'interno della stazione dopo aver realizzato il solettone di fondo e previa realizzazione di una parete "fodera" interna che collegasse tutti i pannelli di paratia di testata.

Considerata la presenza di edifici e dei binari in esercizio a tergo delle paratie perimetrali, è stata realizzata una "cinturazione" protettiva degli scavi dei diaframmi mediante consolidamento del terreno (Cutting Soil Mixing - CSM) per evitare rischi di instabilità del cavo in corrispondenza delle intercalazioni di sabbie e ghiaie sulle pareti di scavo dei pannelli di paratia (con connesse eventuali subsidenze a tergo in fase di scavo e/o interruzioni strutturali dei pannelli in fase di getto).

La realizzazione delle opere è stata avviata con l'esecuzione delle attività propedeutiche (rimozione del sedime ferroviario FS – binari da 12 a 15), si è proseguito poi con la realizzazione della paratia perimetrale di pali  $\Phi$  800mm passo 1,00m (denominata paratia di "primo salto") che ha consentito di effettuare lo scavo dei primi metri di terreno portando il piano di lavoro al disotto dello strato di interesse archeologico, a quota -7,00m da p.c. Tenendo conto dei sovraccarichi stradali lato Carracci, e ferroviari lato FS presenti a tergo della paratia di pali, si sono resi necessari fino a quattro ordini di tiranti provvisori disposti a passo variabile da 1,00 m a 2,00 m.; dopo aver realizzato le strutture interne del camerone tali tiranti sono stati detensionati per non lasciare vincoli definitivi al disotto delle proprietà limitrofe alla stazione.

L'impostazione del piano di lavoro principale a -7,00m dal piano viario di Via Carracci ha permesso, da un lato, di proteggere meglio gli edifici lungo via Carracci da rumore, vibrazioni e polveri, e, dall'altro, di poter operare con un maggior grado di sicurezza le manovre per la movimentazione degli elementi strutturali prefabbricati di notevoli dimensioni, come le gabbie di armatura degli speroni, le travi

puntone e le colonne.

Da questa quota, inoltre, sono state realizzate anche le opere di fondazione della stazione (micropali armati  $\Phi$  250 mm L=15,00m in numero di 104 per allineamento, pali  $\Phi$  1000 mm L=17,00m in numero di 42 per allineamento nelle sole zone di testata – allineamenti 0-4 e 50-53 – e nella zona denominata Torre – allineamenti 22-25), differenziate in funzione delle aree, delle esigenze strutturali in corso d'opera e delle distribuzioni dei carichi connesse alla futura possibilità di espansione del progetto.

L'intera struttura del camerone è stata irrigidita e per il tramite della realizzazione di due travi continue longitudinali poste a coronamento dei puntoni e delle voltine e in scatolare e monolitica con profilo a C, utilizzata in corso d'opera come pista di cantiere per il transito dei mezzi da cui effettuare le operazioni di getto dei conglomerati cementizi, a mezzo di autopompe, e le attività di movimentazione dei materiali, a mezzo di autogrù, ed in fase di esercizio della stazione destinata ad ospitare al suo interno gli impianti.

La stessa struttura definitiva della stazione è organizzata secondo telai portanti principali in carpenteria metallica disposti lungo gli allineamenti quindi trasversalmente all'asse maggiore - in corrispondenza degli speroni. Le singole componenti strutturali verranno meglio descritti nei paragrafi che seguono.

### 3.2. Gli speroni

Lo sperone è l'elemento resistente principale della paratia perimetrale di stazione che assolve alla funzione di sopportare tutta la spinta che il terreno scarica direttamente, sommata a quella trasferita dalle voltine. Operativamente, sono state dapprima assemblate le due semi gabbie (sia gli elementi in carpenteria che di armatura lenta) nelle aree di cantiere appositamente attrezzate in prossimità dello scavo, successivamente, dette gabbie sono state

trasportate con appositi carri all'interno del camerone in prossimità della posizione definitiva e sono state inserite nell'apposito cavo per il tramite di una gru a portale in sequenza, calandole in posizione definitiva dopo aver collegato il giunto bullonato e completato l'allestimento dell'armatura lenta nella zona a cavallo del giunto. Infine, si è eseguito il getto di calcestruzzo all'interno del cavo ed in presenza di fanghi bentonitici, garantendo la totale continuità di getto di calcestruzzo di circa 300 mc.

Considerando la forma particolare dello sperone, l'ampiezza del cavo (circa 300 mc), il lungo tempo che doveva restare aperto e la sensibilità del contesto circostante, per garantire maggiormente la stabilità del cavo sono stati migliorate le caratteristiche del terreno al contorno realizzando pannelli di CSM.

Le operazioni di inserimento delle gabbie di armatura degli speroni, come anche le successive operazioni di getto, sono state eseguite con procedure atte a garantire una estrema precisione della posizione dell'elemento strutturale. A tal riguardo, sono state appositamente progettate e costruite particolari attrezzature ausiliarie provvisorie.

Le gabbie di armature pre-assemblate contenevano, infatti, tutte le predisposizioni (boccole e chiavi di taglio) per il successivo collegamento delle travi puntone (a mezzo elementi perni in carpenteria metallica e di barre filettate o di precompressione in funzione degli allineamenti e dei piani di stazione interessati). La presenza di tali elementi di accoppiamento unitamente alla necessità di garantire l'allineamento dei due speroni prospicienti appartenenti alle due paratie perimetrali collegati da diversi ordini di puntoni per realizzare i futuri telai trasversali, ha imposto una notevole precisione nel posizionamento degli speroni con tolleranze molto ristrette (+/- 6mm) non usuale per strutture realizzate entro terra.

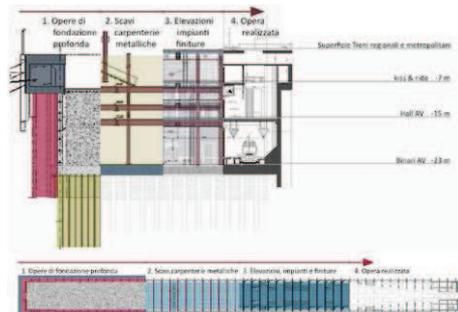


Figura 6 – Organizzazione strutturale e sequenza delle fasi costruttive

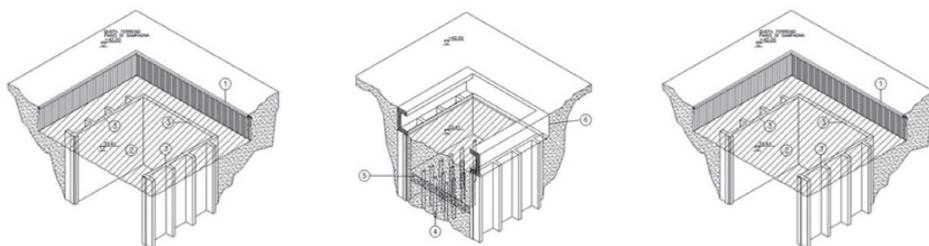


Figura 7 - Paratie di testata e successione delle fasi realizzative con la tecnica del top-down per garantire un sufficiente livello di contrasto della spinta del terreno agente in testata

Per garantire un idoneo comportamento strutturale dello sperone sia in termini di resistenza che di rigidità, non potendo incrementare la lunghezza complessiva dello stesso per vincoli di carattere ambientale, si è reso necessario prevedere un vincolo al piede da materializzare prima dell'ultima fase di approfondimento dello scavo.

A tal fine, sono stati realizzati i "diaframmi puntone" elementi strutturali con funzione di contrasto reciproco tra gli speroni contrapposti distanti tra loro 41 m.

Tali elementi in c.a. sono costituiti da una successione continua di pannelli di paratia 2,80 x 1,50 m realizzati dallo stesso piano di lavoro delle altre opere di fondazione.

I pannelli di paratia hanno il piede alla stessa quota del piede dello sperone e la sommità alla quota di fondo scavo ed collegato con le armature al solettone di fondo in moda da rappresentare un contrasto alla sottospinta.

Da un punto di vista strutturale, per questo elemento sono state dapprima condotte le verifiche alla stabilità laterale dell'intero setto, con analisi lineare statica, buckling e analisi non lineare statica (considerando non linearità di tipo geometrico), assumendo una tolleranza sulla perpendicolarità della direzione di scavo di ciascun pannello pari allo 0,5% e precauzionalmente assunto un errore di posizionamento iniziale di 10 cm, con una eccentricità max tra due pannelli contigui pari a 28cm.

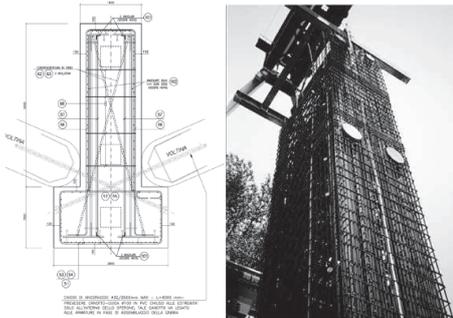


Figura 8 – Lo sperone

### 3.3. Le voltine e la trave di coronamento

Come accennato anche in precedenza, la paratia perimetrale dello scavo di stazione è completata con una successione di voltine connesse agli speroni. Ciascuna di esse è costituita da 6 pannelli di paratia in calcestruzzo armato delle dimensioni 120 x 280cm x h 23m ed è stata eseguita in due fasi: successive, realizzando due semi-voltine di altezza pari all'altezza complessiva e con un giunto in corrispondenza della mezzera (chiave) della voltina.

La singolarità di questi elementi sotto il

profilo strutturale e realizzativo è rappresentata dalla circostanza che le due semi-voltine, pur essendo realizzate all'interno del terreno come le comuni opere di fondazione profonda, sono state realizzate con le armature "passanti" nel giunto di collegamento posto in chiave.

Per realizzare questo collegamento, dopo aver realizzato pannelli di CSM al contorno del cavo di forma particolare e dimensioni notevoli (circa 200 mc), si è proceduto, dapprima, realizzando la prima semi-voltina con lo scavo di due diaframmi primari ed uno secondario ed inserendo la gabbia di armatura e effettuando il getto di calcestruzzo; successivamente, si è proseguito con la realizzazione dell'altra semi-voltina secondo lo stesso procedimento. Per la realizzazione del giunto in chiave della voltina è stato predisposto nella prima semi-voltina un tubo in PVC pesante ( $\Phi$  900mm) attaccato alla gabbia di armatura, riempito con ghiaia prima del getto della semi-voltina; successivamente, durante lo scavo del pannello di chiave della seconda semi-voltina, il tubo è stato rotto con un apposito rostro e la ghiaia è stata rimossa insieme al materiale scavato. Lo scavo dei pannelli a contrasto con gli speroni è stato effettuato con l'ausilio di un particolare rostro, così da metterne a nudo le superfici in calcestruzzo degli speroni già realizzati su cui agisce la spinta trasmessa dal le voltine. Preliminarmente all'esecuzione della paratia, tale sistema di collegamento è stato controllato in cantiere con uno specifico campo prova che ha permesso di verificare sia la connessione in chiave tra le due semi-voltine, sia il contatto tra lo sperone e la voltina.

Anche per questi elementi sono state assunte tolleranze di verticalità piuttosto restrittive ( $\pm 0,5\%$ ), al fine di assicurare anche in profondità un contatto efficace tra gli elementi strutturali.

I materiali utilizzati sono: calcestruzzo  $R_{ck} \geq 35$  MPa e acciaio per armature Fe B44k controllato.

L'analisi strutturale della voltina è stata sviluppata con modelli bidimensionali adottando il vincolo di cerniera sui lati verticali (connessioni con gli speroni), e introducendo opportuni vincoli orizzontali in corrispondenza del solettone di fondo e, ove presenti, in corrispondenza dei solai di piano. Nella modellazione è stata simulata, altresì, la presenza del terreno al disotto del solettone di fondo e, quali azioni, si sono considerate la spinta del terreno (ipotizzata a favore di sicurezza in regime di spinta a riposo), e l'azione associata alla presenza della falda agente

da -10.0 da p.c.

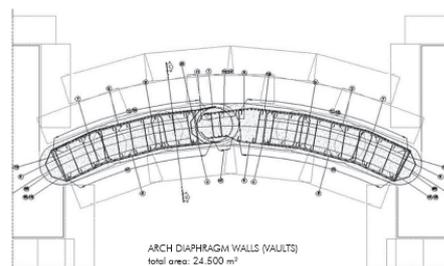


Figura 9 - La voltina

L'armatura verticale delle voltine è costituita da ferri  $\Phi$  20mm passo 200mm lungo tutta l'altezza, integrati nella zona di contatto tra il piano AV e la voltina, con un ulteriore ferro  $\Phi$  24mm passo 200mm posizionato sul lato terra. L'armatura orizzontale è costituita da ferri  $\Phi$  16mm passo 200mm, costanti su tutta l'altezza. E' inoltre presente un'armatura di collegamento delle barre longitudinali costituita da spilli  $\Phi$  10mm passo 400/400mm.

L'intera struttura del camerone è stata irrigidita e solidarizzata mediante una trave continua di coronamento longitudinale a sezione scatolare, cosiddetta "trave a C", avente dimensioni di 8.00m x 8.00m, collegata alla sommità degli speroni e delle voltine e posto a contrasto della paratia di 1° salto, per poter eliminare i tiranti provvisori di questa paratia. Questo elemento di coronamento è destinato ad ospitare internamente i sotto-servizi e gli impianti della stazione.

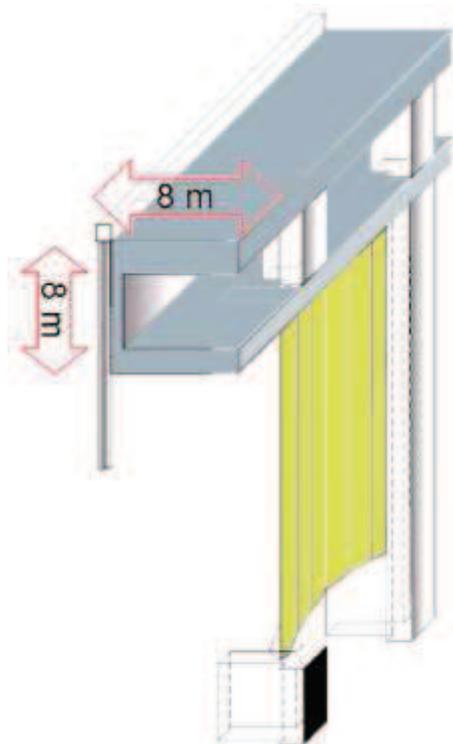


Figura 10 - La trave di coronamento a "C"

La soletta superiore di questo manufatto inoltre è stato utilizzato in corso d'opera come impalcato di transito dei mezzi d'opera.

### 3.4. Puntoni, colonne e solai

Come accennato precedentemente, per garantire l'adeguato contrasto alle strutture perimetrali di contenimento delle terre, con il procedere dell'abbassamento dello scavo sono state introdotte le travi puntone in carpenteria metallica,

immediatamente al disotto della quota dei solai di piano, individuando diversi ordini di puntoni in senso verticale. In considerazione della notevole entità delle azioni assiali applicate ai puntoni dagli speroni e la lunghezza importante degli stessi (pari alla larghezza della stazione), per garantire in fase transitoria la stabilità sul piano verticale e, al contempo, per attenuare l'effetto del peso proprio, è stato studiato un particolare tipo di vincolo verticale: i puntoni del primo ordine dall'alto sono stati sospesi alla trave di coronamento a C mediante dei tiranti inclinati attaccati all'ala superiore della C, mentre quelli degli ordini inferiori sono stati appesi ai sovrastanti.

La geometria dei puntoni è stata studiata in modo tale da garantire l'orizzontalità degli stessi in configurazione finale. I puntoni sono stati realizzati in carpenteria metallica sia per contenere i pesi propri nelle fasi transitorie che per evitare l'insorgere di stati coattivi negli speroni indotti dalle deformazioni elastiche e viscosi dei puntoni (ascrivibili al notevole carico assiale dovuto alle spinte del terreno).

I puntoni metallici sono costituiti da profili a doppio T accoppiati da appositi controventi, realizzati in tre parti assemblate in opera; la lunghezza complessiva è stata determinata tenendo conto di idonee tolleranze per compensare effetti termici, irregolarità degli speroni, necessità di movimentazione, etc. Le piastre di attacco delle travi puntone agli speroni sono state collegate mediante barre filettate e/o barre dywidag introdotte in appositi alloggiamenti predisposti nelle gabbie degli speroni e getti di malte tipo Emaco per garantire il contatto piastra/sperone recuperando le tolleranze.

Tutti gli elementi metallici non inglobati nel calcestruzzo quali, appunto, le travi puntone, sono state protette rispetto al fuoco mediante l'applicazione di un rivestimento in lastre di calciosilicato con spessori variabili da 20-35mm per garantire una classe di resistenza al fuoco R 180 per il solaio FS e R 120 per i piani interrati.

Le strutture portanti verticali della stazione sono costituite da colonne composte acciaio calcestruzzo (con profili a doppio T, opportunamente piolate e irrigidite con dei piatti di chiusura in determinati tratti), disposte secondo una maglia regolare su quasi tutta la pianta: ciascun allineamento prevede da 2 a 4 colonne che vanno da solettone di fondo al solaio FS. La scelta di adottare strutture composte per i pilastri è stata dettata sia dall'entità dei

sovraccarichi ferroviari, sia dalla necessità di resistere all'urto dei treni in caso di svio.



Figura 11 - I diversi ordini di puntoni metallici in fase di scavo



Figura 12 - Le colonne e i telai trasversali



ciascuno architettonicamente connotato per garantire l'armonia degli elementi strutturali e architettonici.

Al piano delle Banchine AV sono stati realizzati 4 elementi, a sezione trapezoidale, ciascuno per ogni binario, che corrono longitudinalmente alle banchine ospitando gli impianti di areazione, antincendio, informazione al pubblico e di illuminazione. Tali elementi sono costituiti da una struttura in acciaio rivestita in pannelli di lamiera di alluminio microforata. Al piano superiore, con lo scopo di lasciare libera dal passaggio degli impianti la zona centrale, sono stati studiati 2 elementi che si sviluppano longitudinalmente sopra la Hall AV, denominati "copponi". All'interno di ciascun controsoffitto a "coppone" sono convogliati gli impianti che possono così percorrere l'intero piano perfettamente integrati con le strutture. Questi controsoffitti hanno infatti una forma sinuosa studiata in armonia con le colonne al disopra delle quali si sviluppano. Sono costituiti da una struttura metallica ancorata al solaio e rivestita in lamiere calandrate in alluminio verniciato. Lateralmente sono inserite delle persiane funzionali alla manutenzione e all'impianto di areazione.

Dal punto di vista degli impianti tecnologici ferroviari è da evidenziare che Bologna Centrale AV è la prima stazione alta velocità al mondo ad utilizzare il sistema ERTMS (European Railways Traffic Management System) di livello 2 ( senza segnali luminosi laterali ) già operativo sulle altre linee AV. Tale sistema gestisce e controlla il distanziamento in sicurezza dei treni dal Posto Centrale di Bologna, il centro tecnologico che governa l'intero traffico AV da Milano a Firenze. Questo sistema è stato implementato per la prima volta al mondo sul network AV/AC Italiano e di lì a poco, è diventato lo standard europeo con l'implementazione nelle Specifiche Tecniche di Interoperabilità.

### 3.6. Le finiture architettoniche

Il comfort ed il carattere dell'architettura è stato assicurato con la scelta dei colori: colori chiari per fornire maggiore spazialità, contrasti cromatici per dare forma e vivacità, segnaletica come segno architettonico oltre che elemento di orientamento e guida per il viaggiatore.

La ricerca della qualità architettonica passa anche attraverso la scelta delle caratteristiche dei materiali in termini di durabilità, manutenibilità e di sicurezza d'uso. Per questa ragione è stata fondamentale l'importanza di un progetto accurato e completo che ha visto i requisiti prestazionali chiaramente definiti, e che

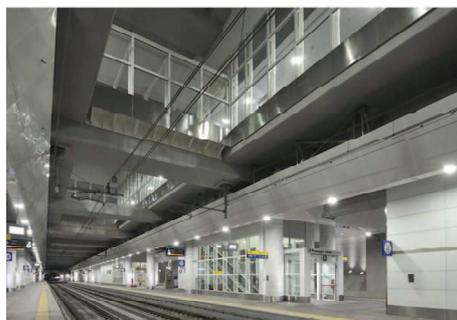
ha previsto la predisposizione di campionature complete degli elementi caratteristici accompagnata alla realizzazione di specifici prototipi per quelli più particolari.

Per le pavimentazioni sono molti i requisiti prestazionali che sono stati definiti e controllati sperimentalmente quali la resistenza allo scivolamento, il contrasto cromatico e superficiale, la resistenza meccanica in funzione del livello di traffico previsto, la durabilità e la manutenibilità.

Per le pavimentazioni in pietra, porfido rosso per i piani AV e VAV e diorite grigia per il piano Sottopassi e l'Atrio Carracci, la scelta discrezionale (qualità del colore) è stata solo uno degli elementi per la scelta ed approvazione del campione che si è basato sul raffronto tra le schede petrografiche ed i risultati delle prove di laboratorio che hanno attestato la rispondenza ai parametri richiesti e hanno consentito di valutarne l'idoneità.

Per i rivestimenti in vetro, invece, le caratteristiche prestazionali sono variate in funzione dell'uso previsto garantendo, a seconda dei casi: la sicurezza nei confronti della caduta, dell'anti infortunistica, del vandalismo, dell'effrazione.

Figura 15 – Finiture architettoniche



L'integrazione delle componenti architettoniche, strutturali ed impiantistiche sia in fase di progettazione che di costruzione, garantisce la "pulizia" del risultato con la giusta collocazione degli elementi terminali degli impianti, degli elementi di segnaletica e di arredo in piena armonia con le scelte estetiche effettuate.

### 4. CONCLUSIONI

L'articolo ha illustrato le principali caratteristiche di una importante opera infrastrutturale caratterizzata da alcune originalità nella concezione dell'impianto strutturale e da una notevole complessità esecutiva, dettata dalla ristrettezza di spazi disponibili per i lavori e dalla forte antropizzazione dell'ambito di intervento. Al di là degli aspetti specifici di ciascuna componente del progetto presentati nella memoria, è opportuno sottolineare che dall'illustrazione del progetto e dalla descrizione delle principali fasi esecutive dell'opera emerge, chiaramente, la forte interrelazione fra tutte le componenti progettuali che devono essere concepite e sviluppate in modo integrato.

Tale aspetto è valido in generale, ma è particolarmente importante per le opere caratterizzate da grande dimensioni e maggiore complessità funzionale. Sottolineare questa circostanza appare molto importante, come pure evidenziare che per possedere un approccio progettuale integrato e multidisciplinare è necessario, innanzitutto, avere la capacità di comprendere i linguaggi propri delle diverse componenti specialistiche coinvolte nella progettazione: architettura, struttura, impiantistica civile e industriale. Il "parlare" un linguaggio comune e condiviso è indispensabile per poter essere protagonisti, a pieno titolo, di un articolato processo di progettazione multidisciplinare.

#### Committente:

R.F.I. S.p.A. (Gruppo Ferrovie dello Stato Italiano)

#### Progetto e Direzione dei Lavori:

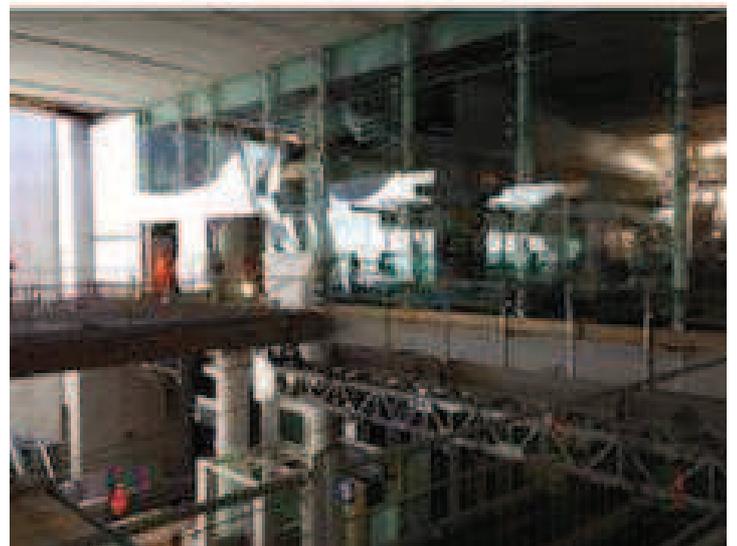
Italferr S.p.A. (Gruppo Ferrovie dello Stato Italiano)

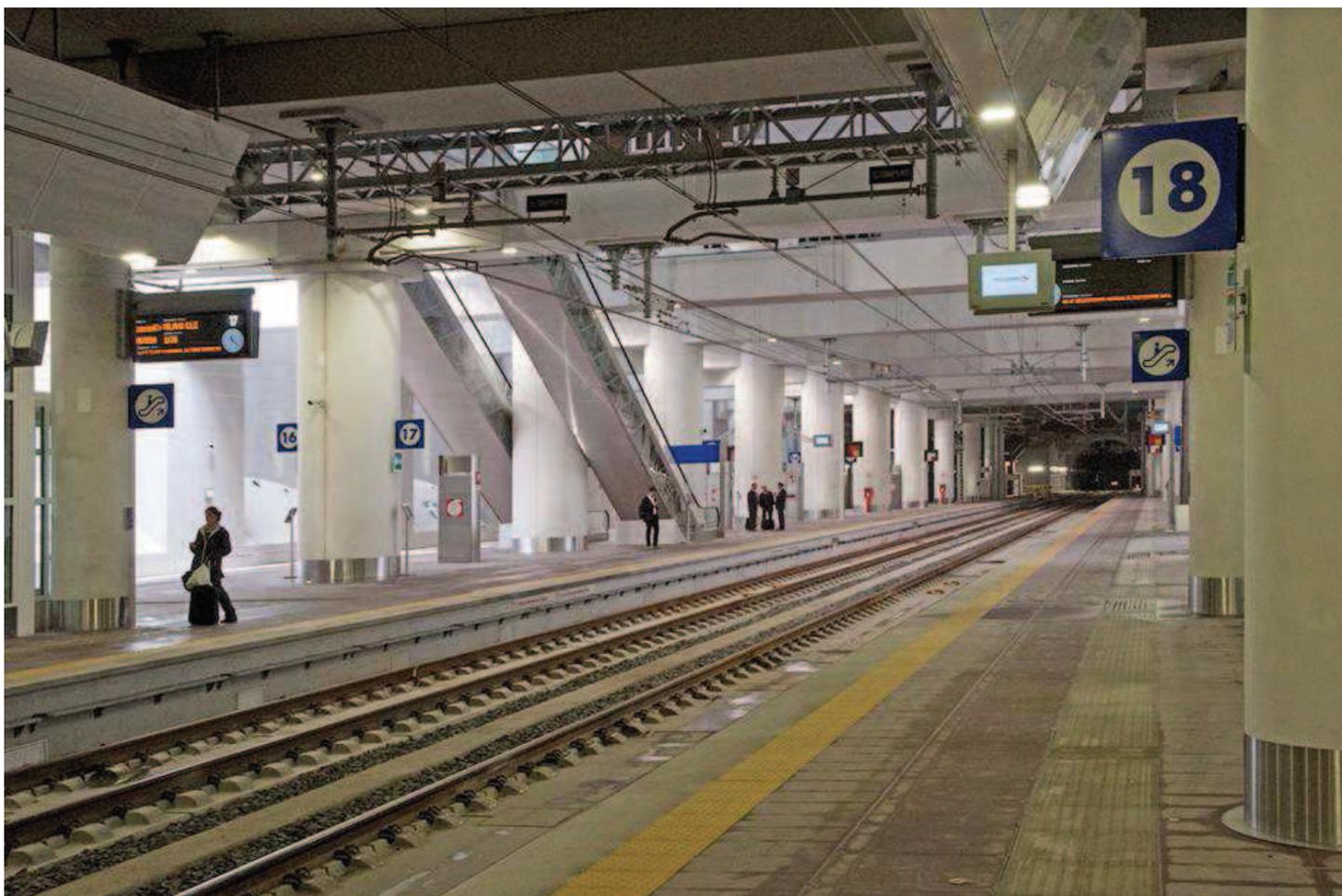
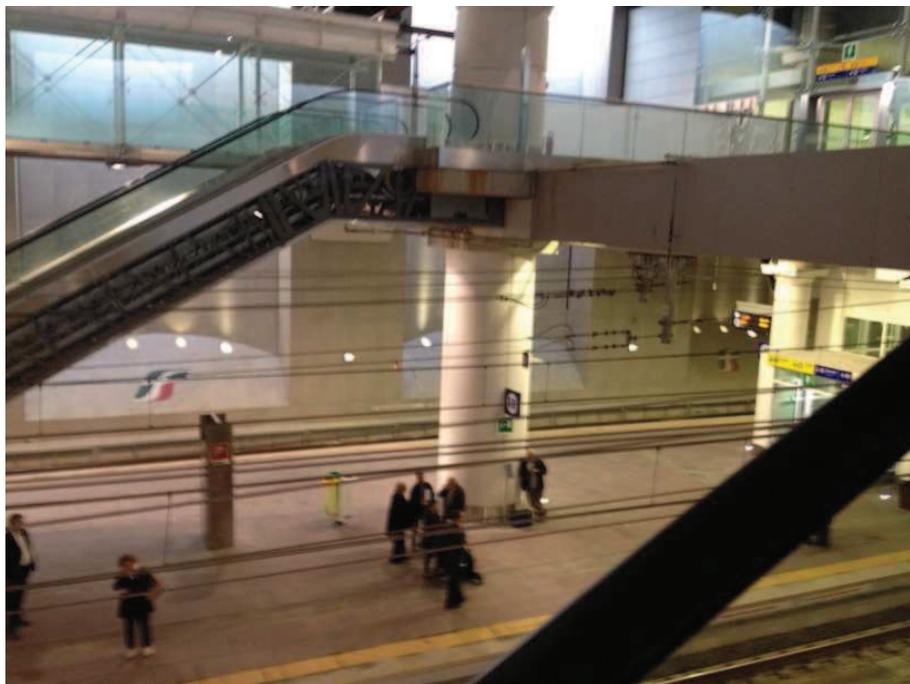
#### General Contractor:

Astaldi S.p.A.

#### Data di ultimazione:

Giugno 2013





## VIADOTTO SERRA CAZZOLA 1 SULLA SS 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"



### 1. INTRODUZIONE

La nuova SS 640 attraversa un'area molto sensibile dal punto di vista ambientale, per la presenza di territori agricoli di notevole interesse e di altri pregi di tipo paesaggistico, che ha richiesto un'attenzione particolare nella progettazione dell'infrastruttura al fine di garantirne le migliori condizioni di integrazione e di inserimento nel territorio e nell'ambiente. La qualità architettonica delle principali opere d'arte in relazione all'ambiente, unitamente alla scelta dei più opportuni interventi di mitigazione e/o compensazione degli impatti ambientali, hanno costituito l'obiettivo fondamentale del progetto.

Il viadotto Serra Cazzola 1, ubicato tra le progressive km 19+272 e 20+252, è l'opera principale del tratto stradale in provincia di Agrigento.

L'interesse ambientale della vallata attraversata, la lunghezza complessiva del viadotto (980 m) e l'altezza massima da fondovalle (circa 70 m) sono elementi che hanno richiesto una particolare cura, sia nella definizione della tipologia strutturale, sia nella scelta delle tecniche costruttive. L'altezza delle pile, in particolare, ha

imposto la ricerca di una soluzione a grandi luci con un unico impalcato contenente le due carreggiate stradali, al fine di conferire all'opera carattere di unitarietà e leggerezza.

Le campate hanno una scansione a luci crescenti con l'altezza da fondovalle (da 55 m a 120 m), in modo da conseguire maggiore trasparenza e favorire un corretto inserimento dell'opera nel contesto ambientale. Le dimensioni delle singole campate sono invece condizionate dalla tecnica costruttiva utilizzata.

Parallelamente ai suddetti elementi di carattere generale, particolare attenzione è stata dedicata allo studio formale delle pile ed alla loro armonizzazione con l'impalcato soprastante al fine di pervenire ad una soluzione architettonicamente gradevole.

### 2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

#### 2.1 Impalcato

Il viadotto presenta 12 campate di luci 55 m, 70 m, 3x90 m, 120 m, 3x90 m, 2x70 m e 55 m, per uno sviluppo complessivo di 980 m.

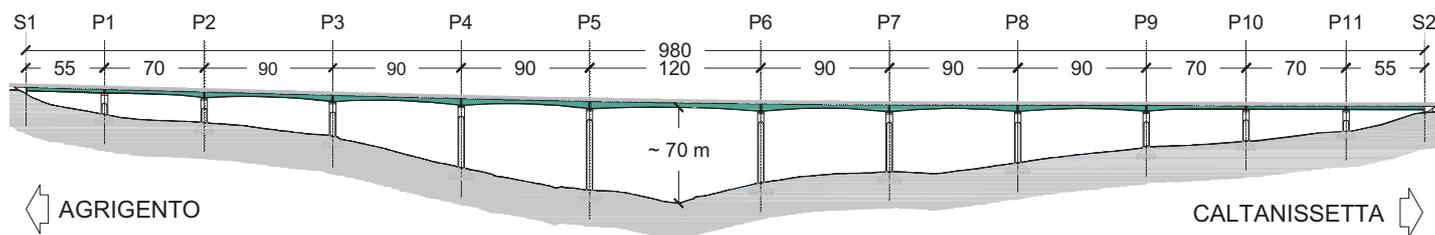
La larghezza complessiva dell'impalcato,

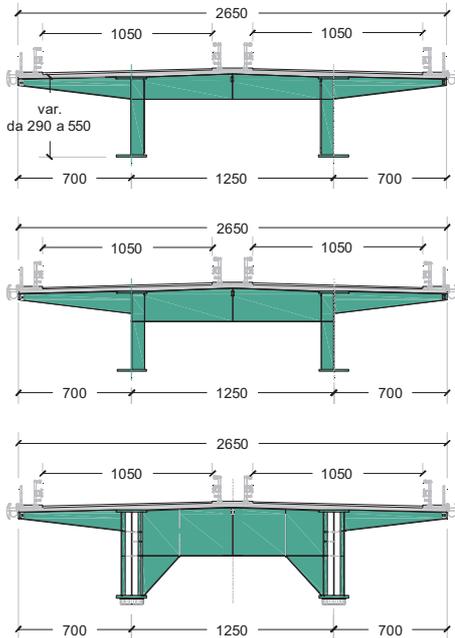
è composta dalle due carreggiate stradali di 10.50 m (ciascuna suddivisa in due corsie di marcia da 3.75 m e due banchine, rispettivamente da 1.75 e 1.25 m), due marciapiedi laterali da 1.50 m e 2.50 m di spartitraffico centrale. La pendenza trasversale dell'impalcato è realizzata inclinando i traversi e mantenendo costante lo spessore della soletta.

Per la raccolta e l'allontanamento delle acque provenienti dalla piattaforma stradale sono previsti due canali di alluminio rivestiti da un fascione di alluminio verniciato.

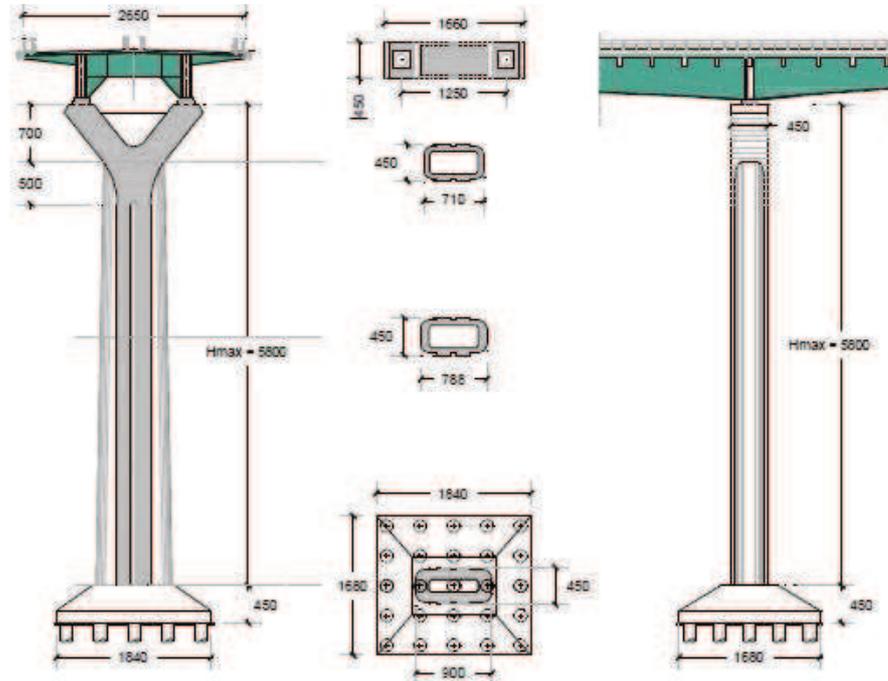
L'impalcato è a sezione composta acciaio-calcestruzzo ed è costituito da due travi metalliche (bi-trave) a doppio T poste a distanza di 12.50 m e da traversi a doppio T estradossati e aggettanti ad interasse di 4 m circa, sui quali è ordita una soletta di 25 cm di spessore.

Le travi hanno altezza costante di 2.90 m sulle campate esterne da 55 e 70 m e variabile con legge parabolica sulle campate da 90 m e su quella centrale da 120 m. Sulla campata centrale l'altezza varia da 3.00 m (L/40) in mezzzeria a 5.50 m (L/22) sugli appoggi.





Sezioni trasversali e geometria dei traversi:  
a) trasverso corrente; b) traversi vicini agli appoggi; c) traversi di appoggio



Prospetti e sezioni delle pile

I traversi correnti hanno altezza variabile da 1.60 a 1.79 m nella parte centrale e da 0.40 a 1.60 m nella parte a sbalzo. Nelle campate principali, per un tratto di circa 25 m a cavallo degli appoggi, i traversi presentano un'altezza maggiorata di circa 60 cm rispetto alla sezione corrente, per far fronte alla verifica di stabilità delle piattabande.

I traversi e i montanti presenti in corrispondenza degli appoggi hanno l'ulteriore funzione di trasferire le azioni orizzontali del vento e del sisma agli appoggi e quindi alle sottostrutture. I montanti di pila sono realizzati con 3+3 piatti disposti simmetricamente rispetto all'anima, ad un interasse di 0.40 m, in modo da garantire il corretto trasferimento delle reazioni vincolari all'impalcato anche in presenza di escursioni termiche longitudinali.

In corrispondenza dei traversi le travi sono irrigidite da montanti a T saldati alle anime e alle piattabande.

Il telaio costituito dal traverso e dai montanti ha anche la funzione di stabilizzare le piattabande inferiori sia nelle fasi di varo che in esercizio. Per garantire la stabilità nelle fasi di montaggio e getto della soletta l'impalcato sarà irrigidito da un controvento orizzontale. La parte metallica

dell'impalcato è interamente saldata e verniciata.

## 2.2 Sottostrutture

Le pile hanno un'altezza variabile da 13 a 58 m e sono costituite da un fusto a sezione cava, variabile linearmente nella direzione trasversale, e da un pulvino a sezione variabile con raccordo curvo, in grado di realizzare l'allargamento necessario ad ospitare gli appoggi delle travi.

Particolare attenzione ha richiesto la definizione della forma delle pile ed in particolare del pulvino per le notevoli dimensioni richieste dalla tipologia dell'impalcato.

Essendo il fusto a larghezza variabile, la sezione trasversale di sommità è uguale per tutte le pile ed ha dimensioni 4,50x7,10 m, mentre quella alla base varia da pila a pila. La pila più alta presenta una larghezza alla base di 9,00 m. Lo spessore delle pile è variabile a tratti.

Le fondazioni sono costituite da zattere su pali; la pila più alta è fondata su 25 pali Ø 1500 di lunghezza 40 m. Le altre pile hanno zattere di 20 e 16 pali Ø 1500 di lunghezza 35 e 30 m.

Le spalle hanno sezione a C e sono sedi dei ritegni sismici; nella spalla S1, sede degli appoggi fissi, sono stati posizionati 4

dispositivi di ritegno elastico a doppio effetto da 4000 KN, mentre nella spalla S2, sede degli appoggi scorrevoli, sono stati posizionati 4 dispositivi di tipo elastico a doppio effetto da 4000 KN accoppiati con shock transmitter che permettono le deformazioni "lente" dell'impalcato (ritiro, escursioni termiche) ma non i movimenti "veloci" indotti dal sisma. I ritegni sono collegati alla parete paraghiaia mediante barre di acciaio fissate a due piastre contrapposte alla parete stessa. Le fondazioni sono costituite da zattere su pali Ø 1200.



Vista impalcato metallico



Dispositivi di ritegno elastico da 4000 KN e dispositivi da 4000 KN accoppiati a shock transmitter

**3 ASPETTI COSTRUTTIVI**

**3.1 Le pile**

Per la costruzione delle pile, di tipologia cava, sono state progettate casseforme metalliche speciali, montate su mensole rampanti MF 240, per sezioni di getti con altezza variabile. Per quanto riguarda i pulvini, considerata la complessità della forma e le notevoli dimensioni, è stato necessario prevedere una cassaforma

specifica ed eseguire due sezioni di getto con altezza 3,50m l'una.

Tutte le casseforme sono metalliche speciali, sostenute da puntellazioni per getti controterra rovesciate nelle zone di testa del pulvino e dotate di tre livelli di passerelle per assicurare la massima flessibilità di movimento agli operatori.

**3.2 L'impalcato**

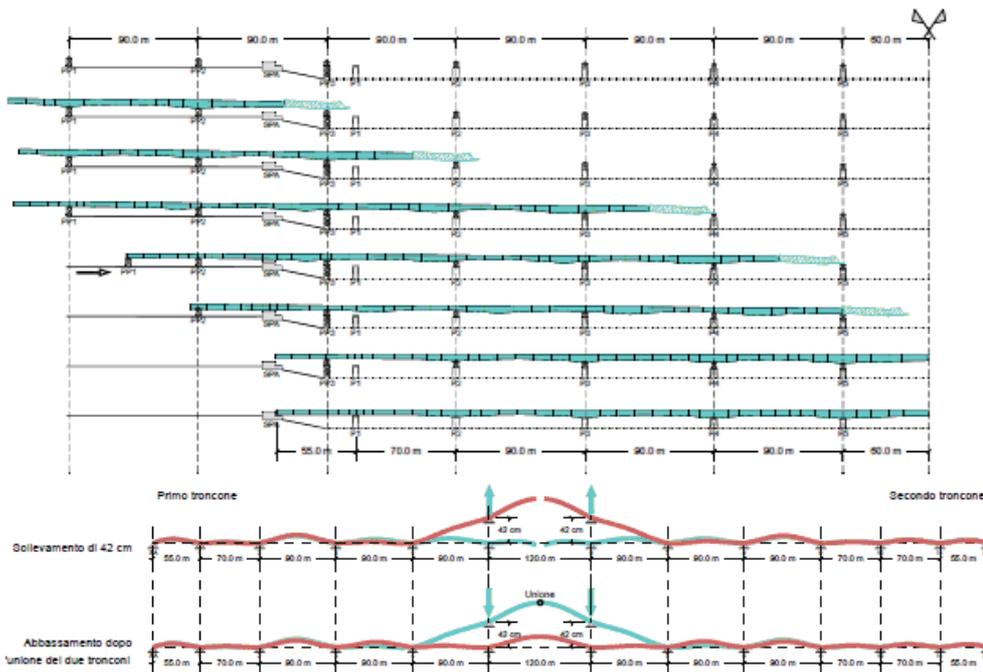
Per il montaggio dell'impalcato metallico si è fatto ricorso ad un doppio varo a spinta: la prima parte dell'impalcato di (55+70+3x90+60) è stato spinto dalla spalla lato Agrigento, la seconda di (55+2x70+3x90+60) dalla spalla lato Caltanissetta. I due vari hanno richiesto un avambecco di circa 40m di lunghezza, una pila provvisoria P1\*, posta a 90m di distanza dalla pila P2, sul lato della spalla S1 e due pile provvisorie P10\* e P11\*, poste a 90m e 180m dalla pila P9, sul lato S2. Le pile provvisorie hanno lo stesso passo di 90 m delle pile P2-P5 e P6-P9 e quindi consentono il varo a spinta dei due tratti di impalcato a sezione variabile con sezioni di altezza massima ad interasse di 90m. Per quanto riguarda il varo si è fatto ricorso ad un sistema innovativo meccanico-idraulico sincronizzato, che utilizza la tecnica "alza e spingi", alternando sollevamenti e spinte di circa 80cm.

Una volta completate le operazioni di spinta, prima di procedere alla saldatura dei due tronconi nella mezzera della campata di 120m, è stata imposta una distorsione sugli appoggi delle due pile a cavallo della campata di 120m, finalizzata al ripristino del diagramma dei momenti della trave continua.



Campata centrale del viadotto (rendering)

Getto di un pulvino



Varo della carpenteria metallica

Fasi di varo del troncone lato Agrigento e le distorsioni imposte



La distorsione è consistita nell'imporre un innalzamento di 42 cm prima della saldatura centrale e un abbassamento di 42 cm dopo la saldatura

**3.3 Il getto della soletta**

Il getto della soletta è stato eseguito su predalle ordite in direzione longitudinale e con sequenze ottimizzate che prevedono la formazione dei tratti di campata prima di quelli sugli appoggi.

Nelle campate centrali del viadotto, considerate le difficoltà di getto, si è fatto ricorso alla formazione di una pista centrale in grado di consentire il passaggio delle betoniere per raggiungere la campata successiva ed eseguire il getto a ritroso fino a completare il tratto a cavallo della pila (vedi tavola).

La strategia di getto utilizzata ha consentito di mantenere, in tutte le sezioni dell'impalcato, le tensioni di trazione in soletta sempre inferiori al valore della resistenza media a trazione, sia a breve che a lungo termine.

**3.4 Il collaudo**

Il collaudo è stato eseguito con prove di carico statiche e prove di caratterizzazione dinamica.

Queste ultime sono consistite nel rilievo delle vibrazioni indotte dal passaggio di un automezzo su un risalto posto in prossimità della mezzera delle campate esaminate e finalizzate alla rilevazione dei principali modi di vibrare. Il confronto tra risultanze sperimentali e numeriche ha dato risultati molto soddisfacenti.

**Ubicazione:**  
SS 640 "di Porto Empedocle", progressive Km 19+272 e 20+252, Provincia di Agrigento

**Proprietà:**  
ANAS Spa, Regione Sicilia

**General Contractor:**  
EMPEDOCLE Scpa, Ravenna

**Project Manager:**  
Ing. Pierfrancesco Paglini

**Subcontractor carpenteria metallica:**  
GIUGLIANO COSTRUZIONI METALLICHE Srl, Afragola (Na)

**Progetto preliminare e definitivo:**  
TECHNITAL SpA, Verona (Ing. Massimo Raccosta e Prof. Luigino Dezi)

**Progetto esecutivo:**  
SYSTRA SOTECNI SpA, Roma (Ing. Alberto Checchi e Ing. Stefano Niccolini)

**Progetto esecutivo di dettaglio dell'impalcato:**  
DSD DEZI STEEL DESIGN Srl, Ancona

**Progetto del varo:**  
EURO ENGINEERING Srl, Pordenone

**Direttore dei Lavori:**  
Ing. Fulvio Giovannini, Roma

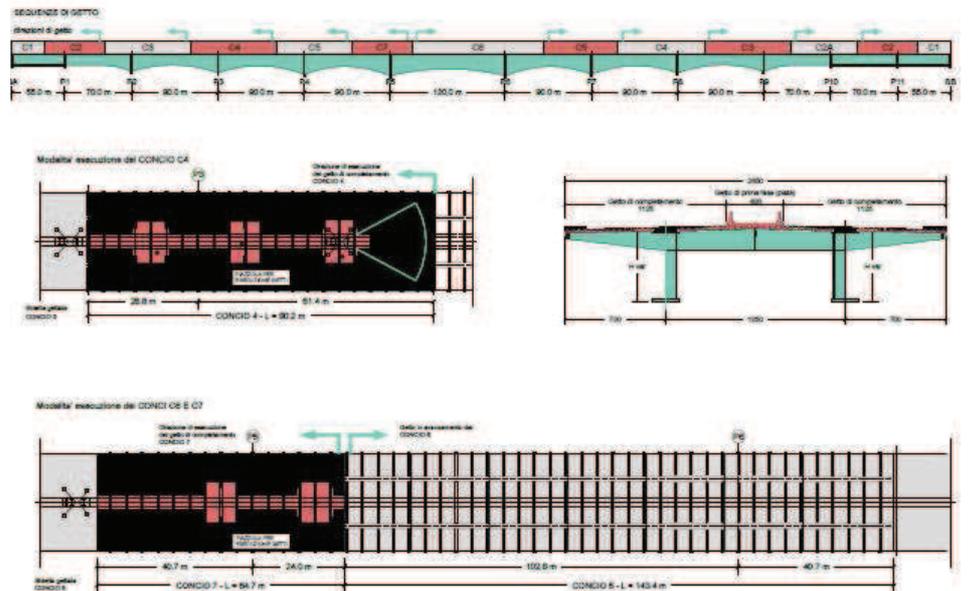
**Responsabile unico del procedimento:**  
Ing. Federico Murrone, Palermo

**Collaudo statico:**  
Ing. Michele Adiletta e Ing. Roberto Mastrangelo, ANAS

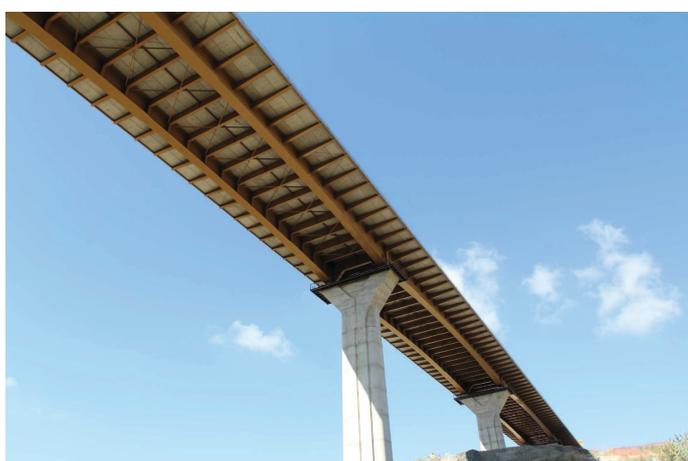
**Data di ultimazione:**  
Febbraio 2014



Fasi finali del varo



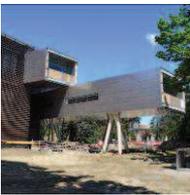
Sequenze di getto della soletta





**PREMI aicap 2014**  
**REALIZZAZIONI IN CALCESTRUZZO STRUTTURALE**

**EDIFICI**



***“TREFOLO” - CAMPUS UNIVERSITARIO DI FORLI’***

---



***EDIFICIO RESIDENZIALE IN VIA SAPPADA 23 A ROMA***

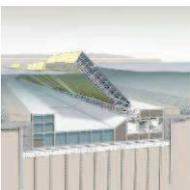
---



***NUOVA SEDE DELL’AGENZIA SPAZIALE ITALIANA  
A ROMA TOR VERGATA***

---

**OPERE INFRASTRUTTURALI**



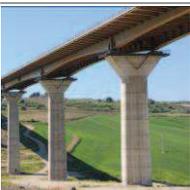
***BARRIERE MOBILI PER LA DIFESA DI VENEZIA E DELLA  
LAGUNA DALLE ACQUE ALTE – CASSONI DI BARRIERA***

---



***NUOVA STAZIONE PER L’ALTA VELOCITA’ DI BOLOGNA***

---



***VIADOTTO SERRA CAZZOLA 1 SULLA SS 640 “DI PORTO EMPEDOCLE”***

---