

(Fonte - Source: Italferr)

La nuova stazione ferroviaria per l'alta velocità di Bologna

The new high speed railway station of Bologna

Dott. Ing. Luigi EVANGELISTA^(*)

Dott. Ing. Tiziana FAZIO^(*)

Dott. Ing. Fiorenza TRAINI^(*)

Dott. Ing. Angelo VITTOZZI^(*)

Sommario - La memoria presenta la nuova stazione Alta Velocità di Bologna: una grande e innovativa opera infrastrutturale inserita in un ampio progetto di riconfigurazione e potenziamento del nodo ferroviario cittadi-

Summary - The paper presents the new high-speed railway station in Bologna: a great and innovative work integrated into a large infrastructure project of reconfiguration and upgrading of the rail junction city, one of the most im-

^(*) Italferr S.p.A., Società di Ingegneria del Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane (FSI).

^(*) Italferr S.p.A., Engineering Company of the Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane (FSI) (Italian State Railways Group).

no, uno dei più importanti d'Italia. Dopo aver richiamato i requisiti "funzionali", sia sotto il profilo urbanistico che trasportistico, la memoria descrive il progetto illustrando il "concept" architettonico e strutturale, entrambi inquadrati nello specifico contesto territoriale, geotecnico e idro-geologico. Successivamente vengono descritte tutte le principali componenti dell'opera: il camerone ipogeo con le particolarità compositive e distributive; le particolari e, per molti aspetti, innovative opere di contenimento delle terre: gli speroni (paratie con sezione a T), le voltine e la trave di coronamento; i telai trasversali e i solai di piano. L'illustrazione si conclude con la descrizione delle principali caratteristiche degli impianti e delle finiture architettoniche. A conclusione della illustrazione del progetto ci si sofferma sulla forte interrelazione fra tutte le componenti specialistiche coinvolte nello sviluppo di questo tipo di progettazioni e sulla necessità che esse debbano essere concepite e sviluppate in modo integrato e sinergico.

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 (fig. 1).

Questa esigenza funzionale ha portato a concepire un'opera "innovativa", con imponenti strutture di contenimento realizzate sino ad una profondità di 25 m dal piano campagna, che si sviluppa al di sotto degli originali 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 viaggiatori 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 RFI (Gruppo FS Italiane), progettata da Italferr (Società di ingegneria dello stesso Gruppo FS 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

portant in Italy. After recalling functional requirements both in terms of urban planning and of transportations, the paper describes the project illustrating the architectural and structural concepts, both classified in the specific geotechnical and hydro-geological context. Then paper describes all the major components of the work: the underground building with the peculiarities of composition and distribution; the particular and in many aspects innovative works of containment of the ground: the buttresses (T-section diaphragm walls), the Vaults and the longitudinal head beam; transversal frames and the deck floors. The paper ends with a description of the main characteristics of the plants and architectural finishes. At the conclusion of the illustration of the project we focus on the strong interrelationship between all the specialized components involved in the development of this type of project and their need to be conceived and developed in an integrated way.

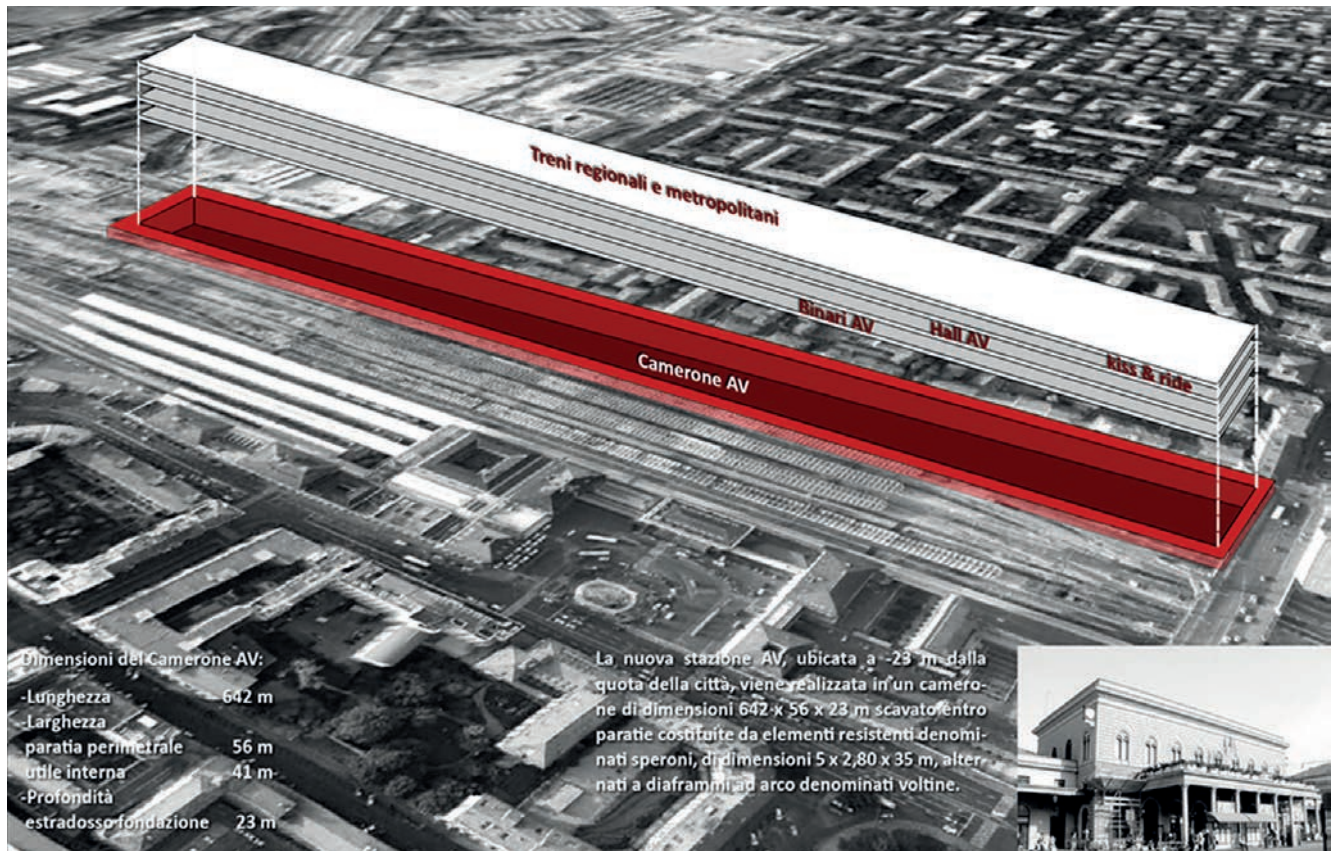
1. Introduction

The High-Speed train station of Bologna is a great and innovative infrastructure work included in a general reconfiguration and expansion project of the city railway junction. In terms of "functionality" the new work is at the heart of an interchange system between the "ordinary" passenger traffic that develops on the "historical" ground level lines and the new High-Speed service which is developed through the underground link (fig. 1).

This functional requirement led to conceive an "innovative" work, with massive containment structures built up to a depth of 25 m from the ground level that develops below the original 12, 13, 14 and 15 tracks of the historic Central station (provisionally removed to allow the construction of the HS station). The new railway "hub", consisting of the old station and the new HS station, ensures integration with all public transport systems converging at the node, both present and future. Within the project of the station, the construction of a new passenger underpass with an extension and adaptation of existing pedestrian underpasses, has allowed enhancing the access to the railway hub both from piazza delle Medaglie d'Oro and via de' Carracci, thus increasing "continuity" between the old town and the Bolognina district.

RFI Rete Ferroviaria Italiana (Railway Network Management Company of Italian State Railways Group) commissioned the work that was designed by Italferr (engineering Company of the same Italian State Railways Group) and built by the company Astaldi. Italferr was also Responsible for the Direction of Works and Safety Coordination Management in construction phases.

The work consists of a underground hall, the new HS station, and was created by open-pit excavation among the largest ever carried out in Europe in an urban context, characterised by "innovative" supporting structures of soil. These are composed of vertical vaults with a polygonal shape inscribed in a sector of a circle, acting on vertical buttresses



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 1 – Inquadramento generale.
Fig. 1 – General overview.

terreno di tipo “innovativo”. Queste sono costituite 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 (figg. 2 e 5).

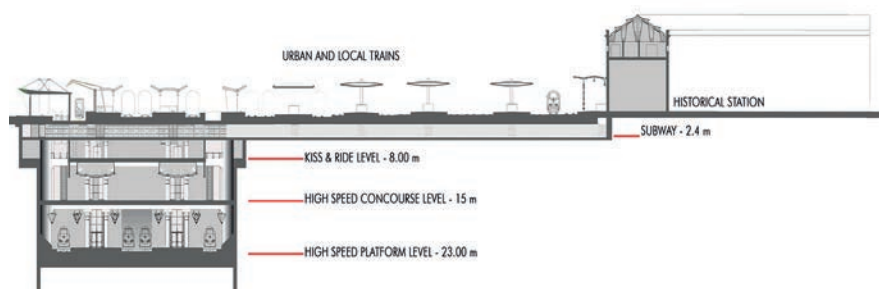
Il camerone (640 m di lunghezza, 41 m di larghezza e 23 m di profondità) si sviluppa su quattro livelli collegati da un sistema di scale mobili, scale fisse e ascensori, così organizzati:

- il piano AV (-23 m), 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 (-15 m), destinato ai servizi ferroviari (biglietterie self service, desk informativi, servizi igienici) e commerciali di ristoro per i viaggiatori;
- il piano Kiss&Ride (-8 m), una strada sotterranea che attraversa la stazione in senso longitudinale, utilizzata come sosta breve, da

with T-shaped section, balanced by a transverse struts system (figures 2 and 5).

The hall (640 m long and 41 m wide and 23 m deep) extends over four levels connected by a system of escalators, staircases and elevators, organised as follows:

- HS floor (-23 m), consisting of 4 tracks – numbered 16, 17, 18 and 19 – dedicated to H.S. trains and 2 specialised platforms for North-Southbound services (towards Rome/Naples) and East/Westbound (towards Milan/Turin and Verona/Bozen);



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 2 – Sezione trasversale.
Fig. 2 – Transversal Section.

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.

- il piano FS (-0.0m), che accoglie i binari 12, 13, 14 e 15 destinati al traffico "ordinario".

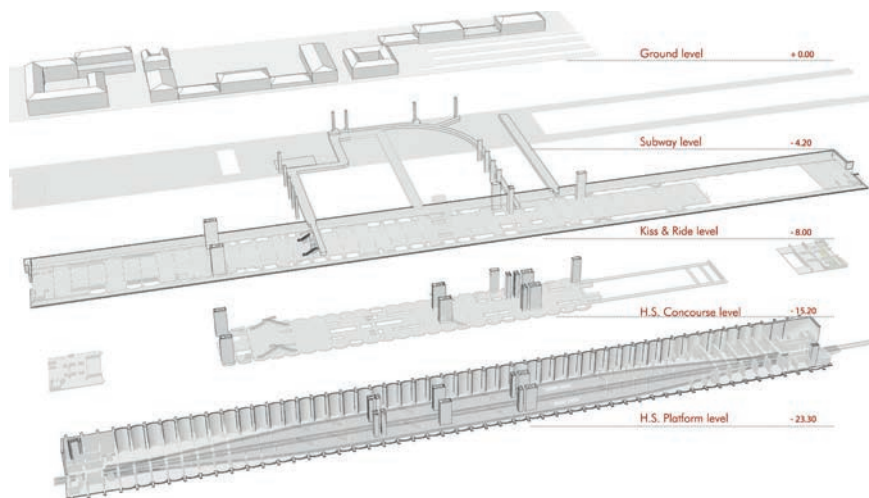
Nel concludere questa breve introduzione, è opportuno evidenziare che la stazione di Bologna AV è la prima al mondo ad utilizzare il sistema ERTMS (European Railways Traffic Management System) di livello 2 (senza segnali luminosi laterali) già operativo sulle altre linee AV. Questo standard tecnologico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

2. Il progetto

L'ambiente urbano della stazione "storica" fortemente antropizzato, è caratterizzato da un spiccato rilievo architettonico, con innegabili valori storici 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 e 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 mole di strumentazione, il sistema di monitoraggio è stato



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 3 - Vista assonometrica dei diversi livelli.

Fig. 3 - Isometric view of the different levels.

- the HS hall floor (-15 m) dedicated to rail services (self-service ticketing, information desks, toilets) and refreshments areas for travellers;
- the Kiss&Ride floor (-8 m), an underground road that crosses the station longitudinally, used as short stay, by taxis, private cars, public service and emergency vehicles for collecting and leaving people. This road is connected to the surrounding road network through the entrance from via Fioravanti, the taxis exit on via de' Carracci and the exit on via Serlio. Long stay parking is guaranteed thanks to the link with the Salesiani underground parking (488 parking spaces available, entrance on via Matteotti and on via Serlio) and through access to parking areas (about 300 spaces) of the two underlying mezzanines.
- the FS floor (-0.0 m) presents four track (numbered 12, 13, 14 and 15) and is dedicated to "ordinary" traffic.

In concluding this brief introduction it is appropriate to point out that the Bologna HS station is the first in the world to use the level 2 (without lateral light signals) ERTMS system (European Rail Traffic Management System) already operating on other HS lines. Technology standard designed and realised for the first time in Italy and that has become the European standard.

2. The project

The urban environment surrounding the "historical" station is strongly man made, is characterised by a distinctive architectural importance, with undeniable historical and cultural values and, at the same time, it is a major hub of city, regional and national mobility. For this variety of reasons an in-depth analysis of various historical, architectural, urban and transport factors was conducted from the first project phase. The main objectives were: ensure con-

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 (-23 m), all’interno di un volume denominato “la cattedrale” (fig. 4).

Sviluppandosi per circa 100 m 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 enfatizzata dalla presenza di due passerelle aeree panoramiche (lunghe circa 100 m), che collegano i parcheggi alla hall interrata, e dal duplice filone di colonne in cls prefabbricato bianco che lo attraversa. 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 -23 m, 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 dei veri e propri pozzi di luce e che ospitano le scale mobili.



Fig. 4 - La “Cattedrale”.
Fig. 4 - The “Cathedral”.



(Fonte - Source: Italferr)

temporaneity between the workings of the yard and the operation of the existing station, maintaining local traffic by restricting interferences with the roads serving the works; safeguard buildings and pre-existent structures surrounding the excavation; protect all environmental components such as the underground water system, the acoustic climate, vibrations and dust.

The analysis of these requirements, together with the considerable size of the excavation, required the use of “ad hoc” solutions both in the architectural design of the work and in the design of excavation support works and in the execution mode of them, requiring an integrated design of the different interventions. In that regard, technical solutions and innovative processes have been adopted as will be explained below.

In order to ensure maximum safety for buildings overlooking the excavation, all processing phases were carried out under broad and continuous monitoring of pre-existences and of the railway square. For the management of numerous instrumentation, the monitoring system was implemented on an interactive web platform so as to control the different equipment in the field, remotely and at anytime, obtaining real-time data.

2.1. The architectural concept

The architectural concept aims at the interaction between the underground station and the surrounding context, through the use of blades of light that, penetrating inside the station, give visual and sensory permeability. For this purpose the station’s lighting is designed with openings, aligned on all floors, allowing the propagation of light through the use of glazed surfaces.

The most representative “long piece” is at the HS platforms level (-23 m) within a volume called “the cathedral” (fig. 4).

Extending over an approximate length of 100 m, the Cathedral has a large open space, characterised by the absence of the intermediate floor, and permeated by sunlight through the horizontal openings placed on the floor of the upper level. This architectural solution offers high-speed passengers travelling along the platforms at -23 m, the sensation of upward space emphasised by two panoramic aerial walkways (about 100 m long), linking the parking area to the underground hall and with a double line of precast white concrete columns crossing it. From the floor above the platforms, the HS Vestibule floor, a full-height glazing allows overlooking the tracks and the scattering of light inside the cathedral floor.

The finishes of spaces play a fundamental role in allowing the light to come up at an altitude of -23 m. In fact, the structural solution of the underground part, based on the concept of vault ap-

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 zone 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 di finitura 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.

2.2. Il "concept strutturale"

La struttura portante del camerone interrato è particolarmente innovativa (fig. 5): 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 12 m. Le voltine, realizzate con setti di paratia, presentano delle armature "passanti" tra tutti i pannelli e sono connesse agli speroni anche in modo meccanico 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

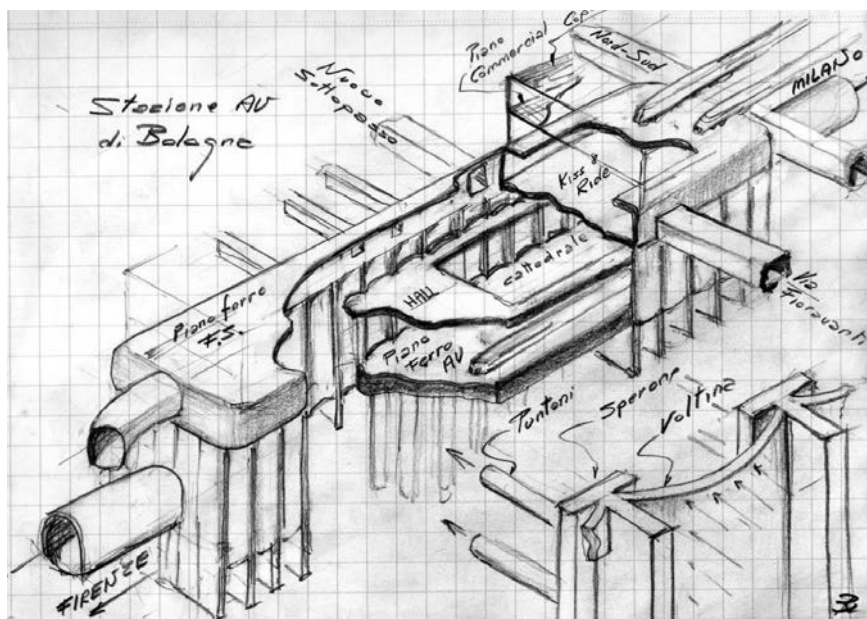
plied to the boost of the land, allows having large spans of bulkhead (vaults) free from contrast elements that allow exploiting these gaps as architectural elements capable of projecting the sunlight up to the tracks, creating a striking effect of verticality. The same design solution is adopted for the other floors of the Station lit up by light wells that accommodate escalators.

In this way the new HS station offers the traveller an appropriate service for the importance of the Bologna railway junction and a multifaceted space to the city, an indoor square equipped with commercial spaces, for culture and for the tertiary sector, where people meet, shop, see a show and climb on board trains.

The interior architecture has required an in-depth study of the final materials used: the large grey colour ceramic slabs for the cladding of vaults and spurs, ensuring a smooth, clean finish at the same time and respect for the massive character of the structures, glass-fibre reinforced concrete for the pre-cast lining of large columns, the transparent or white glass, combined with steel to create spaces, reflect light and connect the underground station with the exterior, the polished red porphyry in slabs for paving.

To build the Bologna Central HS station finishes made with materials characterised by high mechanical and chemical resistance, stability and durability were used, such as to require reduced maintenance activities in the future.

The inner walls are mostly glass with outstanding resistance to fire to increase the comfort of the environment, the spread of natural light and brightness. In addition, the lighting, created with long-lasting LED technology allows reducing energy consumption by 50 percent, helping to contain pollution and significant maintenance costs reduction.



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 5 - Uno schema delle principali strutture.
Fig. 5 - A sketch of the main structures.

trasferiscono le spinte da uno sperone all'altro. Questi puntoni metallici, inseriti in fase di scavo e connessi in modo rigido agli speroni tramite un apposito sistema di collegamento, costituiscono nello schema statico finale gli elementi orizzontali dei telai trasversali che sostengono i solai di piano intermedi e le 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 e 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 dimensionati con riferimento ad uno schema di trave continua in c.a. fino ad una lunghezza di 60 m (5 campi di voltina). I carichi verticali vengono trasferiti ai puntoni di stazione attraverso appoggi mobili, mentre le azioni orizzontali (azioni sismiche, variazioni termiche, effetti del ritiro e della viscosità) vengono trasferite agli speroni, in corrispondenza al campo centrale, mediante telai di contrasto (croci a "X" e a "K") progettati per risolvere le interferenze con gli elementi passanti (scale mobili, impianti, ecc.), (fig. 6).

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.

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 paleovalle 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

2.2. The structural concept

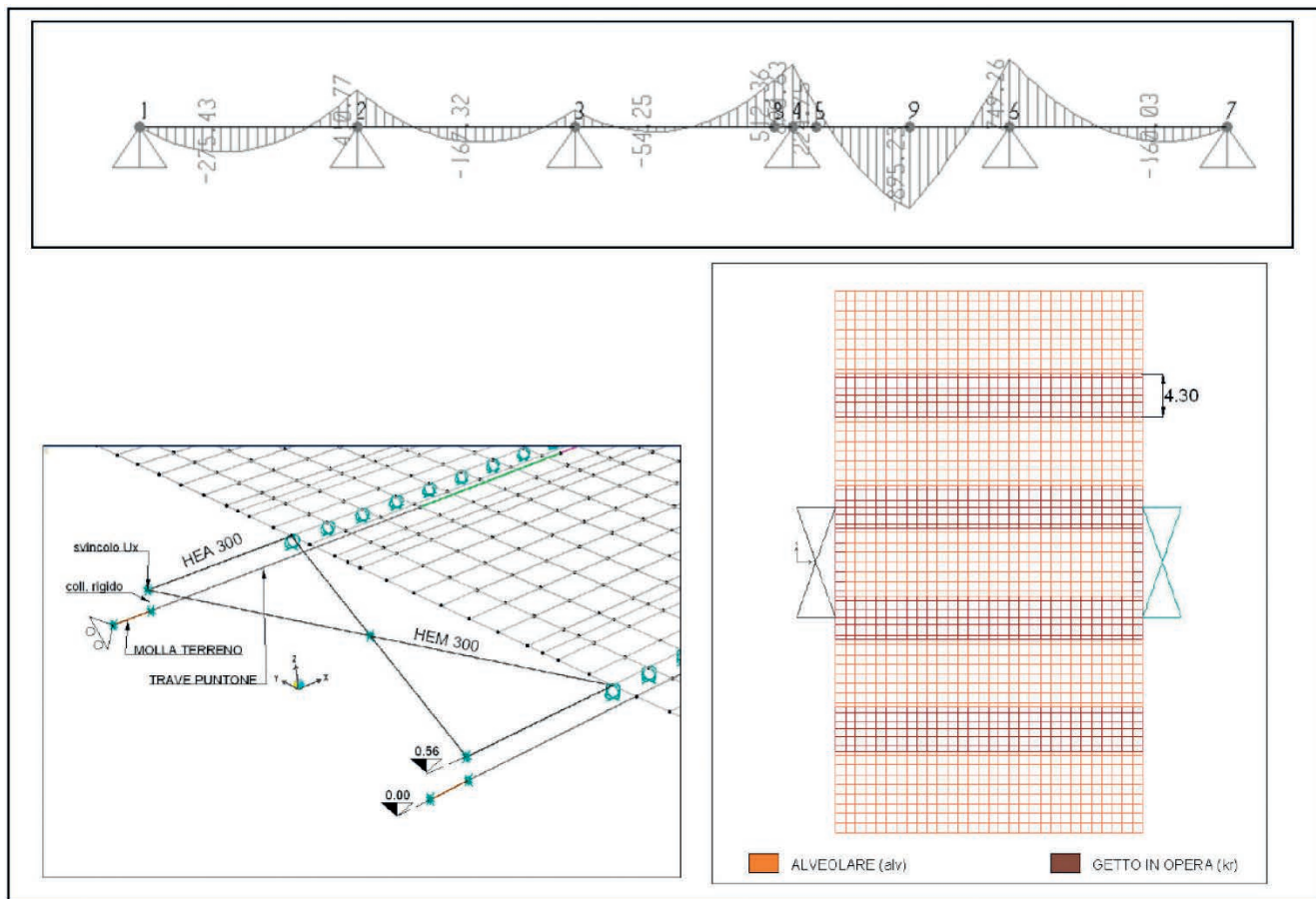
The containing structure of the underground hall is particularly innovative (fig. 5): it is based on the concept of vault applied to the containment structure of the soil and allows having large spans of bulkhead "vaults" free from contrast elements both horizontally and vertically. The vaults discharge their thrusts on important buttresses: structural elements made of reinforced concrete and structural steel with T-section, side-facing each other along the station and placed at a center distance of 12 m.

The vaults, made with bulkhead elements, have reinforcement connecting all the panels and are linked to the also mechanically through connection bars introduced immediately after of the excavation. To ensure enough strength and stiffness of the soil containment system, metal struts have been provided that transfer thrusts from a spur to another. These metal struts placed during excavation and rigidly connected to the spurs through a dedicated connection, constitute horizontal elements of the transverse frames in the final static plan that support the intermediate floor slabs and roof structures. The transverse frames, characterised by a variety of different types depending on the geometrical, functional and plant engineering characteristics of the complex infrastructural system, were made by inserting metal columns starting with the base slab, linking them to the struts to create the transverse frames. These metal columns were completed by introducing Nelson pegs on the interior surfaces, leather armouring and completion concrete casting; all in order to achieve a composite profile. To speed up the column completion operation, ensure a valuable architectural finishing and at the same time provide remarkable resistance to fire, white cylindrical cells made of Glass Fiber Reinforced Concrete (GFRP) were used as formworks. All metal parts of the struts, not incorporated in concrete, were panelled in calcium silicate to ensure the required fire resistance of structures. The intermediate and cover floors (the latter is mostly a railway bridge) were calculated with reference to a continuous reinforced concrete beam scheme up to a length of 60 m (5 vault spans). The vertical loads are transferred to the station struts through mobile supports, while the horizontal actions (seismic actions, thermal variations, effects of shrinkage and viscosity) are transferred to the spurs at the centre span by contrast frames ("X" and "K" crosses) designed to resolve interference with penetrating elements (escalators, systems, etc.), (fig. 6).

Both ends of the station were made with the top-down technique: floor structures were made during excavation, laying them on temporary vertical supports, and columns/separators were made "in reascent". This has enabled us to give the end support structures suitable and sufficient stiffness to counteract the boost of the earth concerning the ends from the excavation phase.

2.3. Geotechnical and hydrogeology

The subsoils of Bologna city are alluvial up to depths of several hundreds of metres from the ground level; the stra-

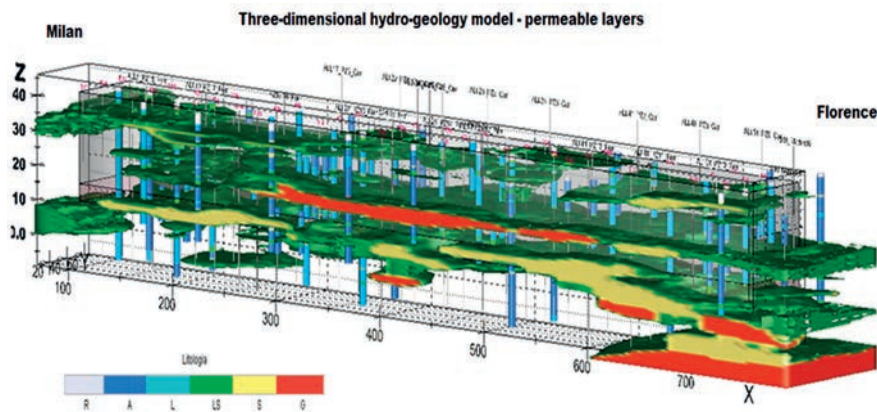


(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 6 - Esempio di diagramma dei momenti del solaio interrato – Stralci di modello di calcolo per il dimensionamento dei controventi di piano.

Fig. 6 - Example of moment diagram of the underground deck – Sketch of the f. e. model for the design of horizontal restrains cross for the deck.

tre falde: una freatica superficiale, con letto a circa 8,00-9,00 m 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 (fig. 7).



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 7 - Il modello idrogeologico.
Fig. 7 - The Hydrogeological Model.

tigraphy sees the presence of portion of layer with a granulometric composition ranging from silty clay to sand with gravel. In the station area silty-clayey materials prevail; the coarsest grain size bodies, lenticular in shape (including a paleochannel which crosses the hall area longitudinally, with gradually decreasing altitude from the Florence side to the Milan side), consist mostly of sand, silty sand and sand with gravel.

From the hydrogeological point of view three water tables were identified: a shallow groundwater layer with bed of about 8.00-9.00 m from the ground level, an intermediate one moving from the station area toward the road Via de' Carracci (towards the Reno River) between 15.00 and 24.00 m from the ground level and a third deeper one and not involved in the works (fig. 7).

In order to ensure hydraulic continuity of the mountain-valley outflow of

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 tipo 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.) (fig. 8).

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 12,00 m.

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 12,00 m; questi ultimi sostengono sia la spinta che ricevono direttamente dal terreno sia quella trasferita dalle voltine.

In corrispondenza alle 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 tramite diaframmi di piano in cemento armato e 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

the first two water table above specific by-pass systems were adopted designed to keep the ground water level, avoiding the emergence of dam effect phenomena with possible consequent adverse effects on structures of buildings adjacent to the station on one side and to the existing railway system on the other.

3. The components of the work

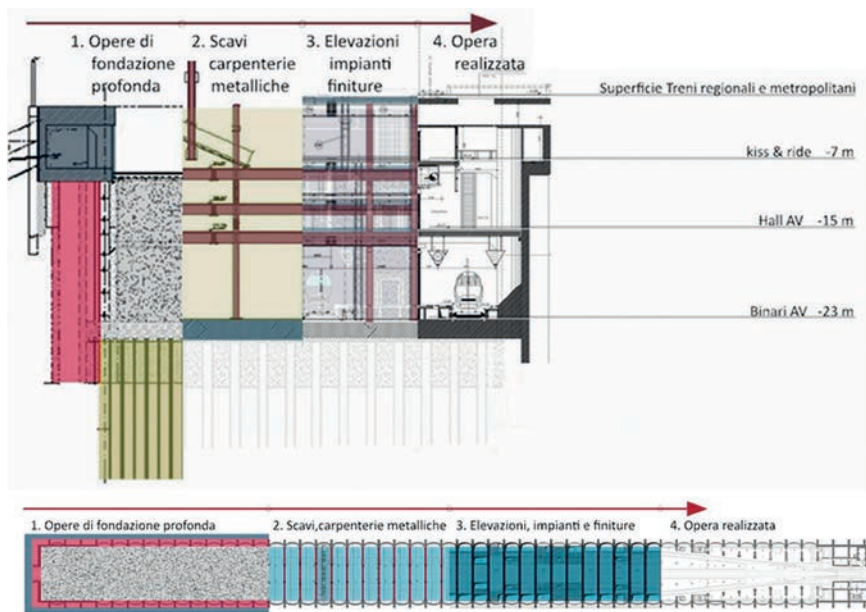
3.1. The hall

The structural system of the hall consists of: excavation support perimetral works (bulkheads-vaults, spurs and strut diaphragms), foundation works (underlying buffer in jet-grouting, foundation piles and micropiles to balance hydraulic thrusts "under-pressure") and elevated structures (metal frames and slabs in reinforced concrete) (fig. 8).

The station structure is organised in a modular way on 6 longitudinal project axes (alignments from A to F) and on 54 project axes or transversal sections (alignments from 0 to 53), placed at a distance of 12.00 m.

The side panels of the hall consist of perimetral diaphragms made of reinforced concrete largely curvilinear (vaults) connected to spurs placed at distance of 12.00 m; the latter support both the boost they receive directly from the ground and that transferred from the vaults.

At the end of the "Heads" hall the end walls were made with flat surfaces; this is due to the need to achieve "box" rigid structures that give resistance to static and seismic horizontal actions transferring horizontal actions to the side walls by means of floor diaphragms, made of reinforced concrete with the top down technique. The flatness of the end bulkheads has also facilitated the realisation of the "outlet"



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 8 – Organizzazione strutturale e sequenza fasi costruttive.
Fig. 8 - Structural organisation and sequence of construction phases.

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 Ø 800 mm passo 1,00 m (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 -7,00 m 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 (fig. 9).

L'impostazione del piano di lavoro principale a -7,00 m 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.

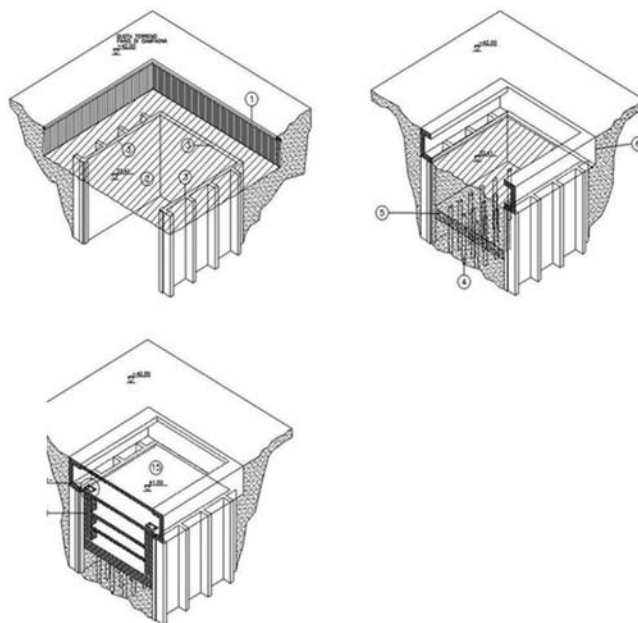
Da questa quota, inoltre, sono state realizzate anche le opere di fondazione della stazione (micropali armati Ø=250 mm, L=15,00 m in numero di 104 per allineamento; pali Ø=1000 mm, L=17,00 m in numero di 42 per allineamento nelle sole zone di testata – allineamenti 0-4 e 50-53 – e nella zona denominata 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 tramite la 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, le attività di movimentazione dei materiali, a mezzo di autogru, ed in fase di esercizio della stazione destinata ad ospitare al suo interno gli impianti (fig. 10).

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 (fig. 11).

3.2. Gli speroni

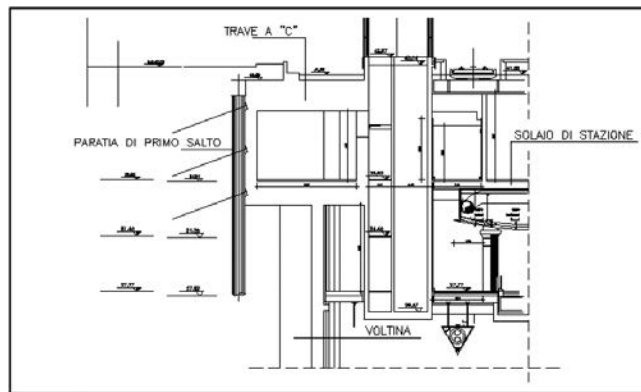
Lo sperone è l'elemento resistente principale della paratia perimetrale di stazione che assolve alla funzione



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 9 - 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.

Fig. 9 – Structure ends and sequence of the construction phases with the top-down technique to ensure a sufficient level of contrast of the thrust of the ground applied at the ends.



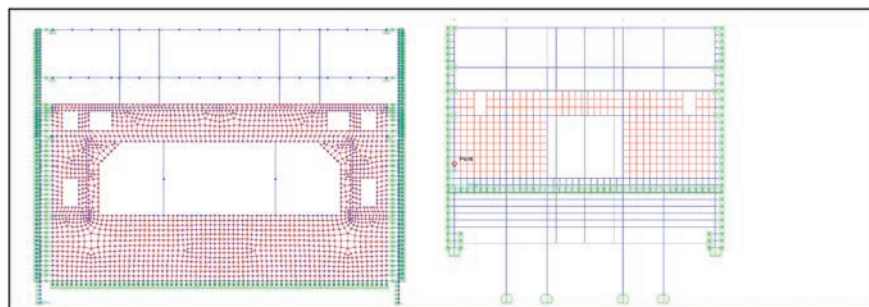
(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 10 - Stralcio sezione trasversale in cui si evidenzia la paratia di primo salto a ridosso della quale è stata realizzata la trave a “C”.

Fig. 10 - Transversal cross section that shows the first level of retaining wall near to which the “C” beam was built.

works of the railway tunnels of the HS link. The connection with the tunnels required the cutting of the end bulkheads at the perimeter of the galleries section; this was performed from inside the station after building the bottom slab and prior to the construction of an internal wall “lining” that would link all end bulkhead panels.

Given the presence of buildings and railway tracks in operation, a protective “belting” of the excavation of baffles was performed on the back of perimeter walls through the consolidation of land (Cutting Soil Mixing - CSM) to avoid



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 11 - Esempi modelli di calcolo bidimensionali per il dimensionamento delle strutture dei telai di stazione con analisi.

Fig. 11 - Two-dimensional calculation models examples for the sizing of station frames structures with analysis.

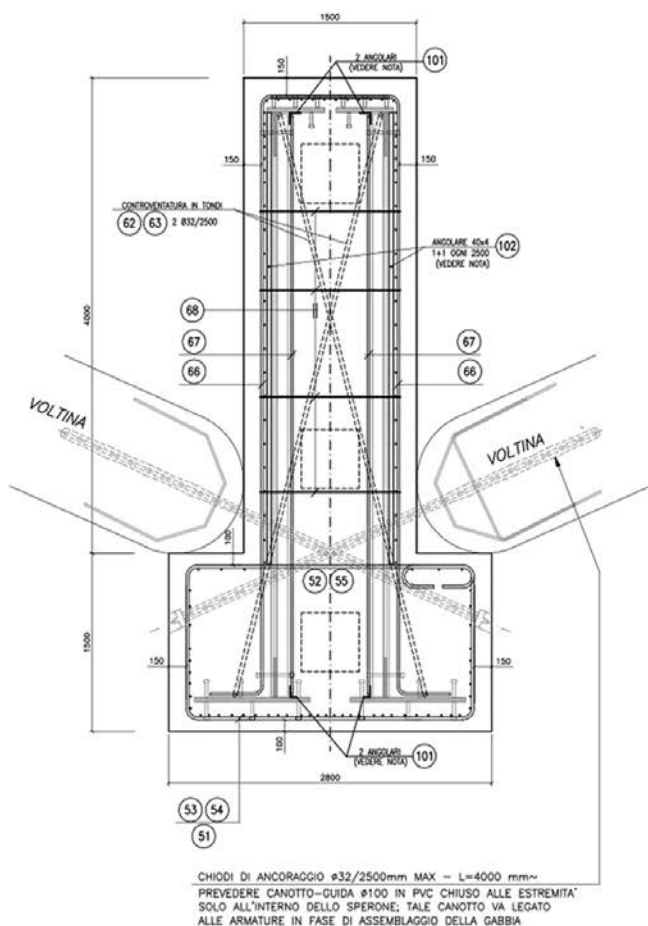
di sopportare tutta la spinta che il terreno scarica direttamente, sommata a quella trasferita dalle voltine (fig. 12).

Si tratta di un elemento composto in acciaio calcestruzzo: realizzato da lamiere, profili a L e mezze HEM 200 in acciaio di classe S355 connesse al calcestruzzo Rck 35 MPa per il tramite di pioli Nelson. La “gabbia di ar-

any risk of instability of the excavation at the interposing of sand and gravel on the excavation walls of the bulkhead panels (with any related subsidence on the back in the excavation phase and/or structural panel breaks during casting).

The construction of the works was launched with the execution of preparatory activities (removal of rail FS premises – tracks 12 to 15), it then continued with the construction of the perimeter wall of 800 mm Ø poles with 1.00 m pitch (called “retaining” wall) which has allowed carrying out the excavation of the first metres of ground bringing the work level below the layer of archae-

ological interest, at an altitude of -7.00 m from the ground level. Taking into account the road overloads on the Carracci side, and the railway ones on the FS side at the back of the pole wall, up to four provisional tie-rod types were necessary placed with variable pitch from 1.00 m to 2.00 m; after creating the internal structures of the hall these tie-rods



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 12 – Lo sperone.

Fig. 12 - The buttress

matura" dello sperone è caratterizzata da un peso di circa 880 kN e, per questioni connesse alla massima altezza consentita per il sollevamento delle gabbie metalliche rispetto alla sede ferroviaria in esercizio sui binari attigui, è stata realizzata in due tronconi collegati da un giunto bullonato realizzato con 736 bulloni. Detto giunto è stato posto in corrispondenza della sezione con i valori più bassi delle sollecitazioni flessionali. I materiali impiegati sono: calcestruzzo di classe Rck 35 MPa (soprattutto in considerazione degli aspetti di durabilità), acciaio FeB44k armatura ordinaria, acciaio da carpenteria tipo S355 J2G3 per i piatti e S355 J0 per i profili non saldati, mentre i bulloni sono classe 10.9 e 8.8.

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 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 in presenza di fanghi bentonitici, garantendo la totale continuità di getto di calcestruzzo di circa 300 m³. Considerando la forma particolare dello sperone, l'ampiezza del cavo (circa 300 m³), il lungo tempo che doveva restare aperto e la sensibilità del contesto circostante, per garantire maggiormente la stabilità del cavo sono state migliorate le caratteristiche del terreno al contorno realizzando dei pannelli di CSM (fig. 13).

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 usuali per strutture realizzate entro terra.

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

were stress relieved so as not to leave final constraints below neighbouring properties to the station (fig. 9).

The preparation of the main work surface at -7.00 m from the road Via Carracci has allowed, on one side, to better protect the buildings along via Carracci from noise, vibration and dust, and, on the other, to be able to perform operations for the handling of prefabricated structural elements of large dimensions, such as reinforcement cages of spurs, strut beams and columns with a higher degree of safety.

Moreover, foundation of works were also carried out from this altitude (armoured micropiles $\Phi = 250$ mm $L = 15.00$ m for a total of 104 per alignment, poles $\Phi = 1000$ mm $L = 17.00$ m for a total of 42 per alignment in the end areas - 0-4 and 50-53 alignments - and in the area called Torre - 22-25 alignments), differentiated according to areas, structural requirements during construction and distribution of loads connected to the future possibility of expanding the project.

The entire structure of the hall has been stiffened through the creation of two continuous longitudinal girders placed to crown the struts and vaults and in girder and C-profile monolithic, used during construction as site track for the transit of the means for casting operations of cement conglomerates, using fire engines, and materials handling activities by means of cranes, and during the operating phase of the station intended to accommodate the systems within it (fig. 10).

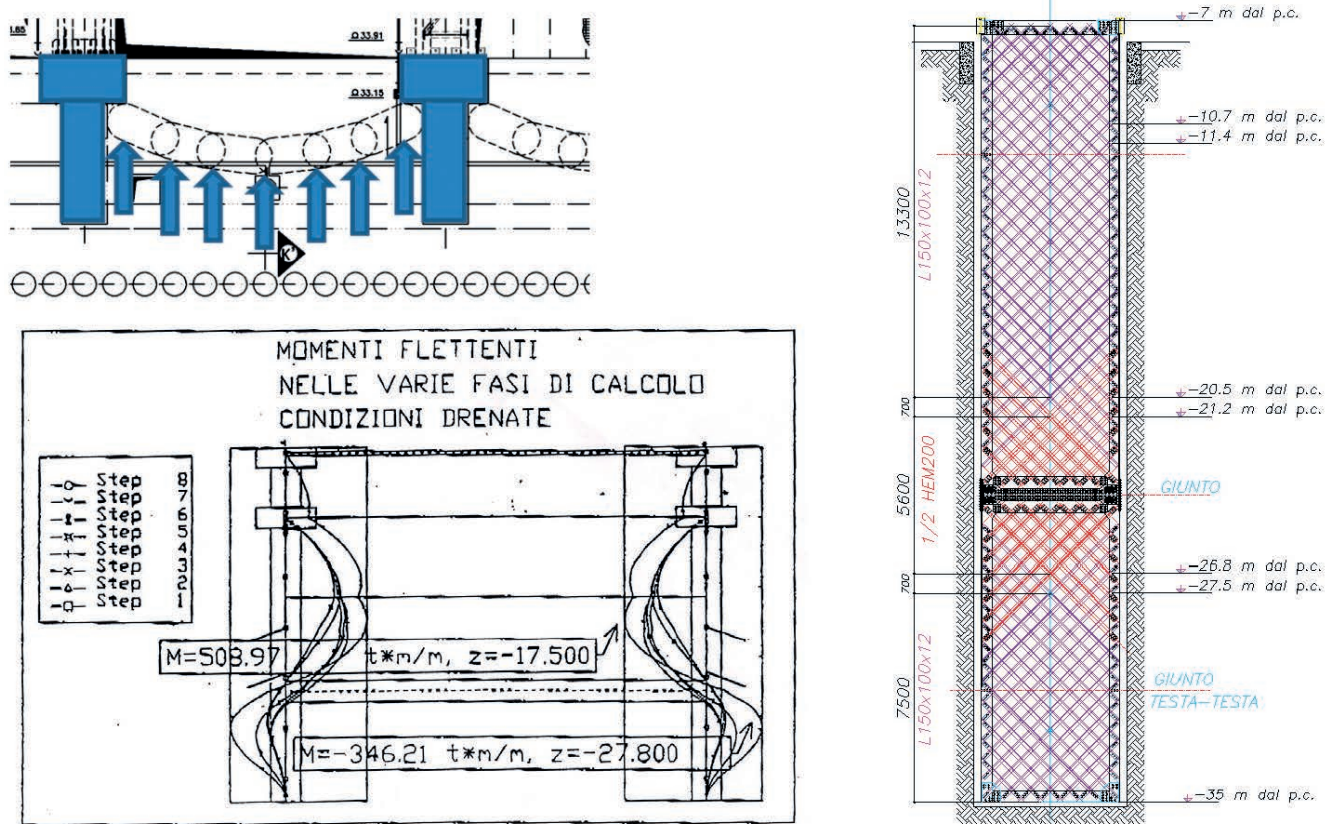
The same final structure of the station is organised according to main load-bearing metal structure frames along the alignments then transversely at the major axis - at the spurs. The individual structural components are better described in the paragraphs below (fig. 11).

3.2. Spurs

The spur is the main proof element of the perimeter wall of the station which serves the function of withstanding all the thrust that the ground discharges directly, summed with the one transferred from the vaults (fig. 12).

It is an element made of concrete steel: made from metal sheeting, L profiles and HEM 200 halves in class S355 steel connected to Rck 35 MPa concrete through Nelson pegs. The buttress "armour cage" has a weight of about 880 kN and for issues related to maximum height allowed for the lifting of the metal cages over the railway operating on adjacent tracks, it was built in two sections connected by a bolted joint made with 736 bolts. Said joint was placed at the section with the lowest values of bending stresses. Materials used are: Rck 35 MPa class concrete (especially considering durability aspects), ordinary armouring FeB44k steel, S355 J2G3 steel carpentry type for plates and S355 J0 for non-welded profiles, while the bolts are class 10.9 and 8.8.

Operationally, the two half cages were first assembled (both carpentry elements and slow armouring ones) in the specially equipped areas of the site near the excavation, later the said cages were transported inside the hall near the final position using special carts and were introduced in the



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 13 - Schema di trasferimento della spinta del terreno dalle voltine agli speroni; prospetto dello sperone; schema di calcolo e diagrammi dei momenti in corrispondenza alle varie fasi di scavo del sistema puntone - speroni.

Fig. 13 - Transfer pattern of the ground thrust from vaults to buttresses; elevation of the buttress; f.e. model and diagrams of the moments in correspondence of the various digging phases of the struts - buttresses system.

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 modo 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 28 cm.

special excavation through a rolling gantry crane, lowering them in the final position after connecting the bolted joint and completing the preparation of slow-armouring in the area over the joint. Finally, the concrete casting was performed within the excavation and in the presence of bentonite mud, guaranteeing total concrete casting continuity of approximately 300 m³. Considering the particular shape of the buttress, the width of the excavation (approximately 300 m³), the long time it needed to remain open and the surrounding context sensitivity, the soil characteristics at the boundary were improved by creating CSM panels to ensure greater stability of the excavation (fig. 13).

The insertion of reinforcing cages of the buttresses, as well as subsequent casting operations, were carried out with procedures to guarantee extreme precision of the position of the structural element. In that regard, particular auxiliary temporary equipment was specially designed and constructed.

Pre-assembled armouring cages in fact, had all arrangements (bushes and cutting keys) for connecting the strut beams (by means of metal structure pin elements and threaded or pre-stressing rods depending on the alignments and station floors involved). The presence of these coupling

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 $120 \times 280 \text{ cm} \times h = 23 \text{ m}$ 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 (fig. 14).

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 m^3), 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 ($\varnothing = 900 \text{ mm}$) 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

elements together with the need to ensure the alignment of two facing buttresses belong to the two perimeter walls connected by different types of buttresses to make future transverse frames, has imposed great precision in the positioning of the buttresses with very narrow tolerances ($\pm 6 \text{ mm}$) unusual for structures built in the ground.

To ensure an appropriate structural behaviour of the buttress both in terms of stiffness and strength, there not being the possibility to increase the overall length of the same due to environmental constraints, it was necessary to include a constraint at the foot to materialize before the last deepening phase of the excavation. For this purpose, "strut diaphragms" structural elements were made with mutual contrast function between opposite buttresses set 41 m apart. These elements made of reinforced concrete consist of a continuous succession of $2.80 \times 1.50 \text{ m}$ wall panels made from the same work plan of the other foundation works. Wall panels have the foot at the same height of the buttress foot and the top at the height of the excavation bottom connected to the bottom slab with the armature so as to represent a contrast to the lifting force.

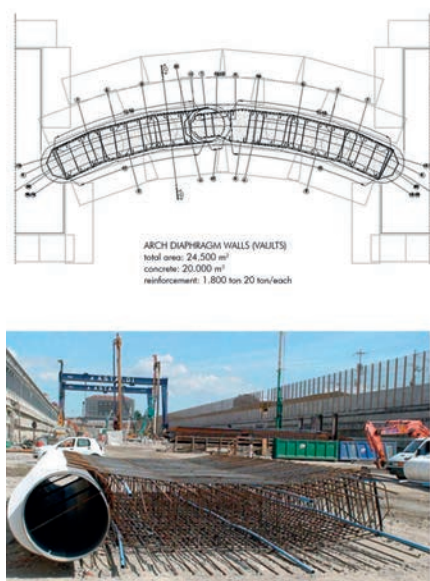
From a structural point of view, verifications on the lateral stability of the entire septum were firstly carried out for this element, with static linear analysis, buckling and static non-linear analysis (considering non-linearity of geometrical type), assuming a tolerance on the perpendicularity of the excavation direction of each panel equal to 0.5% and as a precaution, an initial placement error of 10 cm , with max eccentricity between two contiguous panels of 28 cm was assumed.

3.3. Vaults and coping beam

As mentioned previously, the perimeter wall of the excavation of the station is completed with a succession of vaults connected to buttresses. Each of them consists of 6 panels of reinforced concrete wall measuring $120 \times 280 \text{ cm} \times h = 23 \text{ m}$ and was executed in two stages: subsequent, after making two half-vaults with a height equal to the total height and with a joint at the mid-point (key) of the small vault (fig. 14).

The singularity of these elements under the structural and production profile is represented by the fact that the two half-vaults, while being built inside the ground just as the common deep foundation works, have been created with "penetrating" armouring in the connecting joint in place.

To create this connection, after implementing the CSM panels to the outline of the particular shaped and large excavation (about 200 m), the first semi-vault was built with the excavation of two primary diaphragms and a secondary one and in-



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 14 - La voltina.
Fig. 14 - The vault.

speroni già realizzati su cui agisce la spinta trasmessa dalle 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 dal p.c..

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

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. La soletta superiore di questo manufatto inoltre è stata utilizzata in corso d'opera come impalcato di transito dei mezzi d'opera (fig. 15).

3.4. Puntoni, colonne e solai

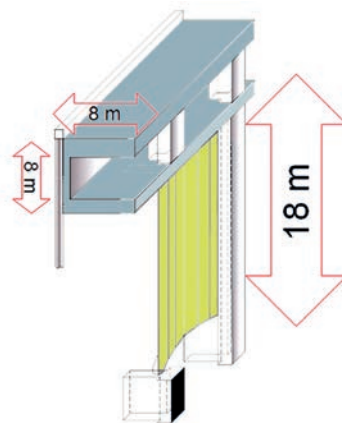
Come accennato precedentemente, per garantire l'adeguato contrasto alle strutture perimetrali di contenimento delle terre, con il procedere dell'abbassamento dello scavo sono state introdotte le travi puntone in carpenteria metallica, immediatamente al disotto della quota dei solai di piano, individuando 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

introducendo la armatura cage and carrying out concrete casting; the implementation of the other half vault was then carried out according to the same procedure. For the implementation of the joint in the small vault a heavy PVC pipe ($\varnothing = 900$ mm) was arranged in the first semi-vault attached to the reinforcement cage, filled with gravel before casting of the semi-vault; later, during the excavation of the key panel of the second semi-vault, the pipe was broken with a specific beak and gravel was removed along with the excavated material. The excavation of the panels to contrast with the buttresses was carried out with the help of a special beak, so as to lay bare the concrete surfaces of the buttresses already built on which the thrust transmitted by the vaults acts. Prior to the execution of the wall, this link system was tested on site with a specific test field that allowed checking both the connection between the two half-vaults and the contact between the buttress and the vault.

Even for these elements rather restrictive vertical tolerances were taken ($\pm 0.5\%$) in order to ensure an effective deep contact between the structural elements. The materials used are: Concrete: $R_{ck} \geq 35$ MPa and Steel for armours: controlled Fe B44k

The structural analysis of the vault was developed with two-dimensional models adopting the hinge constraint on vertical sides (connections with the buttresses), and introducing appropriate horizontal constraints at the bottom slab and, if present, under the floor slabs. In modelling the presence of soil below the bottom slab was also simulated and as actions the soil thrust was considered (assumed to favour safety when boost at rest), and the action associated with the presence of the layer acting -10.0 m from ground level.

The vertical armour of the vaults consists of 20 mm \varnothing irons with 200 mm pitch along the entire height, integrated into the contact area between the HS floor and the vault, with an additional 24 mm \varnothing iron with 200 mm pitch positioned on the ground. The horizontal armour consists of 16 mm \varnothing irons with 200 mm pitch, constant over the entire height. There is also a connecting armouring of longitudinal bars consisting of 10 mm \varnothing pins with 400/400 mm pitch.



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 15 - La trave di coronamento a "C".
Fig. 15 - The "C" beam on the top of buttress and vaults.

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 (fig. 16).

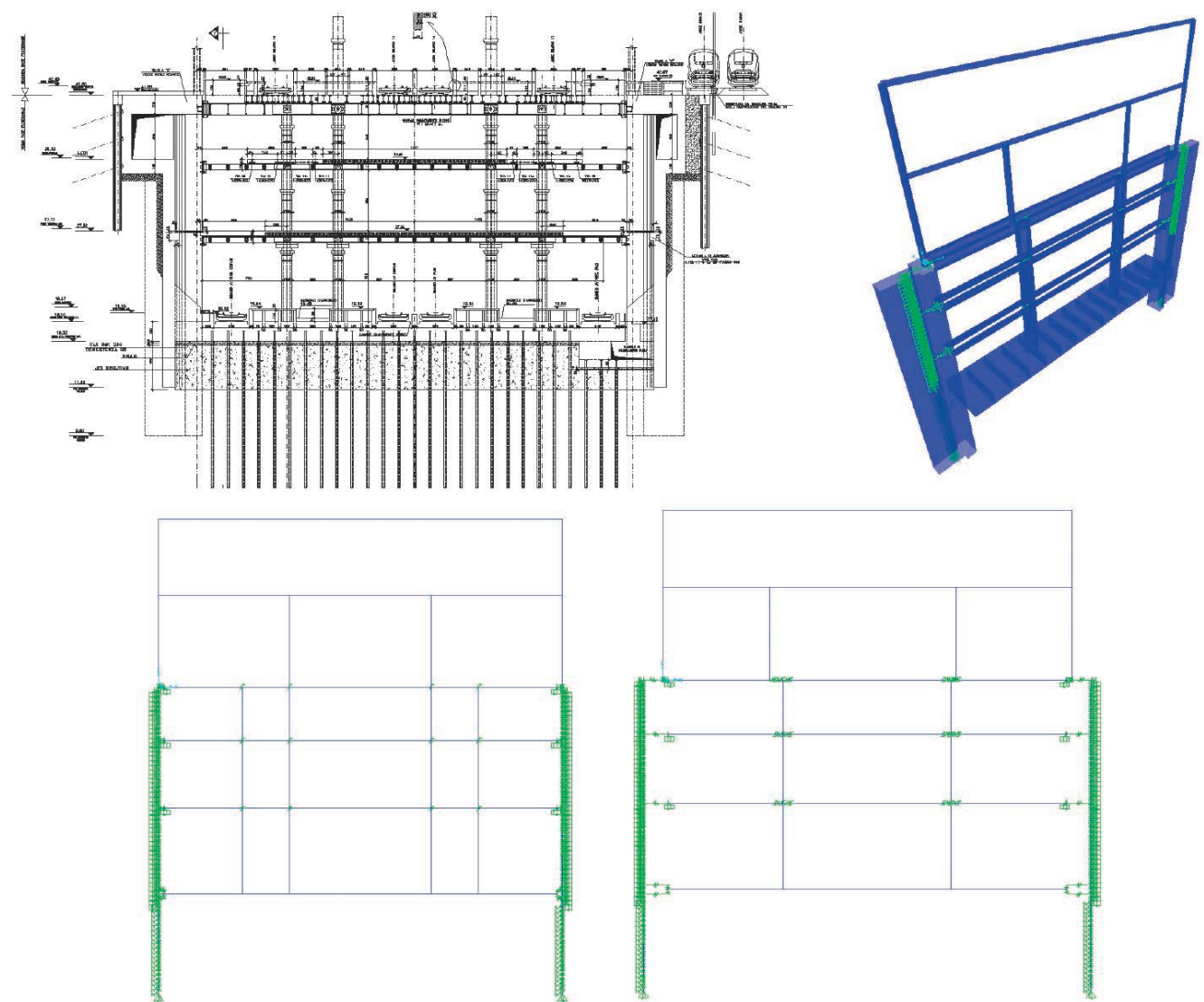
La geometria dei puntoni è stata studiata in modo tale da garantire l'orizzontalità degli stessi in configurazione finale. I puntoni sono stati realizzati in carpenteria metallica sia per contenere i pesi propri nelle fasi transitorie che per evitare l'insorgere di stati coattivi negli speroni indotti 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

The entire structure of the hall was stiffened and supported through a continuous longitudinal coping beam with box-section, so-called "C-beam", measuring 8.00 m x 8.00 m, connected at the top of the buttresses and vaults and contrasting the retaining wall, in order to eliminate the temporary tie-rods of this structure. This coping element is intended to house the sub-services and facilities of the station internally. The upper slab of this artefact was also used as a transit bridge for work means during construction (fig. 15).

3.4. Struts, columns and floors

As mentioned previously, to ensure the proper contrast to perimeter containment structures of the lands, with the lowering of the excavation the strut beams in metallic carpentry were



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 16 - Stralci modelli di calcolo bidimensionali per il dimensionamento delle strutture dei telai di stazione con analisi stage construction.

Fig. 16 - Sketch of two-dimensional calculation models for the sizing of station frames with stage-construction analysis.

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 (fig. 17).

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 20-35 mm 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 dal 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. Queste colonne sono state completate con un getto di calcestruzzo in opera all'interno di "gusci" in G.R.C.; in tal modo si è garantita sia la prestazione strutturale insieme ad una idonea qualità estetica della finitura esteriore (figg. 18, 19 e 20).

I puntoni e le colonne costituiscono i telai trasversali del camerone di stazione. Stante la notevole complessità distributiva e funzionale dell'opera, l'articolazione geometrica dei 54 telai trasversali presenta variabilità significative e da questo punto di vista possono distinguersi tre tipologie di telai:

- i telai cosiddetti ordinari, ovvero quelli le cui strutture verticali portanti sono costituite da pilastri e che presentano una certa regolarità, sia in termini di disposizione in pianta, sia in termini di continuità verticale dei pilastri sino in fondazione (assenza di pilastri in falso);



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 17 - I diversi ordini di puntoni metallici in fase di scavo.
Fig. 17 - Various orders of metal struts during excavation.

introduced immediately below the height of the floor slabs, identifying different types of vertical struts. In view of the considerable amount of axial actions applied to the struts by buttresses and the significant length of the same (equal to the width of the station), a particular type of vertical constraint was studied to ensure stability in the vertical plane in the transitional stage and, at the same time, mitigate the effect of self-weight: first-type buttresses were suspended from above at the C-beam by means of inclined rods attached to the upper wing of the C, while lower type ones were hung to those above (fig. 16).

The geometry of the buttresses has been designed in such a way as to guarantee the horizontality of the same in the final configuration. Buttresses were made in metal structure to hold both own weights in transitional phases and to avoid coercive conditions in buttresses induced by elastic and viscous deformations of struts (attributable to the considerable axial load due to the pressure of the soil).

Metal struts consist of double T profiles matched by appropriate braces, made of three parts assembled on site; the overall length was determined taking into account suitable tolerances to compensate for thermal effects, irregularities of the buttresses, need for handling, etc. The connection plates of the strut beams to the buttresses have been joined by threaded bars and/or dywidag bars introduced in specific housings mounted in the buttress cages and Emaco type mortar casts to ensure the contact plate/buttress recovering tolerances (fig. 17).

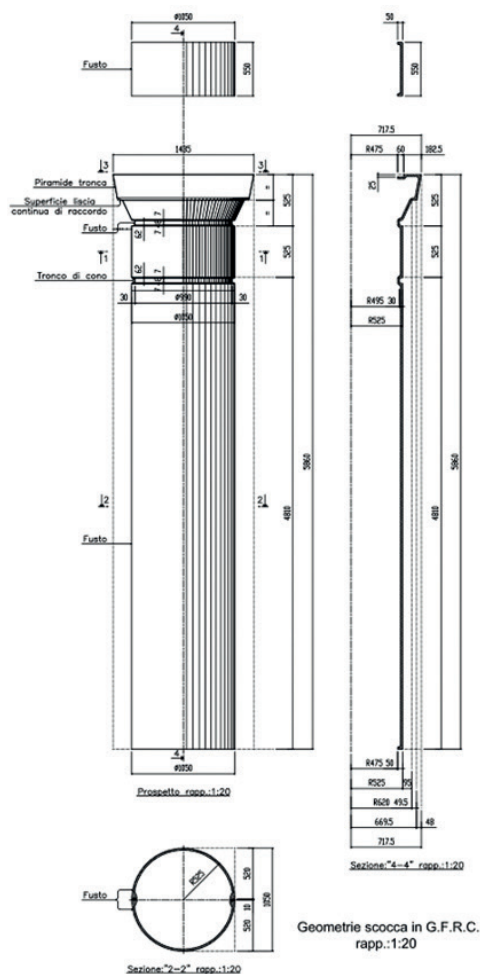
All non-metallic elements not incorporated in the concrete such as, precisely, strut beams, were protected from fire by applying a coating of calcium silicate layers with thickness varying from 20-35 mm to provide R 180 class fire resistance for the FS floor and R 120 for the underground floors.

The vertical load-bearing structures of the station consist of steel concrete composite columns (with double T profiles, appropriately stiffened and pegged with closing plates at certain sections), arranged according to a regular mesh on almost the whole layout: each alignment provides from 2 to 4 columns ranging from bottom slab to FS floor. The choice to adopt composite structures for the pillars was imposed by both the extent of rail overloads, and the need to withstand the impact of trains in case of derailments.

These columns were completed in situ with a concrete cast inside G.R.C. "shells"; in this way both the structural performance together with a suitable aesthetic quality of the external finish was guaranteed (figures 18, 19 and 20).

Struts and columns constitute the transverse frames of the railway station hall. Given the considerable distributive and functional complexity of the work, the geometrical articulation of 54 transverse frames has significant variability, and from this point of view, three types of frames can be distinguished:

- the so-called ordinary frames, i.e. those whose vertical load-bearing structures are formed by pillars and with some regularity, both in terms of layout arrangement, and in terms of the vertical continuity of the pillars to the foundation (no fake pillars);
- the so-called special frames, falling in the end areas where it



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 18 - Le colonne e il rivestimento in GRC.
Fig. 18 - The columns and the GRC coating.

- i telai cosiddetti speciali, ricadenti nelle zone di testata dove non è stato possibile mantenere la verticalità delle colonne (a causa della geometria dei binari di precedenza al piano AV in prossimità degli imbocchi alle gallerie), e nei quali si è dovuto ricorrere alla realizza-

was not possible to maintain the verticality of the columns (due to the passing track geometry at the HS floor near the entrances to the galleries), and in which the resort to making continuous reinforced concrete panels was necessary and/or wall beams always incorporating metal struts;



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 19 - Parte bassa di un telaio speciale.
Fig. 19 - Lower part of a special frame.



(Fonte - Source: Italferr)

Fig. 20 - Le colonne e i telai trasversali.
Fig. 20 - The columns and the transversal frame.

zione di setti continui in c.a. e/o travi parete sempre inglobando i puntoni metallici;

- i telai della zona cattedrale, allineamenti da 11 a 19, dove ci sono solo due colonne sull'intero allineamento e non è presente il solaio del piano VAV. In questi telai le colonne presentano caratteristiche speciali (diametro 2,00 m).

I solai hanno generalmente uno schema statico di trave continua su cinque campi da 12 m per una lunghezza pari a 60 m; la stazione risulta così suddivisa in 11 settori ciascuno dei quali comprende 6 allineamenti; solo i settori di 10 e 11 comprendono, rispettivamente, 5 e 4 allineamenti.

Ad eccezione delle sole zone di testata, i solai sono sostenuti dalle travi dei telai principali disposte in corrispondenza dei vari allineamenti mediante apparecchi di appoggio multidirezionali ispezionabili/sostituibili e sono vincolati allo spostamento nel piano da crociere di controvento che li bloccano agli speroni nell'allineamento centrale di ogni "settore".

I solai interrati di stazione (VAV, Park e Kiss&Ride) sono stati realizzati principalmente con elementi prefabbricati autoportanti alveolari di altezza 36 cm (per i solai Park e Kiss& Ride) e di altezza 42 cm (per il VAV) con luci di circa 10,50 m, solidarizzati con un successivo getto di calcestruzzo dello spessore di 8 cm armato con rete elettrosaldata. Le aree di solaio interessate da carichi elevati (scale mobili, ascensori, zone impianti, ecc.) e geometrie atipiche sono state realizzate con calcestruzzo armato gettato in opera e profili metallici annegati.

Il solaio di copertura del camerone "solaio FS" che sostiene alcuni binari ferroviari di superficie, è stato calcolato come un ponte ferroviario, ed è realizzato con elementi prefabbricati in c.a. autoportanti dello spessore di 50 cm, solidarizzati da successivo getto in c.a. dello spessore di 30 cm. Per i campi, che sostengono i sottopassi appesi, è stata adottata la soluzione a travi metalliche incorporate nel calcestruzzo che ha consentito la riduzione dello spessore del solaio per garantire franchi sufficienti al disopra del piano del Kiss&Ride.

3.5. Gli impianti

Un organismo architettonico caratterizzato da una notevole complessità e che si sviluppa a livello ipogeo, ha richiesto la progettazione e l'installazione di una molteplicità di impianti civili, industriali e di sicurezza che sono stati inseriti all'interno del progetto come parte integrata all'architettura stessa.

A tal fine, ogni piano ospita dei controsoffitti all'interno dei quali si sviluppano tutti gli impianti della Stazione, 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

- *the frames of the cathedral area, from alignments 11 to 19, where there are only two columns on the entire alignment and there is no slab of the VAV floor. Columns have special features in these frames (2.00 m diameter).*

Floors generally have continuous girder static scheme on five 12 m spans with a length of 60 m; the station is hence divided into 11 sectors, each of which includes 6 alignments; only sectors 10 and 11 include, respectively, 5 and 4 alignments.

With the exception of the end areas only, the floors are supported by major frame beams arranged in correspondence with the various alignments using multi-directional support devices that can be inspected/replaced and are constrained to move in the floor by bracing cross vaults that lock them at the spurs in the central alignment of each "sector".

The station underground floors (VAV, Park and Kiss&Ride) were built mainly with 36 cm high honeycomb self-supporting prefabricated elements (for Park and Kiss&Ride floors) and 42 cm high (for VAV) with approximately 10.50 m spans, supported with a further reinforced concrete casting with welded mesh with a thickness of 8 cm. Floor areas affected by elevated loads (escalators, lifts, system areas, etc.) and atypical geometry were built with in situ reinforced concrete and buried metal profiles.

The cover slab of the "FS floor" hall that supports some surface railway tracks, was calculated as a railway bridge, and is made of self-supporting precast reinforced concrete with a thickness of 50 cm supported with a subsequent reinforced concrete casting with a thickness of 30 cm. For spans that sustain hanging underpasses a solution with metal beams embedded in concrete was adopted that allowed the reduction of the thickness of the floor to ensure sufficient free spaces above the Kiss&Ride floor.

3.5. The systems

An architectural organism characterised by considerable complexity and that develops underground, required the design and installation of a variety of civil, industrial and safety systems that were introduced in the project as an integrated part of the architecture itself.

To this end, each floor houses false ceilings within which all station facilities develop, each architecturally conceived to ensure the harmony of architectural and structural elements.

On the HS platforms floor 4 elements have been built, with trapezoidal section, each for each track, which run longitudinally to the platforms housing the ventilation, fire prevention, information to the public and lighting systems. These elements consist of a steel structure covered in microporated aluminium sheet metal panels. On the upper floor, 2 elements that develop longitudinally above the HS Hall, called "capping beams" have been studied with the purpose of leaving the central area free from the passage of systems. The systems are conveyed within each "capping beam" false ceiling so that they can run along the whole floor perfectly.

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 “coppo- ni”. 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 (fig. 21).

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 ed hanno consentito di valutarne l’idoneità.

ly integrated with the structures. These false ceilings have a sinuous shape designed in harmony with the columns above which they develop. They consist of a metallic structure anchored to the floor and covered in sheeted sheets in painted aluminium. Blinds useful for maintenance and for the ventilation system are inserted laterally.

From the railway technological systems point of view, it should be pointed out that the Bologna HS Central station is the first high speed station in the world to use the level 2 (without lateral light signals) ERTMS system (European Rail Traffic Management System) already operating on other HS lines. This system manages and monitors the safe train distance from Bologna Central Station, the technological centre which governs the entire HS traffic from Milan to Florence. This system was implemented for the first time in the world on the Italian HS/HC network and has become in a short time the European standard with the implementation in the Technical Specifications for Interoperability.

3.6. Architectural finishes

The comfort and character of the architecture was assured with the choice of colours: light colours to provide greater space, colour contrasts to give shape and liveliness, signage as architectural sign as well as orientation and guiding element for the traveller (fig. 21).



(Fonte - Source: Italferr e Astaldi)

Fig. 21 - Finiture architettoniche.
Fig. 21 - Architectural finishes.

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.

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 presentato, 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 (fig. 22).

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.



(Fonte - Source: Astaldi)

Fig. 22 – Stazione completata.
Fig. 22 - Completed station.

The research of architectural quality also passes through the choice of material characteristics in terms of durability, maintainability and safety of use. For this reason the importance of an accurate and comprehensive project was essential that saw the performance requirements clearly defined, and that foresaw the preparation of complete samples of characteristic elements accompanied with the creation of specific prototypes for the more particular ones.

There are many performance requirements which were defined and experimentally controlled for paving such as slip resistance, colour and superficial contrast, mechanical resistance depending on the level of traffic expected, durability and maintainability.

For stone floors, red porphyry for HS and VAV and grey diorite for the underpasses floor and the Carracci Atrium, the discretionary choice (colour quality) was only one of the elements for the selection and approval of the sample that was based on a comparison between the petrographic cards and laboratory tests results that have attested to the compliance with required parameters and have made it possible to evaluate suitability.

For glass coatings, however, the performance characteristics varied depending on the intended use, ensuring, where appropriate: safety against fall, accident prevention, vandalism and burglary.

The integration of architectural, structural and plant engineering components both during design and construction, guarantees the "cleanliness" of the result with the right placement of the end elements of systems, signage and furniture items in harmony with the aesthetic choices made.

4. Conclusions

The article outlined the main features of an important infrastructural work featuring some originality in the design of the structural system and considerable implementation complexity, imposed by the narrowness of available spaces for work and by the strong anthropisation of the scope of intervention. Beyond the specific aspects of each component of the project presented it is appropriate to point out that the illustration of the project and the description of the main executive phases of the work clearly show the strong interrelationship among all the design components that must be conceived and developed in an integrated manner (fig. 22).

This is valid in general, but is particularly important for works characterised by large size and increased functional complexity. Pointing out this condition appears to be very important, as well as highlighting that in order to have an integrated and multidisciplinary approach, we must first have the ability to understand the languages of several specialised components involved in designing: architecture, structure, industrial and civil plant engineering. "Speaking" a common and shared language is essential in order to be fully-fledged protagonists, of a complex multidisciplinary design process.

Sommaire

LA NOUVELLE GARE POUR TRAINS À HAUTE VITESSE DE BOLOGNE

Ce mémoire présente la nouvelle gare pour trains à haute vitesse de Bologne: une nouvelle oeuvre d'infrastructure innovatrice et insérée dans un vaste projet de révision et renforcement du noeud ferroviaire citoyen, un des plus importants d'Italie. Après un rappel des requis fonctionnels du point de vu de l'urbanisme et des transports, ce mémoire décrit le concept architecturale et structurelle, en fonction du contexte territorial, géotechnique et hydre-géologique spécifique. En suite les principales composantes de l'oeuvre sont décrites : le grand hypogée avec les particularités de composition et distribution; les travaux de retenue des terres, particuliers et innovateurs pour plusieurs raisons; les éperons (cloisons avec section en T), les voûtes et les poutres de couronnement; les cadres transversales et les dalles. L'illustration se termine par la description des caractéristiques principales des infrastructures ainsi que des finitions architectoniques. En conclusion l'attention se pose sur la forte interrelation entre toutes les composantes spécialisés impliquées dans le développement de ce type de projets et sur la nécessité que ces-là doivent être conçues et développés de façon intégrée et synergique.

Zusammenfassung

DER NEUE BAHNHOF FÜR HOCHGESCHWINDIGKEITSVERKEHR IN BOLOGNA

Der unterirdische Teil von Bologna Bahnhof ist Hochgeschwindigkeitsverkehr gewidmet und es wird hier eine detaillierte Beschreibung vorgestellt. Dieses Bauwerk ist der wichtigster Teil der Umstrukturierung von Bologna Knotenbahnhof, einer der erheblichsten in Italien. Die Beschreibung beginnt mit der Analyse der funktionellen Anforderungen, danach konzentriert sie sich auf die geotechnischen und Gewässer technischen Merkmalen, Die verschiedene Gliedern des Bauwerks werden dann detailliert examiniert, z. B. die Gestaltung des grossen unterirdischen Raums, die neuartige Strukturkomponenten: die seitliche Strebepfeiler, die kleine Wölbungen, die obere Hauptbalken usw. Die Beschreibung endet mit den technischen Anlagen und architektonischen Einzelheiten. Eine wichtige Schlussbemerkung beschäftigt sich mit den strengen Verhältnissen, die alle Bestandteilen in solchen Projekten verbinden und mit der ständigen Notwendigkeit von Zusammenschluss und Synergie.

TRENI ITALIANI ETR 500 FRECCIAROSSA

Il volume è suddiviso in 5 capitoli:

- 1 LA STORIA DELL'ALTA VELOCITÀ - Nascita dell'Alta Velocità ferroviaria Italiana;
- 2 MARCATURA DEI ROTABILI - Contrassegni ed iscrizioni - Principali requisiti dei rotabili - Struttura componenti dei rotabili - Costruzione della cassa dei rotabili;
- 3 TRENI AD ALTA VELOCITÀ DI TRENITALIA - Frecciabianca - Frecciargento - Frecciarossa - Nascita del treno ETR 500 Frecciarossa - Composizione del treno;
- 4 LOCOMOTORI E. 404 E CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE - Struttura della cassa - Organi della trazione e repulsione - Rodiggio - Carrelli - Principali componenti dei carrelli - Gruppo di trazione, sale montate e sospensioni - Principali impianti di bordo;
- 5 TRENO ETR 500 PTL FRECCIAROSSA - Composizione del treno - Le carrozze della composizione - Struttura della cassa - Carrelli e caratteristiche costruttive - Sospensioni - Sale montate, boccole e cuscinetti - Arredamenti - Principali impianti di bordo.

Volume con copertina cartonata, di 110 pagine, formato 31x22 cm con oltre 150 foto a colori e disegni.

Editrice Veneta via Ozanam, 8 - 37100 Vicenza

Prezzo di copertina € 30,00. Per sconti, spese di spedizione e modalità di acquisto consultare la pagina "Elenco di tutte le pubblicazioni CIFI" sempre presente nella Rivista

