



## La nuova stazione AV di Bologna: le opere di sostegno e consolidamento degli scavi e il sistema di monitoraggio

### Bologna's new HS station: support and consolidation works on excavations and monitoring system

*Dott. Geol. Stefano CIUFEGLI<sup>(\*)</sup>, Dott. Ingg. Francesco SACCHI<sup>(\*)</sup>, Luca UTZERI<sup>(\*)</sup>*

#### 1. Premessa

La realizzazione dell'attraversamento urbano delle linee AV/AC (Alta Velocità/Alta Capacità) a Bologna ha rappresentato l'occasione per riorganizzare l'intero assetto del nodo ferroviario grazie alla costruzione della nuova stazione sotterranea e di importanti opere ingegneristiche, come i nuovi ponti sul Reno e le gallerie che attraversano la città in sotterranea per oltre 10 km.

Il nuovo assetto permetterà di potenziare la capacità di trasporto dell'intero nodo ferroviario passando dai circa 780 treni/giorno (circa 80.000 passeggeri al giorno) nella configurazione attuale (fig. 1) a circa 1.500 treni/giorno al completamento del sistema AV/AC e di quello del trasporto regionale (circa 160.000 passeggeri previsti, di cui 35.000 per l'Alta Velocità) (fig. 2). Infatti la nascita della linea AV/AC consentirà di aumentare l'offerta passeggeri e merci, ma soprattutto decongestionerà le attuali linee, consentendo così sulle linee storiche stesse un aumento della capacità di trasporto locale con riduzione dei tempi di percorrenza.

La nuova fermata dei treni AV sarà quindi interrata, ma in corrispondenza dell'attuale stazione, conservando il vantaggio di essere in posizione centrale, a ridosso del centro storico, e garantendo un facile interscambio tra i treni veloci e quelli regionali.

Come detto la stazione AV di Bologna è stata progettata in maniera tale che il traffico ordinario si sviluppi alla quota del piano del ferro attuale, mentre quello veloce si svolga quasi interamente in sotterraneo. Il nuovo assetto consentirà di permettere un aumento dei servizi, migliorando la mobilità dei cittadini senza sottrarre ulteriore spazio alla città in superficie, e di limitare l'impatto ambientale del passaggio dei nuovi treni veloci sulla città.

#### 2. L'impianto strutturale

La nuova Stazione AV di Bologna si sviluppa in sotterraneo in corrispondenza dell'attuale Stazione Centrale, al

#### 1. Introduction

The realisation of the HS/HC (High Speed/High capacity) urban crossing line in Bologna has provided the opportunity to reorganise the entire railway structure through the construction of the new underground station and important engineering works, such as new bridges on the Reno and the tunnels that run underground the city for over 10 km.

The new structure will allow to increase the transport capacity of the entire railway from approximately 780 trains/day (about 80.000 passengers daily) in the current configuration (fig. 1) to approximately 1.500 trains/day upon completion of the HS/HC system and of regional transport (a forecast of approximately 160.000 passengers, of which 35.000 for High Speed) (fig. 2). In fact, the birth of the HS/HC line will increase the passengers and freight offer, but it will especially relieve the congestion of the current lines, allowing an increase of local transport capacity on the same historical lines with reduced travelling times.

The new HS train station will therefore be underground, but in correspondence of the current station, maintaining the advantage of being centrally located, near the historical centre, and ensuring an easy interchange between the fast trains and regional ones.

As said the HS station in Bologna was designed in such a way that ordinary traffic develops at the level of the present upper surface of the rail, while fast traffic runs almost entirely underground. The new structure will allow an increase in services, improving the mobility of citizens without subtracting additional surface area from the city and will limit the environmental impact on the city due to the transit of new fast trains.

#### 2. The structural system

The new HS station in Bologna develops underground in correspondence with the current Central Station, below

<sup>(\*)</sup> Italferr S.p.A.

<sup>(\*)</sup> Italferr S.p.A.

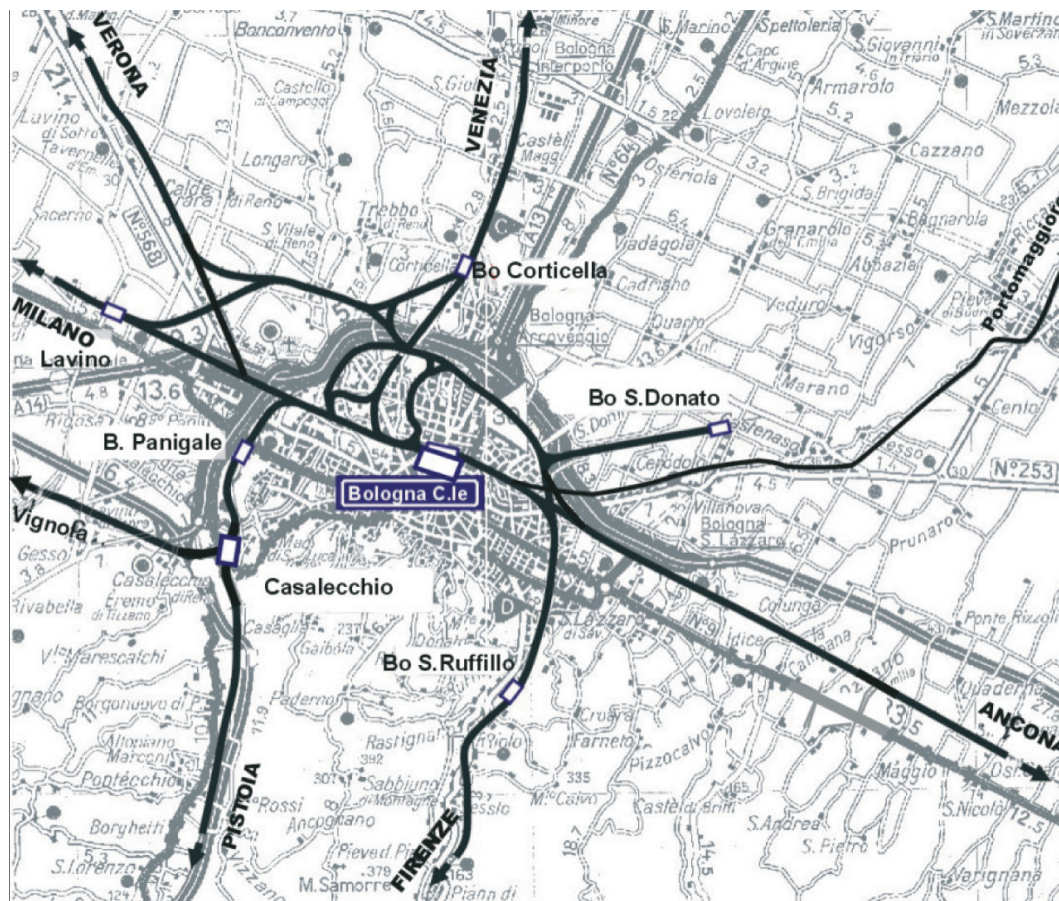


Fig. 1 - Nodo di Bologna attuale. Current railway junction in Bologna.

di sotto dei binari più distanti dal fabbricato viaggiatori esistente, per un'estensione di circa 640 m di lunghezza e 56 m di larghezza (fig. 3). Il piano del ferro AV, che accoglie quattro binari dedicati esclusivamente ai treni AV, è collocato ad una quota di 18.20 m s.l.m. al di sotto del piano del ferro di superficie.

L'opera è realizzata con il ricorso a scavo a cielo aperto sostenuto da paratie perimetrali, con dismissione temporanea dei binari di superficie interferenti.

La configurazione architettonica e funzionale dell'impianto prevede la successione di diversi livelli posti a differenti quote e aventi particolari destinazioni funzionali. Procedendo dall'alto verso il basso si individuano (figg. 4, 5 e 6):

- piano FS alla quota dell'attuale fascio binari di stazione e futura sede dei binari di superficie temporaneamente dismessi;

the tracks that are furthest from the existing passenger building, for a stretch of about 640 m long and 56 m wide (fig. 3). The upper surface of the HS rail, which houses four tracks dedicated exclusively to HS trains, is placed at a height of 18.20 m above sea level below the present upper surface of the rail.

The project is performed with the use of open-sky excavation supported by perimetric bulkhead, with temporary disposal of interfering surface tracks.

The architectural and functional configuration of the system envisages the succession of different levels placed at different heights and with particular functional destinations. Proceeding from top to bottom one can find (figures 4, 5 and 6):

- FS floor at the height of the current station track set and future bed of the temporarily disused surface tracks;



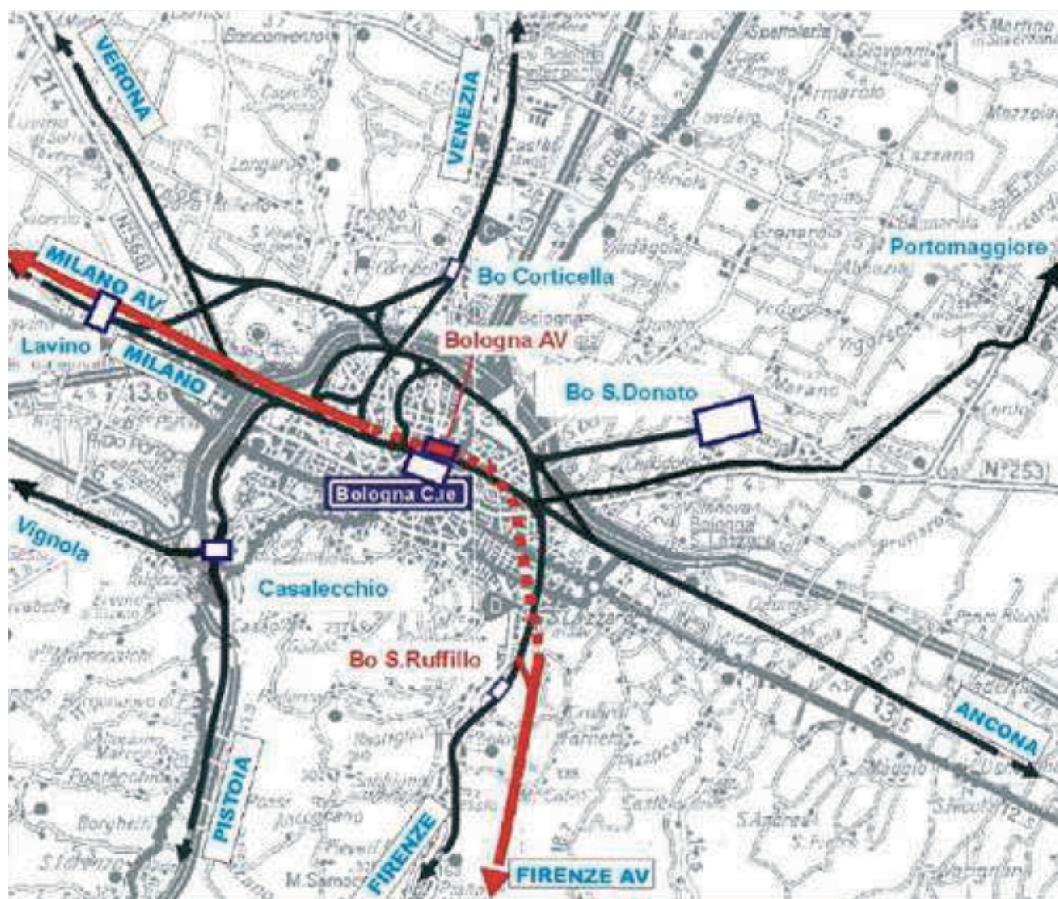


Fig. 2 - Nodo di Bologna al completamento della linea AV/AC (linea rossa); il tratteggio indica il tracciato in galleria. Bologna junction upon completion of the HS/HC line (red line); the dotted line indicates the route in tunnel.

- un primo livello interrato a circa 7 m di profondità che accoglierà la viabilità di accesso alla stazione a servizio dei viaggiatori (piano Kiss & Ride);
- un secondo livello interrato a circa 15 m di profondità, sede del vestibolo AV, con le biglietterie e i servizi per i clienti (piano VAV);
- un terzo livello interrato a 23 m di profondità sede dei 4 binari AV (piano AV).

In corrispondenza delle testate della stazione è previsto un ulteriore livello interrato a profondità di circa 11m, destinato ai parcheggi a servizio dei passeggeri (piano Parking).

L'accesso ai diversi livelli è garantito attraverso gruppi scala e ascensore che dal piano FS scendono fino alle banchine AV.

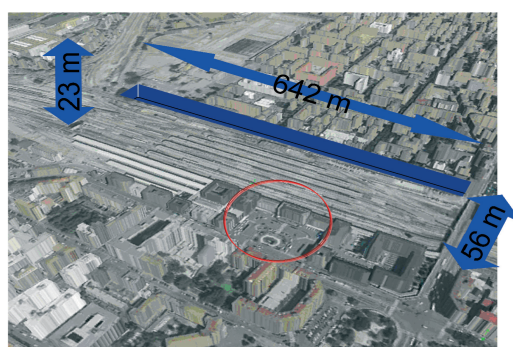


Fig. 3 - Ubicazione e dimensioni della nuova Stazione AV. Location and size of the new HS Station.

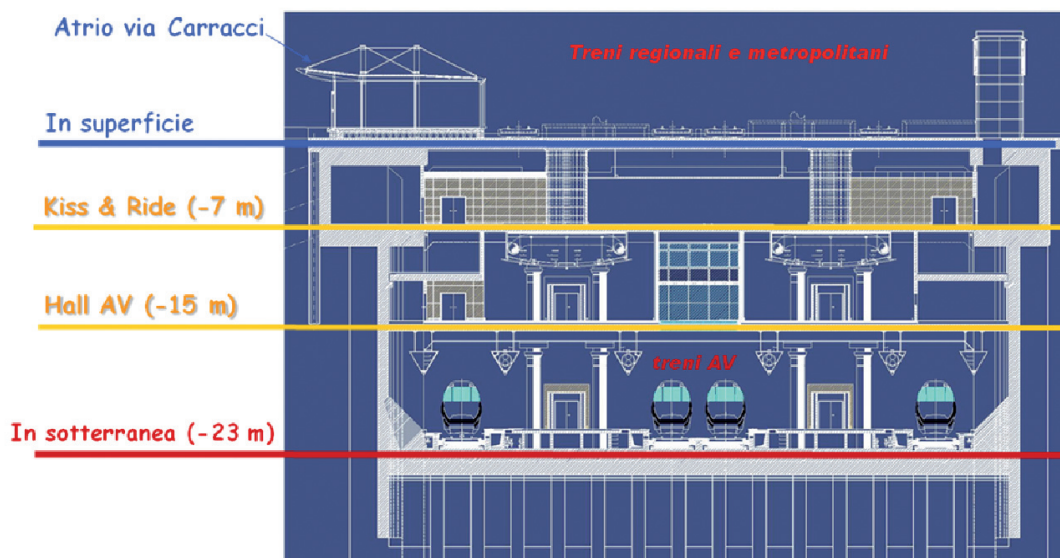


Fig. 4 - Sezione trasversale e layout funzionale. *Cross-section and functional layout.*



Fig. 5 - Il piano AV. *The HS floor.*



Fig. 6 - Il piano hall AV: attesa e servizi al pubblico. *HS hall floor: waiting and public services area.*

L'impianto strutturale della stazione AV comprende le opere di sostegno degli scavi (paratie perimetrali e relativi elementi di contrasto), le opere di fondazione (solette di fondo e relativi elementi di ancoraggio) e le strutture in elevazione necessarie al sostegno dei piani posti alle diverse quote (telai, solai e nuclei scala e ascensore). Opere di sostegno, di fondazione e di elevazione costituiscono tre distinti sotto-insiemi strutturali che interagiscono tra loro in tutte le fasi di realizzazione e di esercizio dell'opera e concorrono a definire un unico organismo geotecnico-strutturale complesso.

Le paratie perimetrali del camerone AV rappresentano il principale elemento innovativo di questa opera, in quanto costituite da elementi strutturali aventi particolari

- a first basement floor at a depth of about 7 m that will house the access roads to the station at passengers' service (Kiss & Ride floor);
- a second basement floor at a depth of about 15 m, the HS vestibule location, with ticket offices and customer services (VAV floor);
- a third basement floor at a depth of about 23 m housing the 4 HS tracks (HS floor).

At the station's heads a further basement level is envisaged at a depth of about 11 m, intended for passenger parking service (Parking floor).

Access to the different levels is guaranteed through



conformazione e funzionamento statico e realizzati con l'ausilio di modalità e tecnologie esecutive innovative: le voltine e gli speroni (fig. 7).

Le voltine sono paratie in c.a. conformate ad arco per conferire alle pareti interne del camerone un "effetto caverna", secondo le indicazioni del progetto architettonico originario della stazione AV. Dal punto di vista statico, esse sono quindi in grado di assorbire la spinta del terreno e dell'acqua, che trasferiscono agli speroni ai quali si appoggiano, sfruttando principalmente il comportamento a compressione del cls. Gli speroni sono paratie "a T" in c.a. costituenti gli elementi di sostegno principale atti ad assorbire le azioni di spinta trasmesse dalle voltine attraverso un comportamento principalmente flessionale.

Speroni e voltine si susseguono in sequenza regolare lungo lo sviluppo longitudinale del camerone ad interasse di 12 m; le coppie di speroni contrapposti sulle due paratie longitudinali affacciate a distanza di 41 metri determinano gli allineamenti principali che suddividono il camerone in 53 campi.

Voltine e speroni sono stati realizzati da un piano di lavoro posto a quota -7 m dal piano campagna originario; lo scavo per l'abbassamento del piano di lavoro a tale quota è stato sostenuto da una berlinese di pali in c.a. di diametro 800 mm e tiranti disposti su 3 o 4 ordini (fig. 8), avente carattere provvisorio (paratia di "primo salto").

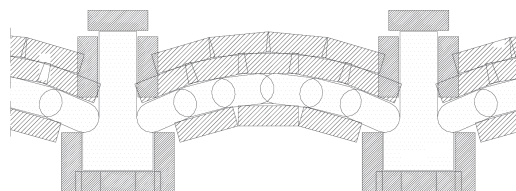


Fig. 7 - Stralcio planimetria speroni e voltine. Excerpt of spurs and vaults plan.

stairway groups and elevators that from the FS floor lead down to the HS platforms.

The structural system of the HS station includes works to support the excavations (perimeter bulkheads and related contrast elements), the foundation works (undercarriage and its anchor elements) and the elevating structures necessary to support floors placed at different heights (frames, floors, staircase cores and elevator). Support, foundation and elevation works are three separate structural subsets that interact in all phases of construction and of operation of the project and contribute to defining a unique complex structural and geotechnical body.

The perimeter bulkheads of the HS station tunnel section (Camerone) are the main innovative element of this

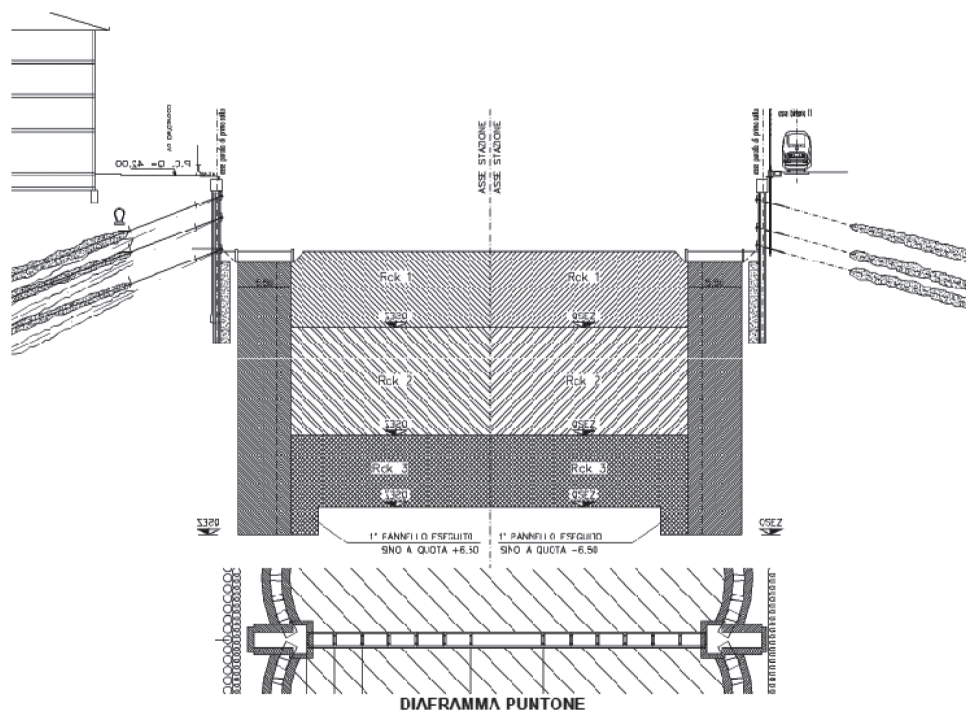


Fig. 8 - Sezione trasversale opere di sostegno. Cross section of support works.

La trave di coronamento di voltine e speroni è costituita da un elemento in c.a. di notevoli dimensioni, avente anche funzione di cunicolo impianti, caratterizzato da una sezione trasversale a C, le cui ali superiore e inferiore si collocano in corrispondenza dei piani FS e K&R rispettivamente (fig. 9).

Gli elementi di contrasto delle paratie sono costituiti da puntoni metallici posti a contrasto degli speroni alla quota dei futuri piani interrati, di cui costituiscono in fase finale le travi di appoggio dei relativi solai, e dal solettone di fondo in c.a. che costituisce la base di appoggio del piano AV. Durante lo scavo, prima della realizzazione del solettone di fondo, il contrasto degli speroni al di sotto del fondo scavo è costituito da diaframmi-puntone in c.a., costituiti ciascuno da una successione di pannelli di diaframma lineari affiancati profondi 25 m, disposti trasversalmente tra due speroni affacciati a distanza di 41 m, che sono stati realizzati dal piano di lavoro a quota -7 m e via via demoliti durante l'approfondimento degli scavi fino alla quota del piano di posa del solettone di fondo (fig. 8).

Le opere di fondazione del solettone di fondo sono costituite da pali in c.a. e micropali, oltre che dagli stessi diaframmi-puntone, ed hanno principalmente la funzione di ancoraggio del solettone nei confronti della sottospinta idraulica della falda.

Le strutture in elevazione sono costituite da telai in carpenteria metallica disposti trasversalmente lungo gli allineamenti degli speroni; le colonne verticali sono fondate sul solettone di fondo in c.a. e su elementi profondi di diaframma-puntone; le travi orizzontali, come detto, costituiscono già dalle fasi di scavo i puntoni di contrasto degli speroni, cui sono vincolati attraverso piastre di ancoraggio in carpenteria metallica.

Completano le strutture in elevazione i nuclei scala e ascensore, costituiti da setti in c.a. che spiccano dal piano delle banchine AV.

Le fasi esecutive per lo scavo del camerone, una volta realizzate le strutture di contenimento perimetrale, hanno previsto tipicamente una sequenza "bottom up", con esecuzione delle strutture in elevazione dal basso verso l'alto successivamente al raggiungimento del fondo scavo alla quota di -23.5 m dal piano campagna; come detto, però, gli elementi di contrasto degli speroni in fase provvisoria sono gli stessi puntoni metallici che in fase definitiva costituiscono le travi di appoggio dei solai (fig. 9).

In corrispondenza delle testate del camerone, le paratie perimetrali sono costituite da diaframmi lineari, per facilitare lo sbocco delle gallerie naturali del passante AV. Non potendo realizzare elementi puntuali che mettano a contrasto le due paratie di testata poste a distanza di 640 m, esse sono contrastate già dalle fasi di scavo dai solai di piano. In queste zone quindi le strutture di elevazione devono essere eseguite procedendo dall'alto verso il basso, attraverso una sequenza "top down". I settori di testata realizzati in "top down" sono limitati ai campi a ridosso delle testate comprese fra i primi allineamenti di speroni;

project, as they are constituted by structural elements having particular conformation and static operation and realised with the help of innovative enforcement technologies and modes: Vaults and Spurs (fig. 7).

The small vaults are arch conformed bulkheads in reinforced concrete to confer a "cave effect" to the inner walls of the Camerone, according to the original architectural project of the HS station. From the static point of view, they are then able to absorb the earth and water pressure, which they transfer to the Spurs which lean on, using primarily the compression behaviour of the concrete. Spurs are "T" shaped bulkheads in reinforced concrete constituting the main support elements absorbing the boost transmitted by the small Vaults through a mainly flexural behaviour.

Spurs and Vaults follow in a regular sequence along the longitudinal development of the CAMERONE with a 12 m centre distance; the pairs of opposing Spurs on the two facing longitudinal bulkheads at a distance of 41 metres determine the main alignments that divide the Camerone in 53 fields.

The small Vaults and Spurs have been built according to a work plane placed at a height of -7 m from the original ground level; the excavation for the lowering of the work plane at this height was supported by soldier pile walls in reinforced concrete with a diameter of 800 mm and provisional tie rods arranged on 3 or 4 levels (fig. 8), ("first stage" bulkhead).

The crowning beam of the small Vaults and Spurs consists of a considerably large element in reinforced concrete featuring also a plant passage function, characterised by a C-cross section, whose upper and lower wings are located at the FS and K&R floors respectively (fig. 9).

The contrast elements of the bulkheads consist of metal struts to contrast the Spurs at the height of the future basements, which are the support beams of the floors in the final phase, and of the reinforced concrete undercarriage that is the stand of the HS floor. During the excava-

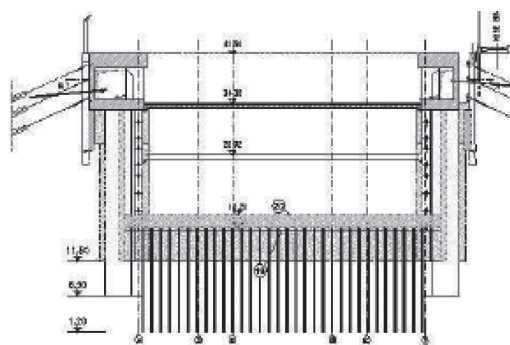


Fig. 9 - Sezione di scavo "bottom up". Section of "bottom up" excavation.



in questi campi, tra sperone e sperone sono previste paratie rettilinee anche in direzione longitudinale, con la funzione di ulteriore contrasto per le paratie di testata (fig. 10).

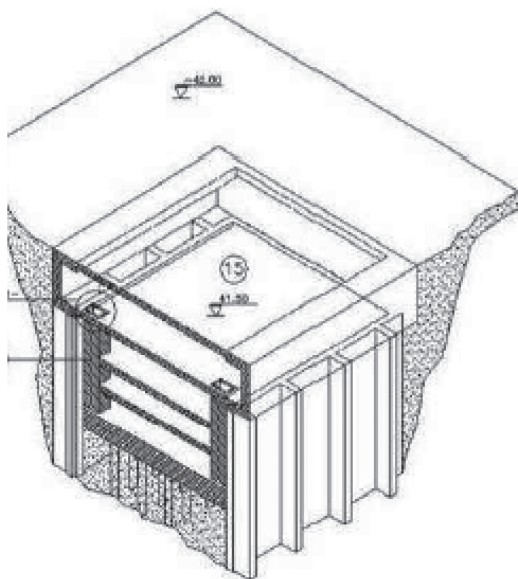


Fig. 10 - Le testate. The heads.

Per migliorare le condizioni di stabilità del fondo scavo in fase esecutiva è stata prevista la realizzazione di un tampone di fondo in jet-grouting di 5 m, di spessore avente funzione di ridurre la permeabilità del terreno e aumentarne la rigidità (fig. 9). In corrispondenza delle testate, il terreno consolidato svolge anche la funzione strutturale di contrasto al piede delle paratie lineari. In previsione di possibili ingenti azioni di sottospinta idraulica già in fase esecutiva, per impedire il sollevamento del tampone di fondo sono stati previsti pozzi di sfogo distribuiti principalmente lungo il perimetro interno del camerone, allo scopo di intercettare il moto di filtrazione dell'acqua di falda al piede delle paratie.

### 3. Il contesto idrogeologico e geotecnico

Il sottosuolo bolognese è caratterizzato dalla presenza di numerosi strati aventi composizione granulometrica variabile dalle argille limose di alta plasticità alle sabbie limose e alle sabbie con ghiaie. La distribuzione spaziale degli strati a differente composizione granulometrica, con particolare riferimento a quelli sabbiosi ghiaiosi, risulta variabile da punto a punto, essendo stata originata dall'espansione verso la pianura dei conoidi dei fiumi e torrenti appenninici.

tion, before the completion of the undercarriage, the contrast of the Spurs below the excavation bottom consists of diaphragms-struts in reinforced concrete, each consisting of a succession of side by side 25 m deep linear diaphragm panels, placed transversely between two facing Spurs at a distance of 41 m, which were made by the work plane at an altitude of -7 m and gradually demolished during the deepening of the excavations until the height of the laying floor of the undercarriage (fig. 8).

The foundation works of the undercarriage are formed by reinforced concrete piles and micropiles, besides the diaphragm-struts, and have mainly the undercarriage anchor function against the hydraulic under-pressure of the layer.

The elevation structures consist of metallic carpentry frames arranged transversely along the alignments of the Spurs; the vertical columns are based on the undercarriage in reinforced concrete and on deep elements of the diaphragm-strut; the horizontal beams, as mentioned, are the struts which contrast the Spurs already from the excavation phases and to which they are bound by means of anchor plates in metallic carpentry.

The staircase cores and the lift complete the elevation structures, constituted by reinforced concrete diaphragms that stand out from the HS platform floor.

The steps for implementing the excavation of the hall, once implemented the perimeter containment structures, have envisaged a typical "bottom up" sequence, with execution of the structure in elevation from below upwards after reaching the excavation bottom at an altitude of -23.5 m from the ground level; as said, however, the elements of contrast of the spurs in the provisional stage are the same metal struts that are the floor support beams in the final phase (fig. 9).

In correspondence with the heads of the Camerone (Station tunnel section), the perimeter bulkheads consist of linear diaphragms, to facilitate the outlet of natural tunnels of the HS link. Unable to make precise elements that put in contrast the two head bulkheads placed at a distance of 640 m, they are already strained by the excavation stages of the floors. Therefore, in these areas the elevation structures must be performed from top to bottom, through a "top down" sequence. The head areas performed in "top down" are limited to the fields behind the heads between the first alignments of Spurs; in these fields, between Spur and Spur straight bulkheads in longitudinal direction are also planned, with further contrast function to the head bulkheads (fig. 10).

To improve the stability conditions of the excavation bottom in the execution phase, a 5 m thick bottom bott in jet-grouting was carried out, with the function of reducing the permeability of the soil and increasing the stiffness (fig. 9). In correspondence of the heads, the consolidated soil also has a structural contrast function at the foot of the linear bulkheads. In anticipation of possible massive hydraulic under-pressure actions already in the execution phase, venting boreholes mainly distributed along the in-

Nella zona della stazione AV prevalgono i materiali argilloso-limosi; i corpi a granulometria più grossolana, di forma lenticolare, costituiscono le digitazioni terminali dei conoidi dei torrenti minori e sono costituiti principalmente da sabbie, sabbie limose e sabbie con ghiaia.

La pressione neutra è determinata dalle particolari condizioni di alimentazione e di drenaggio che si verificano caso per caso, in dipendenza dall'infiltrazione superficiale nella fascia a diretto contatto con i rilievi collinari, oltre che dalle acque meteoriche e dalle perdite delle reti, ed è quindi variabile in modo praticamente casuale fra valori minimi prossimi a zero e valori massimi corrispondenti ad una idrostatica con pelo libero alla profondità di 5 m al di sotto della superficie del terreno. Il moto di filtrazione delle acque avviene in direzione prevalentemente sub-orizzontale.

In sintesi sono stati rilevati 3 acquiferi, tutti confinati:

- il primo superficiale, costituito da sabbie e sabbie limose, ad una profondità variabili comprese tra 0 e 8 m dal piano campagna (*falda superficiale*);
- il secondo, costituito da sabbie e ghiaie, compreso tra le profondità di 15 e 20 m dal piano campagna (*falda intermedia*);
- il terzo, costituito, sostanzialmente, da sabbie e sabbie limose, compreso tra le profondità di 25 e 38 m dal piano campagna (*falda profonda*).

Vista la complessità emersa dalle prime indagini è stato ricostruito un modello litologico tridimensionale per mezzo di indagini geofisiche (microtremori e tomografia elettrica) e integrato con tutti i sondaggi geognostici eseguiti nelle diverse fasi di progettazione e realizzazione delle opere. In fig. 11 la visualizzazione dei corpi permeabili.

Il trattamento, l'elaborazione, la visualizzazione e la restituzione grafica georeferenziata delle informazioni esistenti sono state realizzate attraverso un sistema esperto di analisi dei dati che ha consentito la costruzione di un grid 3D rappresentante il best fit dell'intero data set dei dati analizzati: geologici, litologici, idrogeologici, geognostici e geofisici. Dal modello così ottenuto si possono estrarre immagini tridimensionali (fig. 11), oppure sezioni bidimensionali (figg. 12 e 13), in cui i diversi orizzonti litologici sono individuati attraverso un determinato colore definito in legenda (R=Riparto; A=Argilla; L=Limo; LS=Limo Sabbioso; S=Sabbia; G=Ghiaia). Questo ha permesso di prevedere in anticipo, in un ambiente così variabile, eventuali criticità durante le fasi di realizzazione di individuare un protocollo comportamentale.

#### 4. Le strutture di sostegno degli scavi del Camerone: voltine e speroni

Le voltine, come anticipato al par. 1, sono paratie aventi sezione orizzontale conformata ad arco ribassato.

side perimeter of the CAMERONE have been planned to prevent the lifting of the bottom bott, in order to intercept the motion of layer water filtration at the foot of the bulkheads.

#### 3. The geotechnical and hydrogeological context

The subsurface in the Bolognese area is characterised by the presence of numerous layers with variable granulometric composition from high plasticity silty clay to gravel sands. The space distribution of layers with different granulometric composition, with particular reference to the sandy gravelly ones, varies from point to point, since it originated from the expansion towards the plain of alluvial river fans and Apennine streams.

In the HS station area silty-clayey materials prevail; the coarsest grain size bodies, lenticular in shape, are the terminal digits of the minor streams fans and mostly consist of sands, silty sands and gravel sands.

The neutral pressure is determined by the particular conditions of supply and drainage that occur on a case by case, depending on surface infiltration in direct contact with the hills, as well as from storm water and losses of the networks, and is therefore virtually random variable between minimums next to zero and maximum values corresponding to a free surface hydrostatics at a depth of 5 m below the ground surface. The water filtration motion is mainly in a sub-horizontal direction.

To summarise, 3 aquifers were encountered, all confined:

- the first superficial one consists of sands and silty sands, at a depth varying between 0 and 8 m from the ground level (*surface layer*);
- the second, consisting of sands and gravels, between depths of 15 and 20 m from the ground level (*intermediate layer*);
- the third, formed basically by sands and silty sands, between depths of 25 and 38 m from the ground level (*deep layer*).

In the light of the complexity emerged from the first surveys, a lithological three-dimensional landscape model has been rebuilt by means of geophysical surveys (micro-earthquakes and electrical tomography) and integrated with all the geognostic surveys performed during the different phases of the planning and construction of the works. Fig. 11 displays permeable bodies.

The treatment, processing, visualisation and geo-referenced graphic reproduction of existing information were performed through an expert data analysing system that allowed the construction of a 3D grid representing the best fit of the entire data set of the analysed data: geological, lithological, hydrogeological, geognostic and geophysical. 3D images can be extracted from the model thus obtained (fig. 11) or two-dimensional sections (figures 12



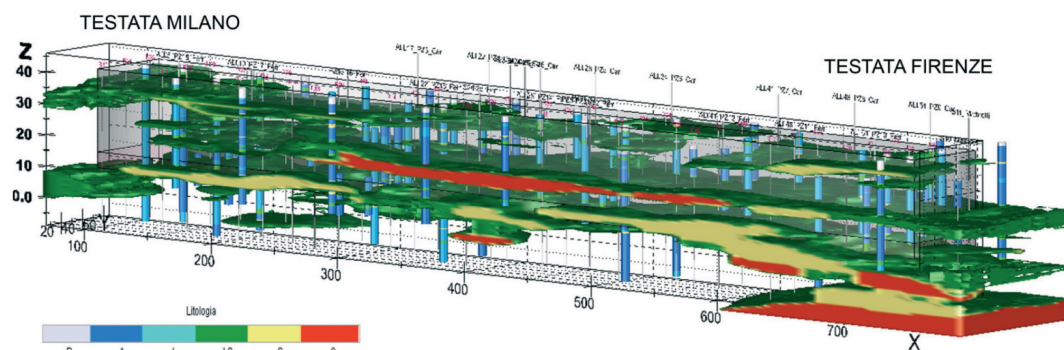
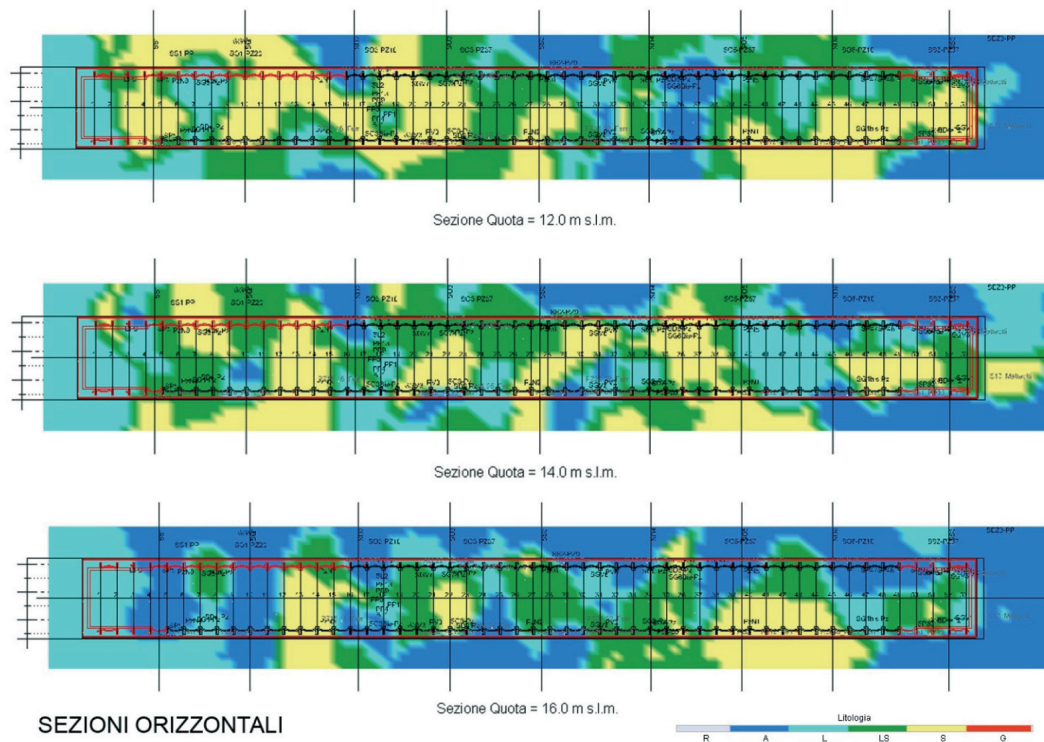


Fig. 11 - Visualizzazione 3D dei corpi permeabili. 3D view of permeable bodies.



SEZIONI ORIZZONTALI

Fig. 12 - Sezioni orizzontali a quote significative per lo scavo. Horizontal sections at significant heights of the excavation.

Esse sono realizzate attraverso lo scavo con benna mordente di 6 pannelli di diaframma di 1.20 m di spessore e 23 m di profondità, per uno sviluppo complessivo in larghezza di circa 12 m tra due successivi speroni (fig. 14).

La realizzazione delle voltine ha previsto l'esecuzione in sequenza temporale di due semi-voltine composte cia-

and 13), in which the different lithological horizons are identified through a specific colour defined in the legend (R = Backfill; A = Clay; L = Silt; LS = Sandy Silt; S = Sand; G = Gravel). This made it possible to foresee any criticalities in advance during the implementation phases and to identify a behavioural protocol, in such a variable environment.

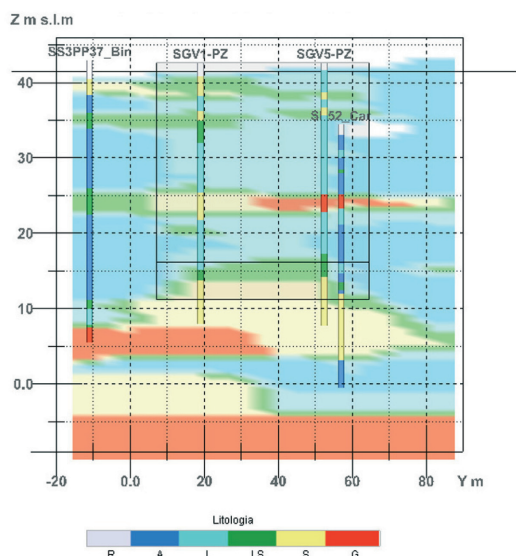


Fig. 13 - Sezione verticale in corrispondenza dell'allineamento 53 (testata Firenze). Vertical section in correspondence of alignment 53 (Florence-side head).

scuna da 3 pannelli di diaframma, il cui tracciamento in pianta ha consentito di determinare la conformazione geometrica ad arco ribassato richiesta dal progetto (figg. 14 e 15). Ciascuna semi-voltina è stata scavata a sua volta nella successione di due pannelli laterali primari e un pannello secondario centrale; l'area della sezione di scavo dell'intera voltina risulta prossima ai 10 m<sup>2</sup>. L'armatura di ogni semi-voltina è stata preassemblata in un'unica gabbia e calata all'interno dello scavo dei tre pannelli prima del getto in unica fase del calcestruzzo.

Le due semi-voltine sono solidarizzate in chiave da un'armatura di continuità, realizzata come di seguito descritto: nella gabbia di armatura della prima semi-voltina (fig. 16) è stato predisposto un tubo cilindrico in PVC del diametro di un metro in corrispondenza del giunto in chiave, da riempire di materiale arido in fase di getto del calcestruzzo della semi-voltina, e da rimuovere durante lo scavo della seconda semi-voltina; nella gabbia di armatura della seconda semi-voltina sono previste delle armature di continuità nel giunto in chiave, che durante la fase di calaggio all'interno dello scavo andranno ad occupare, insieme con il getto di calcestruzzo, lo spazio precedentemen-

#### 4. The supporting structures of the excavations of the CAMERONE: Vaults and Spurs

As anticipated in paragraph 1, the small Vaults are bulkheads with a low arch conformed horizontal section. They are made through the excavation with a 6-panel clamshell with a 1.20 m thick and 23 m deep diaphragm, for an overall development in width of approximately 12 m between two subsequent spurs (fig. 14).

The realisation of the vaults has foreseen the execution timeline of two semi-vaults each composed of 3 diaphragm panels, whose tracking in the layout has allowed to determine the low arch geometric conformation required by the project (figures 14 and 15). Each small semi-vault was in turn excavated in succession of two primary side panels and a central secondary panel; the area of the excavation section of the whole small vault is almost 10 m<sup>2</sup>. The armour of every small semi-vault was preassembled in a single cage and lowered inside the excavation of the three panels before casting concrete in a single phase.

The two semi-vaults are mainly supported by a continuity armour, created as follows: in the armour cage of the first small semi-vault (fig. 16) a cylindrical PVC tube with a diameter of a meter was crafted at the key joint, to be filled with dry material during concrete casting of the small semi-vault, and to be removed during the excavation of the second small semi-vault; in the cage armour of the second small semi-vault, continuity armours are planned, that will occupy the space previously occupied by the temporary PVC pipe of the first small semi-vault, together with the concrete casting, during the lowering phase inside the excavation.

Spurs are formed by bulkheads with a "T" shaped horizontal section (fig. 17) and were made through the excavation of 3 panels with a diaphragm 1.5 m thick and 28 m deep, for a total range in horizontal section of over 10 m<sup>2</sup>.

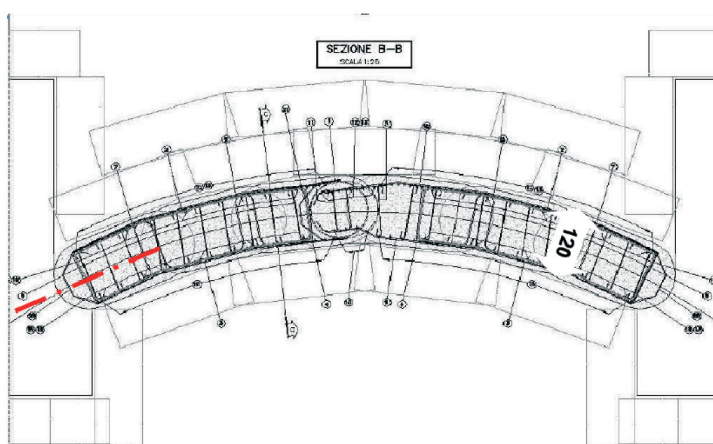


Fig. 14 - Le voltine - Sezione orizzontale. The Vaults - Horizontal section.



te occupato dal tubo provvisorio in PVC della prima semi-voltina.

Gli speroni sono costituiti da paratie aventi sezione orizzontale "a T" (fig. 17) e sono stati realizzati attraverso lo scavo di 3 pannelli di diaframma di 1.5 m di spessore e 28 m di profondità, per uno sviluppo areale complessivo in sezione orizzontale di oltre 10 m<sup>2</sup>.

A causa delle ingenti sollecitazioni di momento flettente e taglio dovute alle azioni di spinta che afferiscono a 12 m di scavo, l'armatura principale degli speroni è costituita da una struttura reticolare in carpenteria metallica del peso complessivo di 70000 kg. L'armatura lenta perimetrale ha la funzione di contenere la fessurazione del calcestruzzo entro i limiti prescritti dal progetto (fig. 18).

Per la limitata capacità di movimentazione dell'armatura degli speroni attraverso i carri-ponte a servizio del cantiere, la stessa è stata suddivisa in due porzioni, inferiore e superiore, preassemblate a piè d'opera e collegate attraverso unioni bullonate in fase di inserimento nella sezione di scavo (figg. 19, 20, 21 e 22).

Lo scavo delle voltine e degli speroni ha previsto l'utilizzo di strumento a benna mordente in fanghi bentonitici. La notevole estensione delle sezioni di scavo, realizzate attraverso più elementi di diaframma contigui, unitamente alla costituzione del sottosuolo dell'area interessata, caratterizzata dalla presenza all'interno di un deposito prevalentemente limo-argilloso di più livelli di terreno granulare sede di falda in pressione, ha comportato la necessità di consolidare preventivamente il terreno lungo il perimetro delle pareti di scavo, per garantirne la stabilità per tutto il tempo di apertura dello scavo prima del getto del cls (circa 20 ore). Infatti, un eventuale parziale franamento delle pareti di scavo in fase di inserimento dell'armatura avrebbe comportato un tempo eccessivo per la messa in sicurezza (circa 10-12 ore), mentre un fenomeno di instabilità in fase di getto avrebbe compromesso irrimediabilmente l'integrità dello sperone.

L'intervento di consolidamento del terreno delle pareti di scavo delle paratie è stato effettuato mediante una tec-

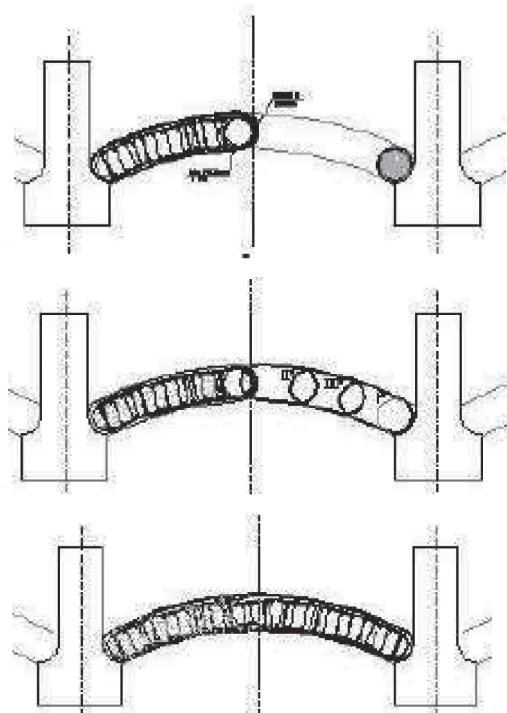


Fig. 15 - Le voltine – Fasi esecutive. *The Vaults – Execution Stages*

Due to the high bending moment and shear stresses due to actions of boost that relate to 12 m of excavation, the main Spurs armour consists of a reticular metal structure with a total weight of 70000 kg. The loose perimeter armour has the function of containing the cracking of concrete within the limits prescribed by the project (fig. 18).

Due to the limited motion capacity of the armour of the spurs through the overhead travelling cranes serving the building site, the same has been divided into two parts, lower and upper, pre-assembled at the construction site and connected through bolted joints during the insertion in the excavation section (figures 19, 20, 21 and 22).

The excavation of the small Vaults and of the Spurs envisaged the use of a clamshell instrument in bentonite muds. The considerable extent of the excavation sections, realised through more contiguous diaphragm elements, together with the formation of the subsoil of the area concerned, characterised by the presence within a predominantly clayey silt deposit of multiple levels of granular soil stratum based in pressure, resulted in the need to consolidate the land in advance along the perimeter of the excavation walls, to ensure stability for the whole time of the opening of the excavation before casting the concrete (about 20 hours). In fact, any partial collapse of the exca-



Fig. 16 - L'armatura della prima semi-voltina. *The armour of the first small semi-vault.*

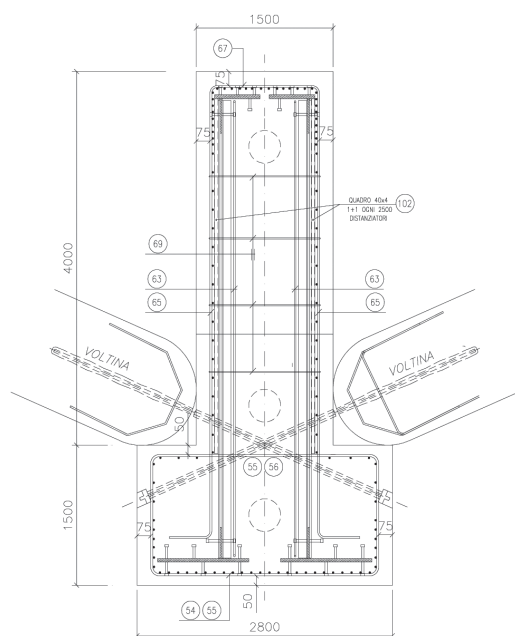


Fig. 17 - Armatura degli speroni - Sezione orizzontale. *Armouring of the Spurs - Horizontal section.*

nologia innovativa, il Cutter Soil Mixing (CSM). Tale intervento è stato esteso, per limiti tecnologici, fino alla profondità massima della base delle voltine (23 m), per cui non ha interessato l'ultimo tratto di 5 metri degli speroni, dove peraltro le caratteristiche del terreno e la maggiore densità dei fanghi garantivano una sufficiente stabilità delle pareti di scavo.

In corso d'opera, per verificare a priori la buona riuscita dei giunti sperone-voltina e dei giunti in chiave delle voltine è stato condotto uno specifico campo prova su elementi sacrificali in scala reale realizzati all'interno del camerone. È risultato quindi necessario dotare gli strumenti di scavo di un particolare rostro in grado di demolire agevolmente il tubo in PVC in chiave alle voltine e raschiare i pannelli di CSM fino a mettere a nudo la superficie di calcestruzzo degli speroni sui cui gettare a contrasto la voltina (fig. 23). Inoltre, data la notevole lunghezza delle paratie, sono state imposte in fase di scavo dei pannelli tolleranze di verticalità particolarmente restrittive ( $\pm 0.5\%$ ) per non compromettere in profondità il contatto fra gli elementi strutturali.

## 5. Il consolidamento del terreno mediante Cutter Soil Mixing (CSM)

Come precedentemente detto le condizioni ambientali e di sicurezza hanno richiesto di prevedere il consolida-



Fig. 18 - Lo scavo dello sperone. *Spur excavation.*

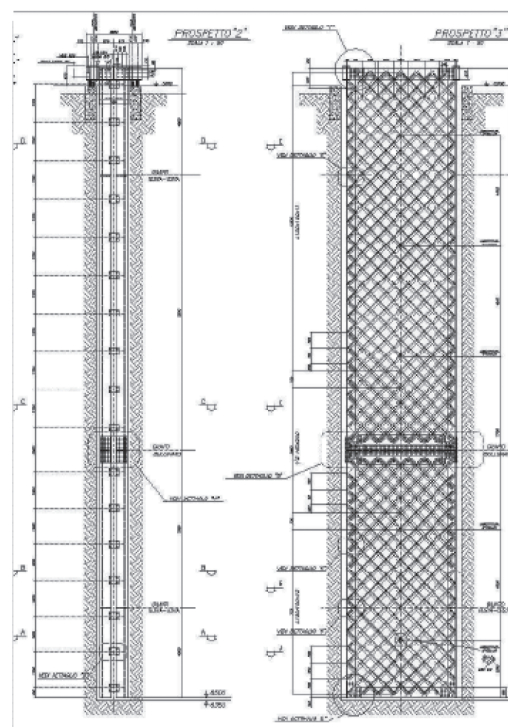


Fig. 19 - Armatura degli speroni - Sezioni verticali. *Armouring of Spurs - Vertical sections.*

vation walls during insertion of the armour would have involved an excessive time for safety implementation (about 10-12 hours), while a phenomenon of instability in casting would have irreparably compromised the integrity of the Spur.





Fig. 20 - Armatura degli speroni - Movimentazione in cantiere.  
*Armouring of Spurs - Handling on the site.*

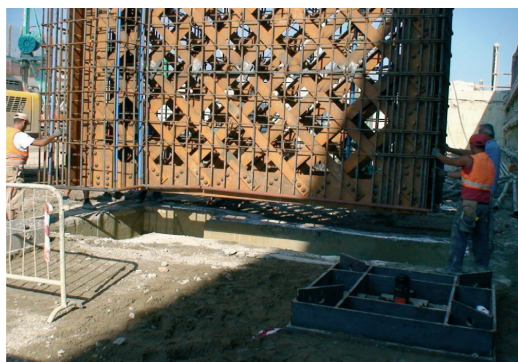


Fig. 21 - Armatura degli speroni - Inserimento del primo elemento.  
*Armouring of Spurs - Introduction of the first element.*

mento del terreno con una tecnologia che permettesse con certezza di ottenere la geometria richiesta e che offrisse la certezza di assenza di discontinuità.

Tale obiettivo è stato raggiunto introducendo una nuova tecnologia che aveva visto la luce pochi anni prima (2003): il CSM (Cutter Soil Mixing).

Essa nasce come una evoluzione della tecnica realizzativa dei diaframmi con idrofresa (fig. 24) e unisce questa tecnica alla miscelazione in situ del terreno con una sospensione acqua/cemento.

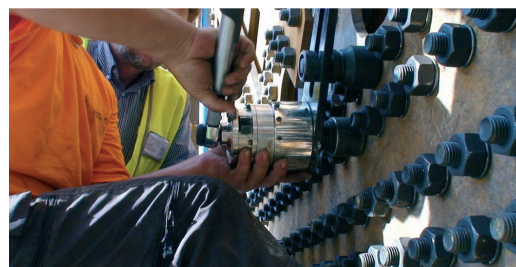


Fig. 22 - Armatura degli speroni - Il controllo con chiave dinamometrica del serraggio dei bulloni tra i 2 elementi costituenti l'armatura degli speroni.  
*Armouring of Spurs - Control of bolts tightening (with torque wrench) between the 2 elements constituting the armour of the Spurs.*

The intervention of soil consolidation of the bulkhead excavation walls was performed using an innovative technology, the Cutter Soil Mixing (CSM). This intervention has been extended, for technological limits, to the maximum depth of the base of the small vaults (23 m), therefore it did not affect the last 5 metre stretch of the Spurs, where besides the characteristics of the soil and the higher density of the muds ensured sufficient stability of the excavation walls.

During works, a specific field test was conducted a priori on full-scale sacrificial elements inside the CAMERONE in order to verify the success of the Spur-small Vault and of the key joints of the small Vaults. It was therefore necessary to equip the excavation tools with a particular beak that could easily demolish the PVC pipe in the Vault crown and scrape the CSM panels until stripping the concrete surface of the Spurs on which the small Vault is to be thrown in contrast (fig. 23). Moreover, given the considerable length of the bulkheads, particularly restrictive verticality tolerances were fixed during the excavation of the panels ( $\pm 0.5\%$ ) so as not to compromise the contact between the structural elements in depth.

## 5. Soil consolidation using Cutter Soil Mixing (CSM)

As previously mentioned, the environmental and security conditions required to envisage the consolidation of soil with a technology that would certainly allow obtaining the required geometry and offer the certainty of absence of discontinuities.

This goal was achieved by introducing a new technology that had seen the light a few years earlier (2003): the CSM (Cutter Soil Mixing).

It was born as an evolution of a manufacturing technique of diaphragms with hydraulic milling cutter (fig. 24) and combines this technique with soil mixing in situ with a water/cement suspension.

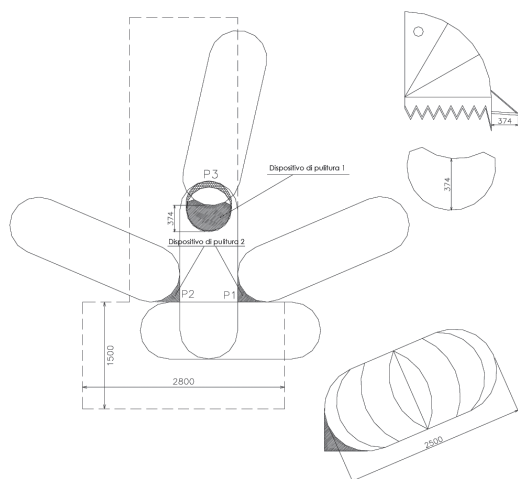


Fig. 23 - Schema campo prova voltine-speroni. *Vaults-Spurs field test plan.*

Come detto la tecnologia deriva da quella utilizzata per i diaframmi (idrofresa) e consiste in batterie fresanti costituite da ruote dentate, azionate da un motore idraulico, capaci di ruotare, indipendentemente, sia in senso orario che antiorario, che scavano e favoriscono la miscelazione del terreno con la malta.

Durante la procedura di discesa delle teste fresanti, il terreno viene frantumato e disgregato; in questa fase un agente fluidificante è iniettato nell'area compresa tra le teste stesse (fig. 25).

Nella fase di estrazione (figg. 26 e 27) le teste fresanti ruotano in maniera tale da mescolare il legante – costituito nel caso di Bologna, da una miscela acqua cemento in ragione di 400 kg di cemento per m<sup>3</sup> di terreno trattato – con il terreno per formare un pannello rettangolare (fig. 28).

La fresa era collegata ad asta di perforazione telescopica (kelly bar), che permetteva il raggiungimento di 23 m di profondità dal piano campagna, e garantiva la necessaria precisione nel posizionamento dei pannelli e nel mantenimento della loro verticalità. Le macchine sono state attrezzate con strumenti di monitoraggio che consentivano all'operatore di correggere in tempo reale la procedura di esecuzione dei pannelli (fig. 29).

Tutti i parametri della lavorazione (velocità di avanzamento e risalita, volumi e pressione del fluido di perforazione e della miscela di iniezione, verticalità, ecc.) per ogni singolo pannello sono stati registrati e archiviati, dopo aver verificato la corretta esecuzione.

I pannelli realizzati avevano dimensioni di 800 mm di spessore per una lunghezza di 2800 mm.

Visto che la falda dell'acquifero intermedio in alcuni punti risultava coincidente con il piano di lavoro a -7 m da

As said the technology is derived from that used for diaphragms (hydraulic milling cutter ) and consists of cutting sets composed of sprockets, powered by a hydraulic motor, capable of rotating independently, both clockwise and counter clockwise, that dig and mix soil with mortar.

During the descent procedure of the milling cutter heads, the soil is crushed and fragmented; in this phase a fluidiser agent is injected into the area between the heads themselves (fig. 25).

During the extraction phase (figures 26 and 27) the milling cutter heads rotate in such a way to mix the binder – that in the case of Bologna, consists of a mixture of water and cement at a rate of 400 kg of cement per m<sup>3</sup> of treated soil – with the soil to form a rectangular panel (fig. 28).

The milling cutter was connected to a telescopic drilling rod (kelly bar), which allowed reaching 23 m depth from the ground level and ensured the necessary precision in positioning the panels and maintaining their verticality. The machines were equipped with monitoring tools that allowed the operator to adjust the panel execution procedure in real-time (fig. 29).

All working parameters (ground and ascent speed, volumes and drilling fluid and injection mixture pressure, verticality, etc.) for each single panel were recorded and stored, after verifying proper execution.



Fig. 24 - Una delle frese utilizzate. *One of the milling cutters used.*



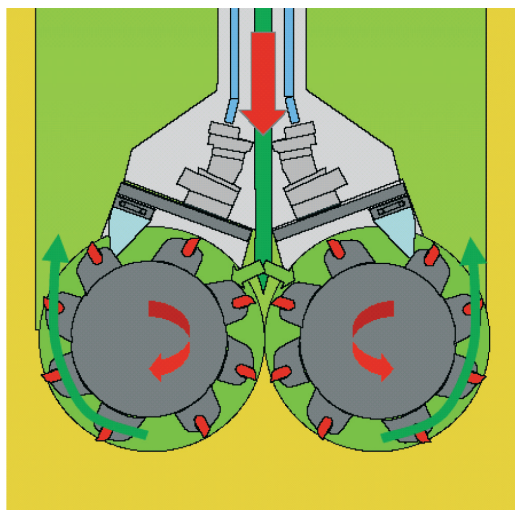


Fig. 25 - CSM. Fase di discesa delle teste fresanti. CSM. Milling cutter heads descent phase.

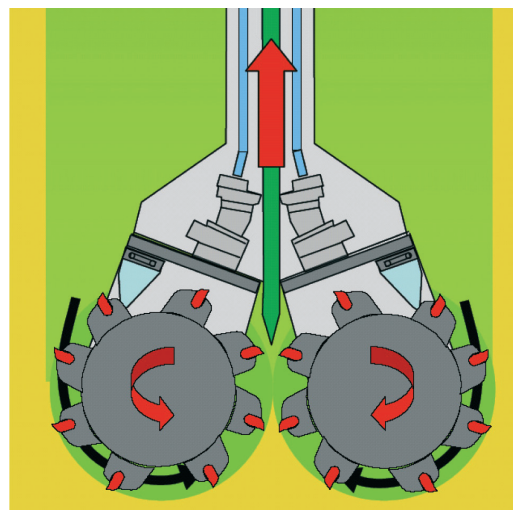


Fig. 26 - Fase di risalita delle teste fresanti. Milling cutter heads rising phase.



Fig. 27 - La fresa in azione. The milling cutter in operation.

p.c., per verificare che non si generassero “scavernamenti” con conseguenti cedimenti all'esterno dell'area di lavoro sono stati eseguiti vari campi prova con fluidi di circolazione costituiti da acqua e da fango bentonitico maturo, preferendo quest'ultimo per la maggiore stabilità dello scavo oltre alla velocizzazione della fase di avanzamento, senza che si determinassero effetti sulle caratteristiche meccaniche del terreno trattato.

Il quantitativo di cemento necessario per il raggiungimento delle caratteristiche meccaniche di progetto del CSM è stato studiato con apposito campo prova.

Dopo l'esecuzione dei pannelli sono stati eseguiti una serie di sondaggi a carotaggio continuo per verificare la



Fig. 28 - Una delle frese utilizzate. One of the milling cutters used.



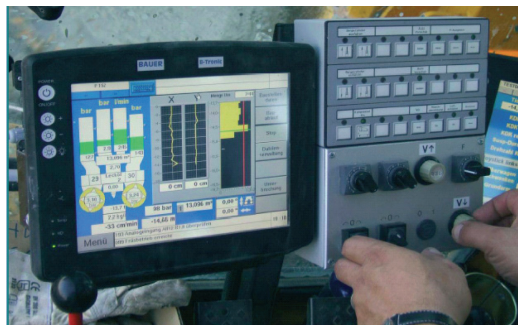


Fig. 29 - Pannelli di comando e controllo delle frese CSM.  
*Command and Control Panels of CSM milling cutters.*

continuità del trattamento e per prelevare dei campioni su cui eseguire le prove di verifica dei requisiti di resistenza richiesti dal progetto.

Il valore medio della resistenza a compressione, ottenuto dall'analisi di circa 260 campioni, è stato di 3,02 MPa.

La bontà del trattamento è certificata dal fatto che solo 3 campioni hanno fornito valori di poco inferiori a quanto richiesto dal progetto (2 MPa) (figg. 30 e 31).

## 6. Il monitoraggio geotecnico, strutturale e topografico

Le peculiari caratteristiche dell'opera, collocata in un ambito intensamente antropizzato, prevista con strutture in cemento armato ed acciaio di tipo fortemente innovativo hanno comportato, sin dalla redazione del progetto esecutivo, la necessità di prevedere un programma di strumentazione delle attività oggetto di appalto finalizzato a monitorare da un lato, gli effetti dei lavori sulle preesistenze urbane, dall'altro il comportamento delle nuove opere in corso di costruzione nonché la loro rispondenza alle previsioni di progetto.

Il monitoraggio durante le fasi di realizzazione della nuova stazione AV di Bologna è stato quindi progettato nelle tre componenti fondamentali rappresentate da un monitoraggio di tipo geotecnico che interessa l'area di scavo della stazione, da un monitoraggio di tipo strutturale che interessa le strutture principali della stazione e da un monitoraggio di tipo topografico sugli edifici che si affacciano lungo il perimetro della stazione volto a verificare che lo scavo della stazione non arrechi danni alle strutture limitrofe.

Nella sua configurazione progettuale sia per il monitoraggio geotecnico che per quello strutturale, sono state previste 9 sezioni strumentate di cui 6 in maniera "ordinaria" ("SO") e tre con un maggior numero di strumenti, denominate "speciali" ("SS"), finalizzate al controllo geotecnico della paratia perimetrale denominata "di primo salto" oltre ad alcuni inclinometri a lettura manuale (fig. 32).

The panels made were 800 mm thick and 2800 mm long.

Since the layer of the intermediate aquifer in some areas coincided with the work plane at -7 m from the ground level, to verify that "cavings" did not occur with consequent subsidence outside the work area, various test fields were performed with circulation fluids consisting of water and mature bentonite sludge, preferring the latter for greater stability of the excavation in addition to speeding up the progress stage, without effects on the mechanical characteristics of the soil.

The quantity of concrete necessary for the achievement of the project mechanical characteristics of the CSM was studied with an appropriate field test.

After the execution of the panels, a series of surveys with continuous coring were performed to ensure the continuity of treatment and to take samples to run tests on for the verification of resistance required by the project.

The average value of compression resistance, obtained from the analysis of about 260 samples was 3.02 MPa.

The quality of the treatment is certified by the fact that only 3 samples provided values slightly lower than those required by the project (2 MPa) (figures 30 and 31).

## 6. Geotechnical, structural and topographic monitoring

The peculiar characteristics of the project, in a heavily anthropomorphised field, with reinforced concrete structures and highly innovative type steel have led, since the drafting of the project, to the need to provide a programme of instrumentation of the activities concerned in the contract designed to monitor, on the one hand, the effects of the work on urban history, and on the other hand the behaviour of new works under construction as well as their correspondence to the forecasts of project.

Monitoring during construction of the new HS station of Bologna was therefore designed in three fundamental components represented by geotechnical monitoring affecting the excavation area of the station, by structural monitoring affecting the main structures of the station and by topographical monitoring on buildings that overlook along the perimeter of the station aimed at verifying that the excavation of the station does not damage the surrounding structures.

In its design configuration both for geotechnical and structural monitoring, 9 instrumented sections have been planned of which 6 in an "ordinary" way ("OI") and three with a greater number of instruments, called "special" ("SI"), aimed at geotechnical control of the perimetric bulkhead called "first jump bulkhead" as well as some manual reading inclinometers (fig. 32).

Given the complexity of the problems to be analysed,

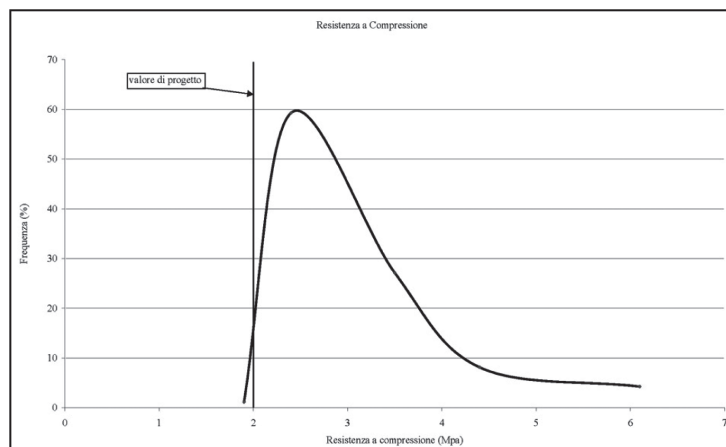


Fig. 30 - Andamento della resistenza a compressione. *Compression resistance trend.*

Vista la complessità dei problemi da analizzare, le condizioni ambientali e operative, il monitoraggio è stato progettato prevedendo strumenti che dessero misure complementari.

La definizione del comportamento di un terreno o di una struttura non è basata su un solo parametro, ma su molti. In casi semplici è sufficiente controllarne uno, ma nei casi più complessi, come quello di Bologna, è preferibile controllarne diversi, ricercando le correlazioni fra essi.

La ridondanza degli strumenti e quindi delle misure ha consentito sia di verificare il buon funzionamento degli strumenti e di disporre comunque di misure significa-

the environmental and operational conditions, monitoring was designed by providing tools giving complementary measures.

The definition of the behaviour of a soil or of a structure is not based on a single parameter, but on many. In simple cases, it is sufficient to control one, but in more complex cases, such as that of Bologna, it is preferable to check several ones, seeking correlations between them.

Instrumentation redundancy and therefore that of measures has allowed to verify both the proper functioning of the instruments and still have significant measures in case of breakage of an instrument, as well as to understand and interpret the current phenomena.

These design criteria have imposed the necessity of resorting to greater reading equipment automation, and to the adoption of new technologies and an analysis and management system has been implemented and developed with approval and validation of the data in real time.

The possibility to increase the instrumentation and have tracking equipment and more sophisticated data transmission has allowed to minimise data collection times.

A more effective management of the same was achieved by introducing the possibility to operate on the tracking system via an interactive web platform, with the possibility to set different hierarchical levels of access to

the system, in order to remotely interrogate the different instruments on the field, obtaining real-time data, and allowing a more timely identification of potentially critical situations and their causes and corrective actions to be put in place.

As said, an interactive environment was implemented residing on a remote server accessed via the Internet, with the following characteristics and features:

- automatic collection and publication of data coming first from instruments ("raw" data) and/or from external databases (predominantly, manual instrumentation and robotic stations);
- publication of the final data in the form of graphs and tables after validation;

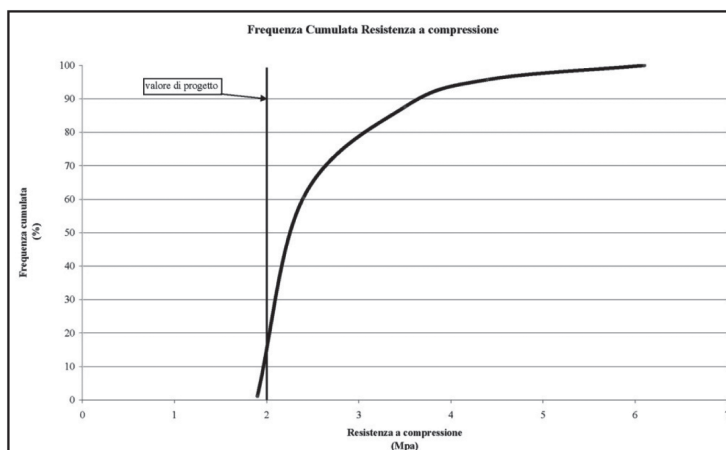


Fig. 31 - Frequenza cumulata della resistenza a compressione. *Cumulative frequency of compression resistance.*

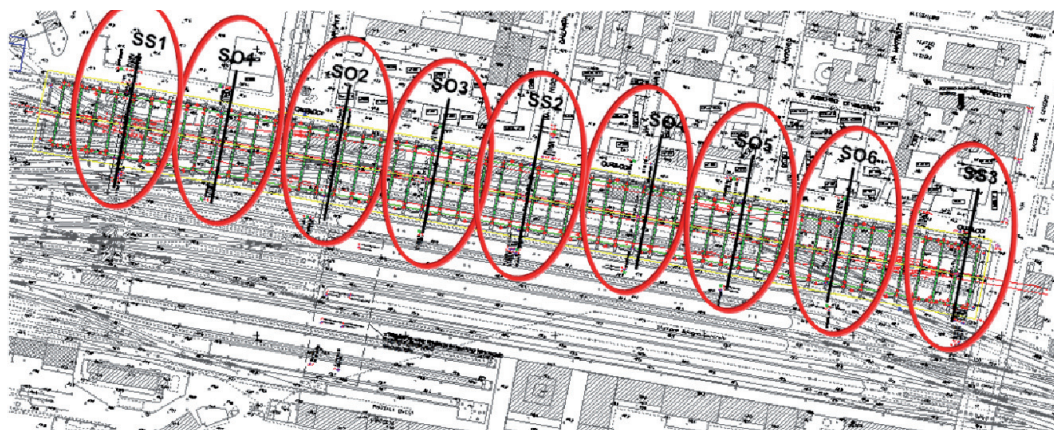


Fig. 32 - Sezioni di monitoraggio. Monitoring sections.

tive in caso di rottura di uno strumento, nonché di capire e interpretare i fenomeni in corso.

Tali criteri di progettazione hanno imposto la necessità del ricorso ad una maggiore automazione delle strumentazioni di lettura, e dell'adozione di nuove tecnologie ed è stato implementato e sviluppato un sistema di analisi e gestione con approvazione e validazione dei dati stessi in tempo reale.

La possibilità di incrementare la strumentazione e di disporre di attrezzature di rilevamento e trasmissione dati maggiormente sofisticate ha consentito di ridurre al minimo i tempi di raccolta dei dati.

Una più efficace gestione degli stessi è stata ottenuta introducendo la possibilità di operare sul sistema di monitoraggio tramite una piattaforma web interattiva, con possibilità di impostare diversi livelli gerarchici di accesso al sistema, così da poter interrogare da remoto le diverse strumentazioni in campo, ottenendo i dati in tempo reale, e consentire, con maggiore tempestività, l'individuazione delle situazioni potenzialmente critiche nonché delle relative cause e delle azioni correttive da porre in essere.

Come detto è stato implementato un ambiente interattivo, residente su server remoto con accesso tramite rete Internet, avente le seguenti caratteristiche e funzionalità:

- raccolta e pubblicazione in automatico dei dati di prima provenienza dagli strumenti (dati "grezzi") e/o da banche dati esterne (in prevalenza, strumentazione manuale e stazioni robotizzate);
- pubblicazione dei dati definitivi sotto forma di grafici e tabelle successivamente alla validazione;
- interattività completa in multi utenza, sulla base di mappe del sito, per l'interrogazione in tempo reale di tutta la strumentazione in campo da postazione remota con possibilità di impostazione di livelli gerarchici di accesso al sistema;

- full interactivity in multi user, on the basis of site maps, for real-time querying of all equipment in the field remotely with the possibility of setting hierarchical access levels to the system;
- management of changes to the measurement plan and to alarm limits approved by the Client;
- automatic management of alarms with warning signals transmission (via e-mail, sms, etc.) to users and/or privileged positions.

The system architecture plan is shown in fig. 33.

The management of data collected in an automated manner is governed by software capable of capturing and storing the data recorded by automated tools.

Similarly, the collected data is manually entered in the database of the same system management software.

The data stored in the database is compared, through routine signal stability control, acceptability range, etc. with pre-set threshold values.

If both of these thresholds are overcome, the system provides sending timely reporting of the observed anomaly.

The validation of the data concerns, therefore, critical analysis of all data from the entire system in order to clear the set of data from the anomalous ones however generated.

This activity takes place daily on all data, whereas it is in real time in the case of anomalies or of exceeded threshold values.

To summarise, the particular functions performed by the validation service are:

- coordination of monitoring activities for the purpose of data validation;
- critical analysis and data validation before the next forwarding to the Client;



- gestione delle modifiche al piano delle misurazioni e delle soglie di allarme approvato dalla Committenza;
- gestione automatica degli allarmi con invio dei segnali di allerta (per mezzo di e-mail, sms, etc.) ad utenti e/o postazioni privilegiate.

Lo schema dell'architettura del sistema è riportato in fig. 33.

La gestione dei dati raccolti in maniera automatizzata è governata da un software in grado di acquisire ed archiviare i dati registrati dagli strumenti automatici.

Analogamente i dati raccolti manualmente sono inseriti nel database dello stesso software di gestione del sistema.

I dati archiviati nel database sono confrontati, mediante routine di controllo di stabilità del segnale, range di accettabilità, ecc., con dei valori di soglia preimpostati.

In caso di superamento di tali valori di soglia il sistema provvede all'invio di opportuna segnalazione della anomalia riscontrata.

La validazione dei dati riguarda, pertanto, l'analisi critica di tutti i dati provenienti dall'intero impianto al fine di depurare l'insieme dei dati stessi da quelli anomali comunque generati.

Tale attività avviene quotidianamente su tutti i dati, mentre nel caso di anomalie o superamento di valori di soglia avviene in tempo reale.

In sintesi le funzioni particolari che svolge il servizio di validazione sono:

- il coordinamento delle attività di monitoraggio ai fini della validazione dei dati;
- l'analisi critica e validazione dei dati prima del successivo invio alla Committenza;
- l'interfaccia con la Committenza per l'analisi dei dati sia grezzi che validati, dei superamenti dei valori di soglia e per la eventuale ridefinizione delle scansioni di misura in funzione dell'andamento delle grandezze misurate;
- la gestione degli allarmi e delle eventuali situazioni anomale mediante analisi dei dati stessi e conseguente eventuale informativa ai soggetti preposti;
- il presidio notturno e festivo per la gestione degli allarmi.

Il software è interfacciabile con quelli di uso commerciale (word, excel, etc.) in modo che le informazioni riguardanti sia i dati "grezzi" direttamente acquisiti dagli strumenti che i dati elaborati possano essere visualizzate dai soggetti coinvolti nel monitoraggio.

Tale strumento permette una immediata disponibilità di tutti i dati provenienti dal sistema di monitoraggio e l'eliminazione delle restituzioni su supporto cartaceo.

Il database permette oltre all'archiviazione dati, la visualizzazione grafica degli stessi.

A tale scopo sono state create delle mappe interattive con l'ubicazione di ogni singolo strumento per la visualiz-

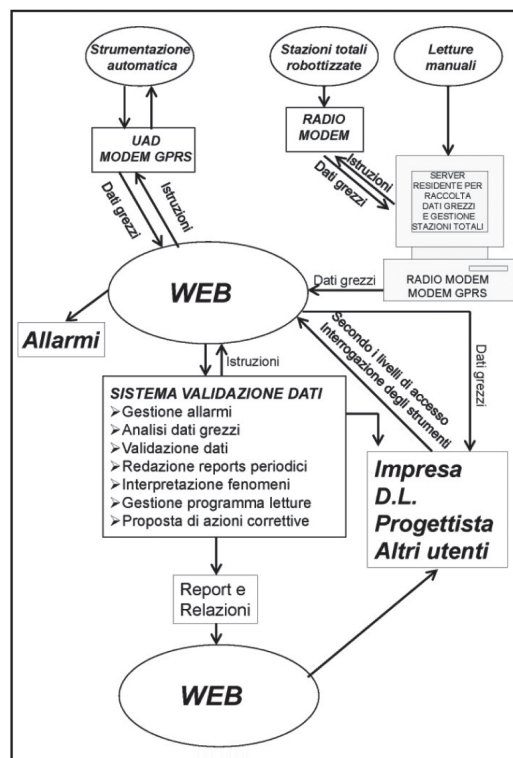


Fig. 33 - Architettura del sistema di monitoraggio. *Monitoring system architecture.*

- the interface with the Client for the analysis of both raw and validated data, exceeded threshold values and for the eventual redefinition of measure scans depending on the progress of measured sizes;
- alarm management and of any anomalous situations through analysis of the same data and consequent possible disclosure to responsible parties;
- night and holiday guard for alarm management.

The software is compatible with those of commercial use (word, excel, etc.) so that the information concerning both the "raw" data captured directly by instruments and processed data can be viewed by those involved in monitoring.

This tool allows an immediate availability of all data from the monitoring system and the elimination of returns on paper.

This database allows graphical display in addition to data storage.

For this purpose, interactive maps were created with the location of every single instrument for the visualiza-

zazione dei dati in tempo reale, tramite accesso via Internet, e per l'elaborazione di rapporti di misura.

È inoltre possibile l'accesso via Web al database secondo diversi livelli utente.

I dati sono organizzati per sezione di misura, sulla quale sono installati un certo numero di strumenti differenti.

L'utilità principale del Database è costituita dalla visualizzazione dei risultati di tutte le misure acquisite da qualsiasi località e/o utente utilizzatore.

Questo sistema ha permesso di gestire una struttura costituita da circa 3.200 strumenti per un totale di letture che supera gli 11 milioni.

Di questo numero totale circa 2.500 strumenti (la quasi totalità automatici) sono stati utilizzati per il monitoraggio geotecnico e strutturale, con frequenze di letture che, per alcuni sono state di qualche minuto, generando un archivio di oltre 10 milioni di dati.

I rimanenti strumenti (oltre 700) sono quelli per il monitoraggio topografico, sia delle strutture della stazione sia dell'ambiente circostante, compresi i fabbricati ed i binari in esercizio, e sono rappresentati da caposaldi topografici (oltre 260) letti con livellazione di precisione e oltre 400 mire ottiche lette con stazioni automatiche.

tion of data in real time, through Internet access, and for the preparation of measurement reports.

Access via Web to the database is also possible according to different user levels.

The data is organised by measure section, on which a number of different instruments have been installed.

The main utility of the Database is visualisation of the results of all measures taken from any location and/or user.

This system has allowed the management of a structure consisting of approximately 3.200 instruments for a total number of readings that exceeds 11 million.

Of this total number, about 2.500 instruments (almost all the machines) were used for geotechnical and structural monitoring, with frequencies of readings that, for some were a few minutes, creating an archive of over 10 million data.

The remaining instruments (over 700) are those for topographical monitoring, both of the station structures and of the surrounding environment, including buildings and tracks in operation, and are represented by topographic benchmarks (over 260) read with precision levelling and over 400 optical targets read with automatic stations.

### BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] M.D. BOSCARDIN, E.G. CORDING, (1989), *"Building response to excavation induced settlement"*, Journ. Geot. Eng. Div., Proc. ASCE, vol. 115, n. GT1, p. 1-21.
- [2] J.B. BURLAND, (1995), *"Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavation"*, Invited Special Lecture, IS-Tokyo '95, 1st Int. Conf. On Earthquake Geot. Engineering.
- [3] R.B. PECK, (1969), *"Deep excavation and tunnelling in soft ground"*, State-of-the-Art Report, VII Int. Conf. SMFE, Mexico City.
- [4] A. CASTELLARIN, C. EVA, R. CAPOZZI, (1994), *"Tomografie sismiche e interpretazione geologica profonda dell'Appennino Settentrionale Nordoccidentale"*, Studi Geologici Camerti, Vol. Spec. (1992/2), 85-98.
- [5] C. ELMI, A. BERGONZONI, C. MASSA, V. MONTALETTI, (1984) *"Il territorio di pianura del comune di Bologna: aspetti geologici e geotecnici"*, Giornale di Geologia, 46 (2), 127-152.
- [6] M. FARINA, M. SIMONI, I. PASSUTI, (1998), *"Il complesso idrogeologico superficiale nel contesto della città di Bologna"*, Il Geologo dell'Emilia Romagna, 11, 4-14.
- [7] M. BRINGIOTTI, (2010), *"Geotecnica & Macchine da perforazione"*, Edizioni Pei.