



LUG/AGO 2018



RIVISTA BIMESTRALE
PER LA DIFFUSIONE
DELLA CULTURA DELL'ACCIAIO

COSTRUZIONI METALLICHE

FIRENZE – NUOVA STAZIONE FERROVIARIA ALTA VELOCITÀ

Parte prima: aspetti realizzativi in regime transitorio

FIRENZE – NEW HIGH SPEED TRAIN STATION

Part one: Realization aspects during transient phase

Xxx Massimo Majowiecki*

Xxxxxxx

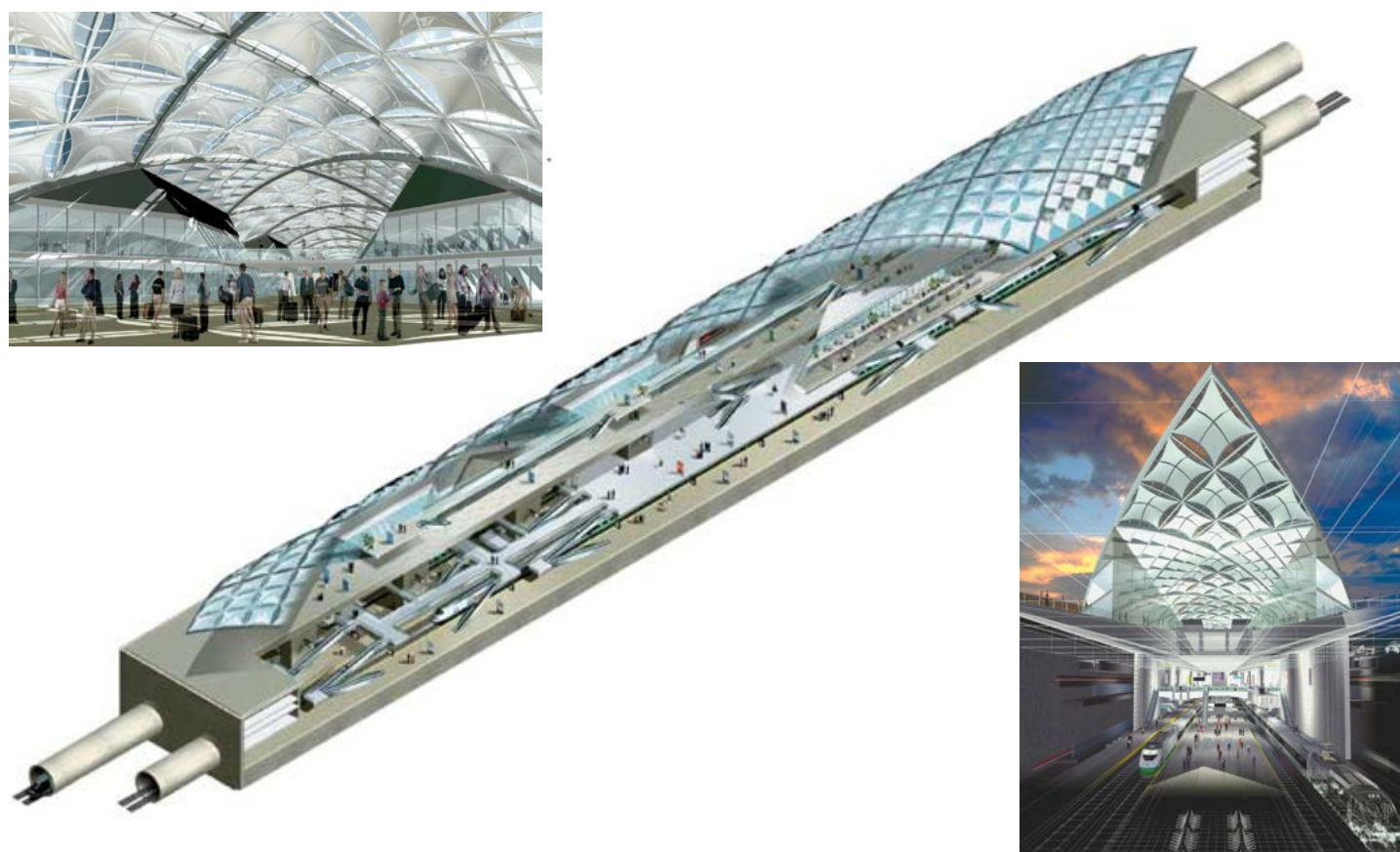


Fig. 1 - Assonometria e viste interne del modello definitivo a base di gara

Nel luglio 2007 la Società Cooperativa Coopsette, su progetto strutturale dello Studio Majowiecki, si aggiudica la gara per la progettazione esecutiva e realizzazione della Stazione TAV di Firenze, sulla base del progetto di Foster/ARUP vincitore del concorso di progettazione internazionale. In fase di progettazione esecutiva lo Studio Majowiecki ha analizzato le principali problematiche di tipo strutturale e cantieristico che caratterizzano la realizzazione dell'opera, in particolare per quanto riguarda la procedura di scavo e costruzione e il sistema di copertura in acciaio. Sono state quindi elaborate soluzioni progettuali che consentono di ottimizzare le fasi di cantiere e, in base a studi di sensibilità parametrica, aumentare l'affidabilità del processo costruttivo.

* Corresponding Author. Email: ...

In July 2007 Coopsette Company, with the structural design of Studio Majowiecki, won the competition for the executive design and construction of the TAV Station in Florence, based on the project of Foster/ARUP that won the international design contest. During the working design phase, Studio Majowiecki analyzed the main structural and construction issues that characterize the work: the excavation and construction process and the steel roof structural system. Design solutions have been developed to optimize the construction site management and, based on parametric sensitivity studies, increase the reliability of construction process..

1. INTRODUZIONE: STORIA DEL PROGETTO

1.1 Concorso internazionale di progettazione

Negli ultimi 20 anni, il passaggio della linea Alta velocità/Alta capacità ha costituito un elemento fondamentale della pianificazione del territorio fiorentino. Con la conferenza di servizi del

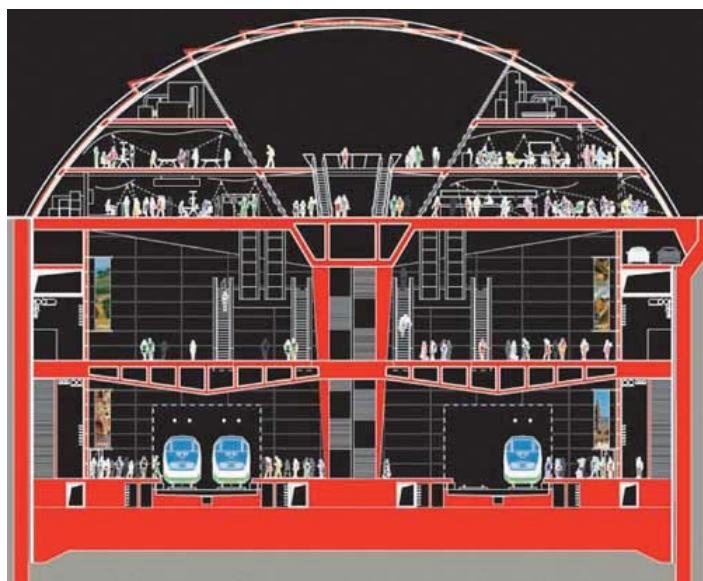


Fig. 2 - Sezione tipica della stazione nel progetto definitivo a base di gara

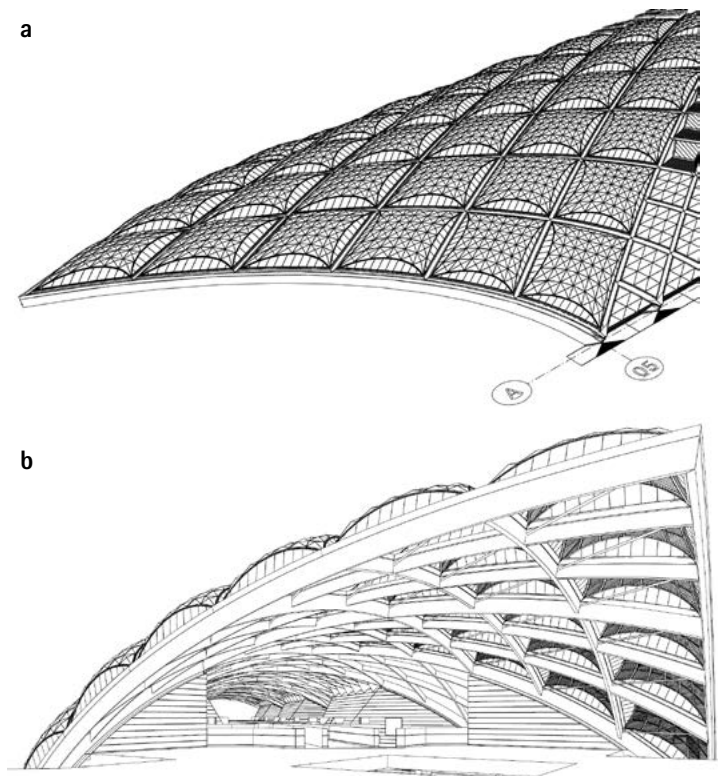


Fig. 3 - Struttura della copertura negli sbalzi, vista esterna a) ed interna b)

marzo 1999 viene approvato, a seguito della valutazione di impatto ambientale, il progetto definitivo del passante sotterraneo e della stazione. La soluzione progettuale della nuova stazione viene però ritenuta ulteriormente migliorabile e TAV avvia un concorso internazionale per la sua progettazione.

A questo scopo RFI organizza il 5 giugno 2002 una conferenza in cui sono state illustrate, in base anche alle precedenti esperienze in cantieri simili, le principali criticità da affrontare nella gara di progettazione della Stazione AV di Firenze:

- Realizzazione di scavi di grandissima entità;
- Eccezionali valori delle spinte sulle pareti laterali;
- Provvedimenti da adottare per stabilizzare il fondo scavo;
- Progettazione di strutture di contrasto soggette a sollecitazioni gravose, in particolare nella zona delle testate;
- Problematiche relative alla realizzazione delle “travi cuscino”;
- I provvedimenti necessari per garantire un adeguato deflusso della falda.

Il vincitore del concorso internazionale, conclusosi il 4 ottobre 2002, è stato il gruppo composto da Norman Foster & Partners per l'architettura e da Ove Arup per l'ingegneria. Il progetto vincitore è stato presentato alla stampa il 25 novembre dello stesso anno, diventando il progetto a base della gara per la progettazione esecutiva e realizzazione della nuova Stazione TAV di Firenze.

1.1 Descrizione del progetto a base di gara

La descrizione che segue corrisponde unicamente alla stazione Alta Velocità. Il progetto posto a base di gara è stato diviso in tre aree principali e lo stesso criterio è stato utilizzato per la suddivisione degli elaborati grafici. Tali aree sono:

- Il Camerone della Stazione AV. Esso include le banchine della stazione con i servizi ad esse connessi, le aree di transito dei livelli sotterranei, il solaio del piano terra e una parte del solaio del livello 01 lato Sud nonché le aree fra il camerone della stazione e la struttura del Mugnone (Energy Center). Sono inoltre incluse numerose strutture di sostegno esterne.
- La parte fuori terra della Stazione. Essa include le zone commerciali, gli uffici e i locali tecnici del pianoterra, i livelli 01 e 02 sopra la stazione e la copertura.
- L'area Belfiore. Essa include la stazione degli autobus, il parcheggio sotterraneo, il parcheggio fuori terra e i locali tecnici relativi a quest'area.

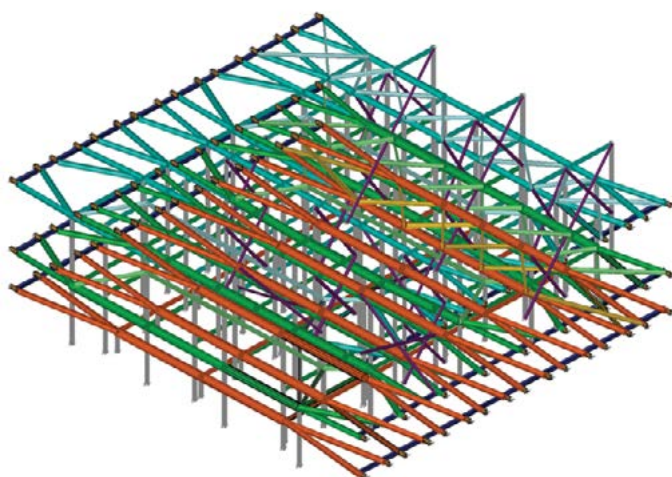


Fig. 4 - Vista dei puntelli provvisori previsti nel progetto a base di gara insieme alla presenza in fase di montaggio di due ordini di pilastri

1.1.1 Camerone della stazione av

Il Camerone è una struttura scatolare sotterranea in calcestruzzo di lunghezza approssimativa pari a 450 m, larghezza 50 m, e profondità 27 m. Lungo il perimetro vi sono diaframmi di grosso spessore che sostengono i lati dello scavo. La fondazione è costituita da una platea in calcestruzzo gettata sul terreno e sostenuta da pali. Fatta eccezione per le zone di estremità del Camerone, i diaframmi sono tipicamente supportati orizzontalmente su tre livelli (figura 2):

- Livello della platea di fondazione;
- Livello intermedio;
- Livello piano terra.

Il progetto posto a base di gara si basa su una sequenza di costruzione dal basso verso l'alto. I diaframmi necessitano quindi di un sostegno temporaneo per contrastare le spinte del terreno durante la fase di costruzione, in attesa della realizzazione e completamento delle strutture di sostegno definitive. A tale scopo sono previste strutture di sostegno temporanee in acciaio disposte tipicamente su tre livelli (quattro per la zona sud del Camerone).

1.1.2 Soprastruttura della stazione av

La parte fuori terra della stazione è formata da una copertura ad arco di superficie cilindrica, impostata sui lati del camerone in corrispondenza del piano terra, e da due livelli intermedi compresi tra il piano terra e la copertura.

Gli archi, disposti in diagonale rispetto all'asse principale della Stazione, sono formati da elementi cavi costituiti da quattro piastre curve che seguono la geometria determinata nel progetto architettonico (figura 3). I parallelepipedi formati dalla griglia degli archi contengono le strutture in acciaio che supportano i pannelli di rivestimento. Queste strutture sono una griglia formata da elementi tubolari a doppia curvatura di cui fanno parte dei "cuscinetti" di rivestimento da inserire al di sopra del piano terra.

I livelli intermedi, 01 e 02, sono strutture composite con solai in lamiera grecata collaborante e calcestruzzo alleggerito supportati

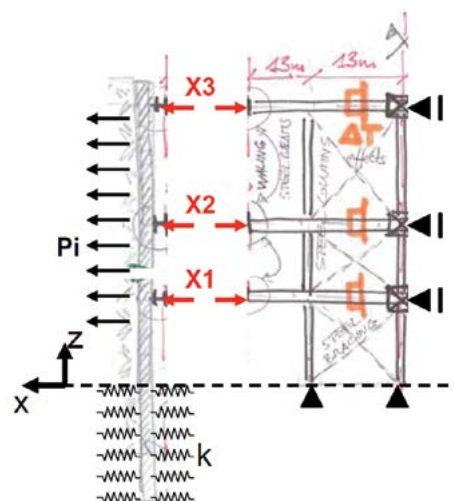


Fig. 5 - Schema di calcolo utilizzato per l'analisi di sensibilità parametrica della struttura durante la costruzione

da travi in acciaio a loro volta collaboranti con il solaio grazie all'inserimento di pioli di collegamento. I vuoti ai livelli 01 e 02, più larghi rispetto a quelli al piano terra, permettono il passaggio della luce dalla copertura fino alle banchine sotterranee della stazione. La struttura in acciaio dei livelli intermedi è collegata a quella della copertura. Sono inoltre presenti nuclei portanti in calcestruzzo, supportati verticalmente dal piano terra, che hanno una funzione stabilizzante globale nella direzione trasversale per i livelli fuori terra.

1.2 Gara per progettazione esecutiva e realizzazione tav

È stata quindi avviata, nel 2006, la procedura per la gara di appalto per conto di Rete Ferroviaria Italiana (RFI), subentrata a TAV, dei lavori di realizzazione degli interventi di potenziamento del nodo ferroviario di Firenze. La gara ha previsto la realizzazione di due lotti di intervento, il primo relativo alla progettazione ferroviaria e allo scavalco tra Rifredi e Castello e il secondo relativo al tunnel sotto la città di Firenze e alla nuova stazione ferroviaria AV.

I lavori sono stati aggiudicati nel luglio 2007 alla Società Cooperativa Coopsette, su progetto strutturale dello Studio Majowiecki. Contestualmente, il Piano di indirizzo territoriale della Regione, approvato il 24 luglio 2007, ha assegnato all'alta capacità ferroviaria un ruolo strategico per l'accessibilità e la logistica regionale, nazionale e internazionale.

2. ANALISI DEL PROGETTO A BASE DI GARA

2.1 Premessa

Il progetto a base di gara è stato analizzato dallo Studio Majowiecki come consulente di Coopsette in fase di presentazione dell'offerta, evidenziando le principali problematiche di tipo strutturale e cantieristico che caratterizzano la realizzazione dell'opera.

2.2 Il procedimento di scavo e di costruzione

Dall'esame del processo di scavo e costruzione previsto nel pro-

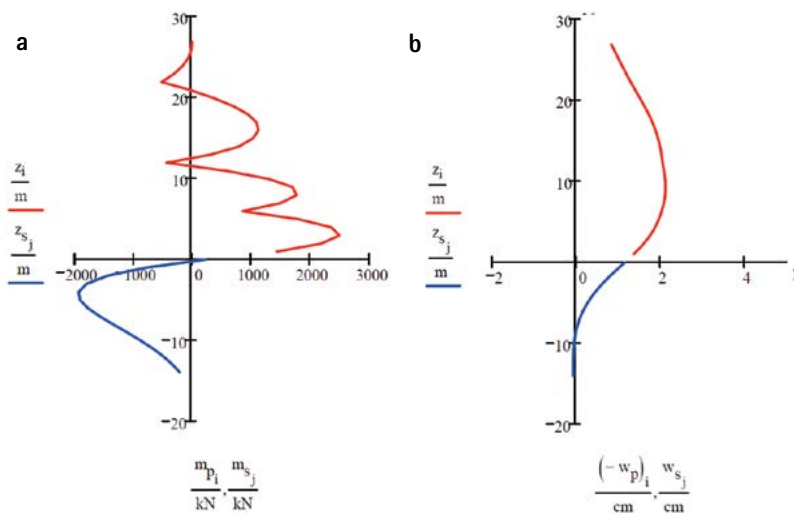


Fig. 6 - a) Grafico dei momenti flettenti nelle pareti laterali sopra e sotto il livello di fondazione; b) Grafico degli spostamenti nelle pareti laterali sopra e sotto il livello di fondazione

getto originario sono emerse le considerazioni di seguito riportate:

- Sono state riscontrate notevoli incertezze operative riguardanti l'utilizzo di puntellature trasversali durante il transitorio della costruzione. Infatti per ottenere una sufficiente affidabilità sull'efficienza dei puntelli sarebbe stato necessario controllare gli sforzi di contrasto con le paratie mediante un complesso sistema di monitoraggio costituito da celle di carico e attuatori idraulici.
- Essendo i puntelli trasversali previsti di grande lunghezza (50 m) sarebbe stato necessario ridurre la loro lunghezza libera di inflessione mediante un sistema di stabilizzazione intermedia sostenuto da pali. Questi pali sarebbero stati necessari solo per una fase transitoria costruttiva e sarebbero quindi stati demoliti.
- Di non facile determinazione sarebbe stata l'individuazione della distribuzione degli sforzi nei puntelli trasversali, sia in relazione all'evolversi delle operazioni di scavo e di costruzione, sia in riferimento alla determinazione delle grandezze geotecniche che interessano lo stato di sollecitazione dei puntelli stessi.

Il sistema di scavo e puntellamento sopra brevemente descritto risultava molto oneroso e di difficile realizzazione. Erano evidenti infatti le difficoltà operative dei mezzi di scavo e movimento terra che avrebbero dovuto operare in presenza della fitta maglia costituita da puntelli trasversali e relativi sistemi di stabilizzazione intermedi (figura 4).

A tali difficoltà e soggezioni operative sarebbero conseguite anche difficoltà di organizzazione del cantiere, o meglio dei vari sotto-cantieri con cui è stato necessario affrontare la realizzazione delle opere. Si sottolinea che le soggezioni correlate all'utilizzo della procedura costruttiva prevista nel progetto a base di gara sono state accresciute anche dalle incertezze insite nella determinazione di alcuni parametri geotecnici (valori percentuali del coefficiente di variazione COV data la variabilità intrinseca dei valori e, soprattutto, le caratteristiche di alterazione degli strati), quali quelli che

determinano il valore delle spinte sulle paratie nel transitorio e durante l'esercizio. A questo proposito è stata eseguita un'analisi di sensibilità parametrica.

2.3 Analisi di sensibilità parametrica della struttura durante la fase costruttiva

2.3.1 Definizione del modello di calcolo

L'analisi di sensibilità parametrica della struttura durante la fase costruttiva è stata condotta su un modello di calcolo bidimensionale rappresentato schematicamente in figura 5.

Sono state ricavate le espressioni parametriche dei momenti flettenti (M) e degli spostamenti (w) che si generano negli elementi strutturali delle pareti laterali, distinguendo fra le zone sopra (espressioni a e b) o sotto il livello di fondazione (espressioni c e d):

$$M_{pi} = \sum_{j=1}^n [P_j \cdot (z_j - z_i)] + \sum_{k=1}^3 [X_{pk} \cdot (h_k - z_i) \cdot (h_k > z_i)] \quad m_p = \frac{M_p}{L_s} \quad a)$$

$$w_{pi} = \sum_{j=1}^n [w(z_i, z_j) \cdot P_j] + \sum_{k=1}^3 [w(z_i, h_k) \cdot X_{pk}] \quad b)$$

$$M_{sj} = -B \cdot 2 \cdot \lambda^2 \cdot (b \cdot \cos(\lambda \cdot z_{sj}) - a \cdot \sin(\lambda \cdot z_{sj})) \cdot e^{\lambda \cdot z_{sj}} \quad m_s = \frac{M_s}{L_s} \quad c)$$

$$w_{sj} = (a \cdot \cos(\lambda \cdot z_{sj}) + b \cdot \sin(\lambda \cdot z_{sj})) \cdot e^{\lambda \cdot z_{sj}} \quad d)$$

La matrice di flessibilità che si ottiene è la seguente:

$$F = \begin{pmatrix} w(h_1, h_1) + \frac{L}{E_s \cdot A_1} & w(h_2, h_1) & w(h_3, h_1) \\ w(h_1, h_2) & w(h_2, h_2) + \frac{L}{E_s \cdot A_2} & w(h_3, h_2) \\ w(h_1, h_3) & w(h_2, h_3) & w(h_3, h_3) + \frac{L}{E_s \cdot A_3} \end{pmatrix}$$

2.3.2 Analisi di sensibilità alle tolleranze costruttive

Per procedere all'analisi di sensibilità alle tolleranze costruttive sono state definite le seguenti matrici:

- Matrice di rigidezza: $K = F^{-1}$
- Matrice di sensibilità per i puntelli orizzontali:
- Matrice di sensibilità per i puntelli orizzontali: $A = -K$
- Matrice di sensibilità per le pareti laterali (sopra il livello di fondazione):

$$A_{2-1,j} = \sum_{k=1}^3 [K_{k,j} \cdot (h_k - z_i) \cdot (h_k > z_i)]$$

- Matrice di sensibilità per le pareti laterali (sotto il livello di fondazione):

$$A_{3-1,j} = \sum_{k=1}^3 \left[\left[-\frac{\sin(\lambda \cdot z_{s,j})}{\lambda} + h_k (\cos(\lambda \cdot z_{s,j}) - \sin(\lambda \cdot z_{s,j})) \right] (K_{k,j}) e^{\lambda \cdot z_{s,j}} \right]$$

In funzione di queste grandezze vengono determinati gli indici di affidabilità per i puntelli orizzontali e le pareti laterali (per i tratti sopra e sotto il livello di fondazione). I risultati sono illustrati in Figura 7.

2.3.3 Conclusioni

Dall'analisi risulta che la probabilità di collasso dei puntelli a quota di fondazione e delle pareti laterali è molto sensibile per una deviazione standard delle tolleranze costruttive compresa tra 1 cm e 2 cm (figura 8).

Infatti:

- si presume che la deviazione standard della posizione dei martinetti idraulici durante la fase costruttiva possa essere maggiore del range di 1-2 cm;
- Si presumono incertezze ed imprecisioni nella gestione del complesso sistema di presollecitazione con sensibile deviazione standard dei valori delle forze, indotte mediante martinetti funzionalmente non correlati, tra singoli puntelli;
- sono presenti un elevato numero di puntelli e di travi che irrigidiscono i diaframmi, il che rende più probabile la presenza di un errore costruttivo o di montaggio: come errori di lunghezza di produzione, slittamento di ancoraggi e piastrame, distribuzione non uniforme della temperatura e rilassamento differenziale lungo i 450 m di parete dei diaframmi.

Le incertezze indotte da tolleranze costruttive aumentano considerata la durata della fase costruttiva della stazione che, si stima, sarà lunga circa 40 mesi.

3. PROPOSTE MIGLIORATIVE SVILUPPATE NELLA FASE DI PEIL

L'analisi critica del progetto di gara ha portato alla formulazione delle seguenti soluzioni costruttive rivolte all'ottimizzazione delle attività, delle risorse e dei tempi di costruzione:

- una procedura di scavo e costruzione differente (*Top down*

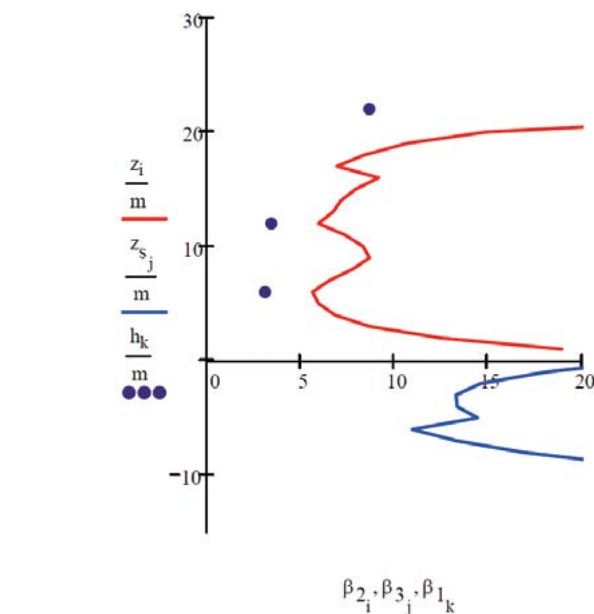


Fig. 7 - Grafico dei valori dell'indice di affidabilità per i puntelli orizzontali e le pareti laterali sopra e sotto il livello di fondazione

anziché *Bottom up*);

- una variante progettuale relativa alla struttura metallica di copertura che comporta il completo rispetto della forma architettonica prevista nel progetto a base di gara;
- una differente procedura di montaggio della struttura metallica di copertura.

3.1 Procedura di scavo e costruzione

3.1.1 Metodo di scavo "top down"

È stata proposta l'adozione di una tecnica costruttiva mista, che prevede scavo e costruzione simultanee, di tipo *top-down*. Tale procedura costruttiva prevede le seguenti fasi:

- esecuzione delle opere speciali (diaframmi, paratie e pali) verticali (figura 9-a);
- esecuzione dello scavo fino al livello variabile da + 42,55 m

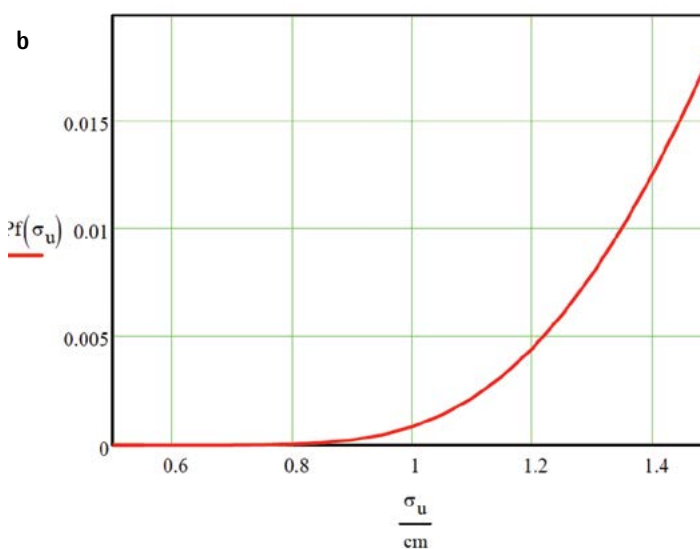
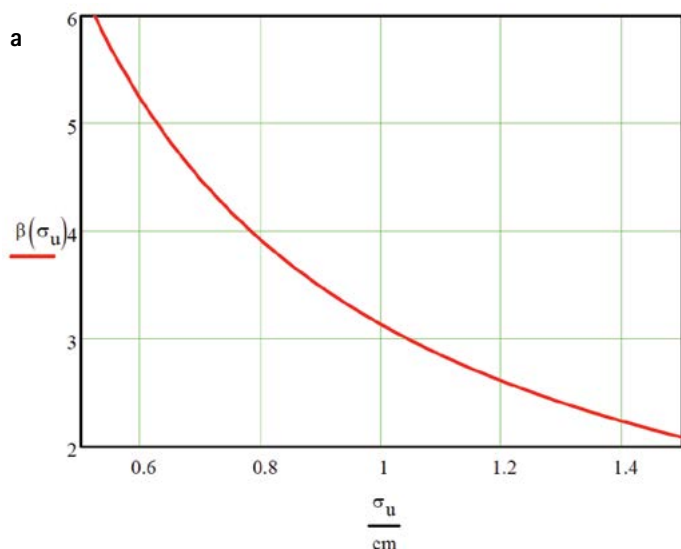
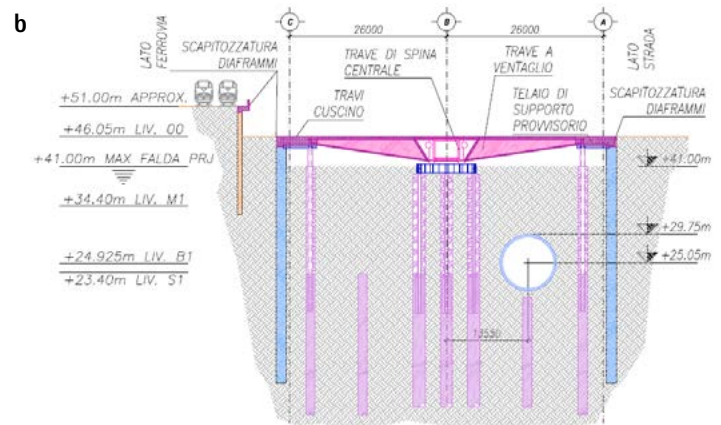
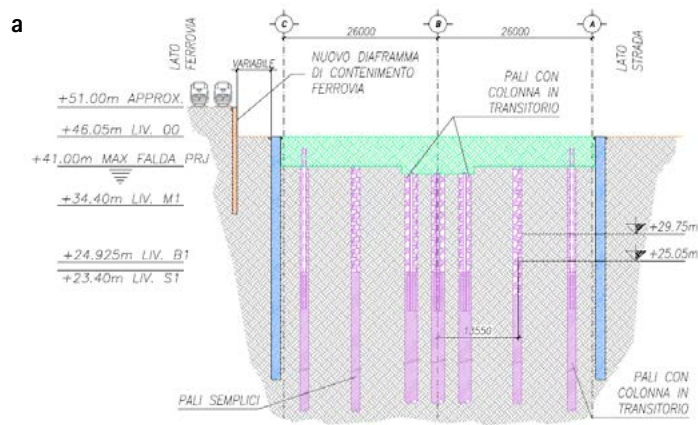


Fig. 8 - Puntelli a quota fondazione: a) Indice di affidabilità in funzione della deviazione standard delle tolleranze costruttive; b) Probabilità di *failure* in funzione della deviazione standard delle tolleranze costruttive.



FASE 4: ESECUZIONE FOGNA LATO MUGNONE E SOLETTA DI FONDO ENERGY CENTER (LATO SUD).

FASE 4': ESECUZIONE STRUTTURE ENERGY CENTER (LATO SUD).

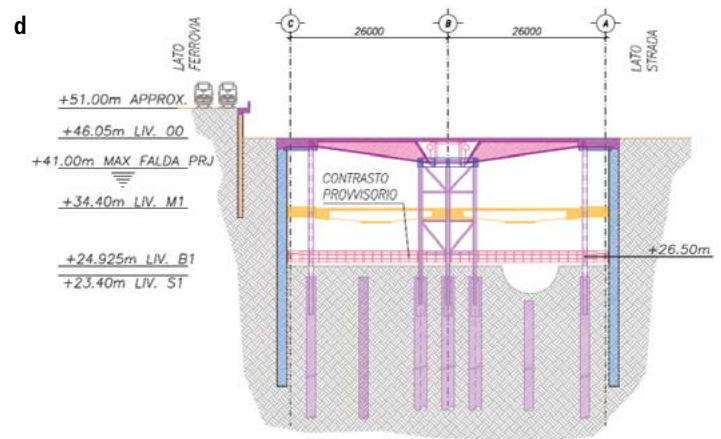
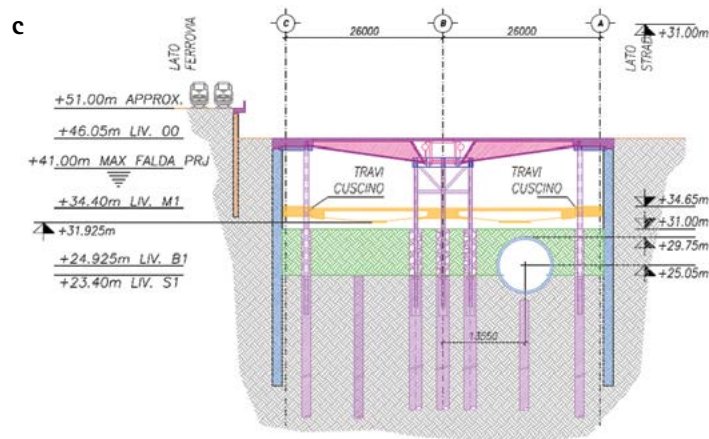
FASE 5: SCAVO TERRENO FINO A QUOTA +41.00m.

FASE 5': REGOLARIZZAZIONE E COMPATTAZIONE DEL FONDO A QUOTA +41.00m.

FASE 6: ESECUZIONE PALI DI FONDAZIONE CON PASSAGGIO A VUOTO E STRUTTURA VERTICALE PROVVISORIA.

FASE 9: POSA IN OPERA STRUTTURE METALLICHE ED IN C.A. (TRAVI T1, T2, T3) SOLAIO PIANO TERRA:

FASE 10: ESECUZIONE SOLETTA E TRAVI CUSCINO A PIANO TERRA



FASE 15: ESECUZIONE TRAVI CUSCINO E SOLAIO MEZZANINO (M1) ZONA CENTRALE (COMPLETO DI CONTRASTI PROVVISORI).

FASE 16: VALIDA NELLE TESTATE.

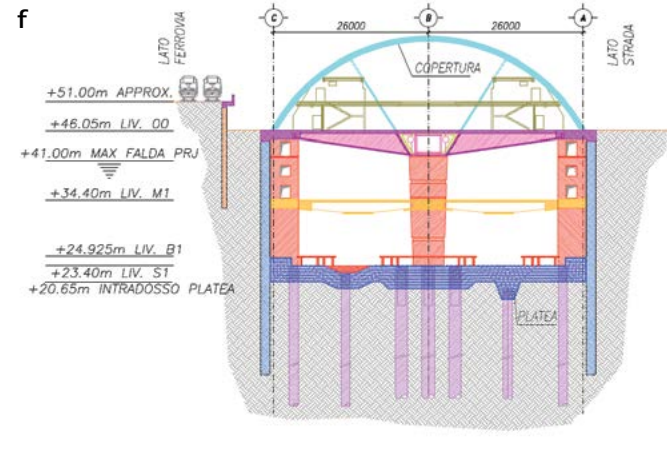
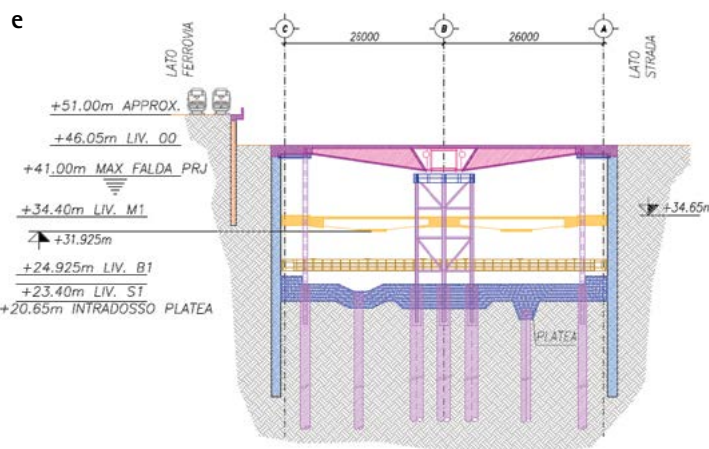
FASE 17: VALIDA NELLE TESTATE.

FASE 18: SCAVO TERRENO FINO A QUOTA +24.50m (CON DEMOLIZIONE PARZIALE CALOTTA GALLERIA).

FASE 19: VALIDA NELLE TESTATE.

FASE 20: VALIDA NELLE TESTATE.

FASE 21: POSA IN OPERA STRUTTURA DI CONTRASTO PROVVISORIA A Q.+26.50m.



FASE 25: VALIDA NELLE TESTATE

FASE 26: ESECUZIONE PLATEA DI FONDAZIONE

FASE 27: ELIMINAZIONE STRUTTURE DI CONTRASTO PROVVISORIE.

FASE 32: REALIZZAZIONE PASSERELLE CENTRALI IN C.A. TRA I VANI SCALA

FASE 33: ESECUZIONE VANI SCALA LIVELLO 00, MONTAGGIO COLONNE ED IMPALCATI METALLICI AI LIVELLI 01 E 02.

FASE 34: MONTAGGIO COPERTURA.

Fig. 9 - Viste in sezione delle principali fasi costruttive del camerone secondo il progetto esecutivo



Fig. 10 - Vista aerea dell'area di cantiere durante la realizzazione delle strutture del piano primo; Fig. 11a - 11b - Realizzazione delle strutture metalliche del primo piano, le travi a ventaglio più lunghe sono realizzate in acciaio mentre quelle più corte in cemento armato

a + 39,65 m; si precisa che tale livello di scavo permette di eseguire la cassetteria delle travi del livello 00 ed M3 posti rispettivamente alle quote +46,05 m e + 42,44 m;

- realizzazione delle travi e della maggior parte dell'impalcato posto a livello 00-M3. In questa fase il contrasto trasversale con le parti costruite viene controllato da attuatori idraulici i quali garantiscono che le forze applicate alle strutture di contrasto siano quelle previste in progetto. L'impalcato poggia su strutture metalliche provvisorie che sostituiscono i nuclei centrali nella fase di montaggio (figura 9-b);
- scavo e realizzazione dei tiranti provvisori a livello intermedio tra M3 ed M1;
- realizzazione delle travi e della maggior parte dell'impalcato M1 posto tra le quote + 34,65 m e +32,3 m, con scavo spinto fino alla quota +30,3 m. In questa fase il contrasto trasversale con le parti costruite viene controllato da attuatori idraulici i quali garantiscono che le forze applicate alle strutture di contrasto siano quelle previste in progetto (figura 9-c);
- scavo e realizzazione dei tiranti provvisori a livello intermedio tra M1 e B1-S1 (figura 9-d);
- esecuzione dei rimanenti pali per la sicurezza al galleggiamento;
- scavo ed esecuzione della platea di fondazione tra i livelli B1 ed S1 (figura 9-e);
- realizzazione dei nuclei centrali di calcestruzzo al posto delle torri provvisorie, completamento dei livelli superiori e della copertura (figura 9-f).

I vantaggi che si ottengono adottando la suddetta procedura

costruttiva sono i seguenti:

- diminuisce il numero dei puntelli trasversali;
- si incrementa l'affidabilità strutturale, (in transitorio ed a regime), delle opere speciali e fondazionali;
- si migliora la operatività del cantiere e quindi l'organizzazione del cantiere stesso;
- diminuiscono i tempi di costruzione.

In fase esecutiva è stata posta particolare attenzione alla progettazione delle fasi di realizzazione dei pali di sostegno della platea. Per contenere gli errori di posizionamento geometrico dei pali è stato pensato un sistema di centraggio mediante un telaio metallico regolabile. In figura 12 sono rappresentate le fasi costruttive.

3.1.2 Le strutture di transitorio

La maglia di puntoni temporanei prevista nel progetto a base di gara ad interasse ridotto di 6,25 m induce alcune preoccupazioni per la realizzazione del Cameron: alle operazioni di rimozione di questa armatura dello scavo devono affiancarsi quelle del getto in opera dei diversi impalcati, travi e strutture in elevazione in c.a. La proposta di variante di scavo presentata nel progetto esecutivo consente invece di realizzare aperture a livello del piano di campagna dell'ordine dei 60 m che aiutano la facilità di gestione di tutte le conseguenti operazioni di cantiere; il metodo *top-down* consente, anche al livello inferiore, di operare con delle aperture dell'ordine dei 20/25 m (figura 13).

Altre strutture provvisorie realizzate in carpenteria metallica sono le torri tralicciate che sostengono i solai prima che vengano completati i nuclei in cemento armato (figura 14).

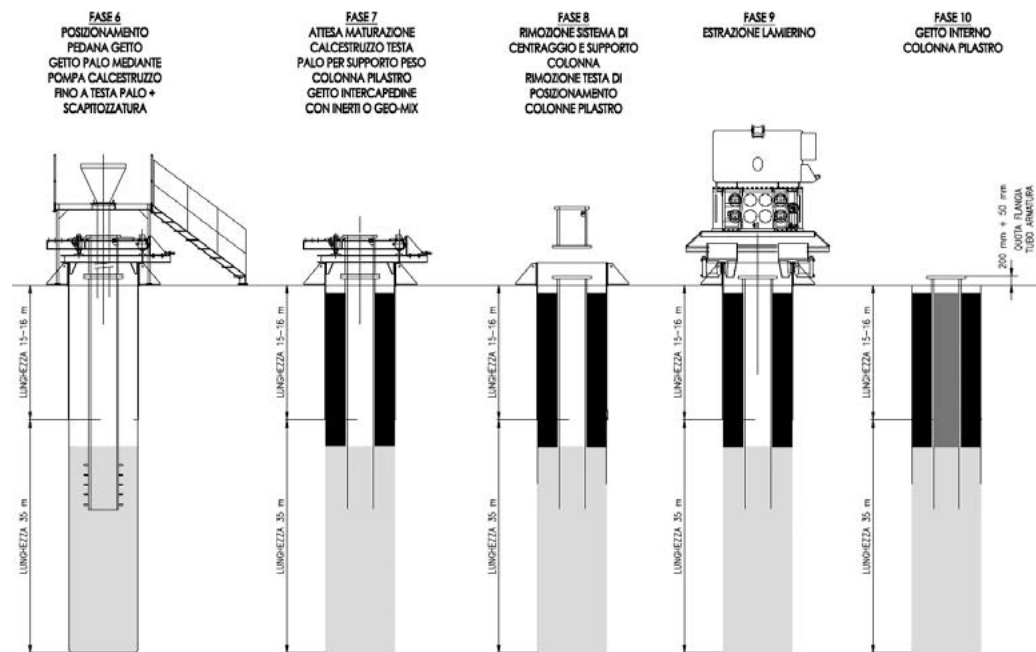


Fig. 12 - Sistema di messa in posa dei pali in acciaio, fase 6 - 10;

3.1.3 Sistema di monitoraggio

Il procedimento costruttivo *top-down* necessita di alcune opere provvisorie per sostenere i piani costruiti durante gli scavi nei livelli inferiori. Al termine delle operazioni di scavo vengono realizzate le strutture verticali definitive e vengono trasferiti i carichi sostenuti dalle strutture provvisorie a quelle definitive. Tuttavia durante le operazioni di scavo il terreno di fondo nel quale sono ancorate le colonne provvisorie viene progressivamente decompresso provocando un rigonfiamento del terreno e il conseguente sollevamento delle strutture provvisorie unitamente ai piani che vi si appoggiano. Tale fenomeno, difficilmente quantificabile con precisione, è più accentuato nella zona centrale della stazione e decresce di intensità con l'avvicinarsi alle paratie perimetrali. Essendo i piani costruiti legati al perimetro delle paratie, il rigonfiamento provoca degli innalzamenti della zona centrale dei piani appoggiati e concomitanti aumenti di forze nelle colonne provvisorie di sostegno.

Al fine di mantenere le quote di costruzione dei livelli e di preve-

nire eccessivi aumenti di forze nelle colonne provvisorie questa problematica viene gestita nel seguente modo:

- Installazione di un sistema di regolazione idraulica nelle zone di appoggio delle strutture dei livelli costruiti sulle colonne metalliche provvisorie;
- Installazione di un sistema di monitoraggio di forze e spostamenti in corrispondenza di alcune colonne provvisorie significative;
- Esecuzione di interventi idraulici di regolazione della posizione delle strutture appoggiate rispetto alle strutture metalliche provvisorie con cadenza programmata oppure in conseguenza delle determinazioni scaturite dal sistema di monitoraggio (figura 15).

Al termine della costruzione dell'ultimo livello interrato e delle strutture verticali il sistema di regolazione idraulico viene utilizzato per il trasferimento di carico controllato sulle strutture definitive.

Le regolazioni idrauliche vengono effettuate sulla base di una cadenza programmata e prestabilita per ogni punto di regolazione. Le cadenze iniziali potranno essere modificate aumentando o diminuendo la frequenza di regolazione a seconda dei primi risultati sperimentali ottenuti e delle variazioni riscontrate rispetto al periodo di tempo preso in esame.

Il sistema di monitoraggio viene installato in tre fasi distinte seguendo le fasi di scavo. Qualora il sistema di monitoraggio segnali il superamento di alcune soglie su particolari colonne, viene attuato un intervento di regolazione supplementare per ottenere due effetti: l'abbassamento delle forze interne nelle colonne che hanno generato il superamento di soglia e la regolazione geometrica della struttura dei piani costruiti.

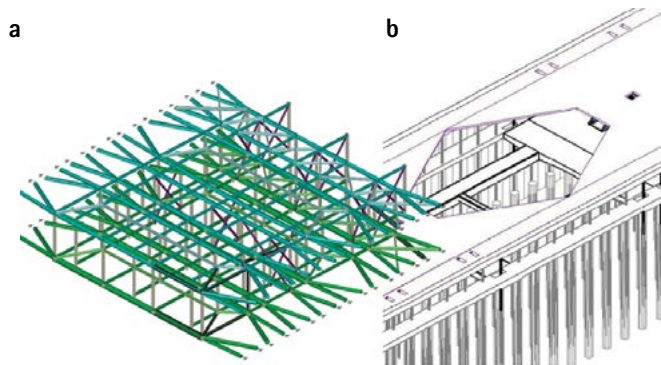


Fig. 13: a) Schema dei punti temporanei previsto nel progetto a base di gara; b) alternativa proposta nel progetto esecutivo (livello piano terra e livello intermedio).

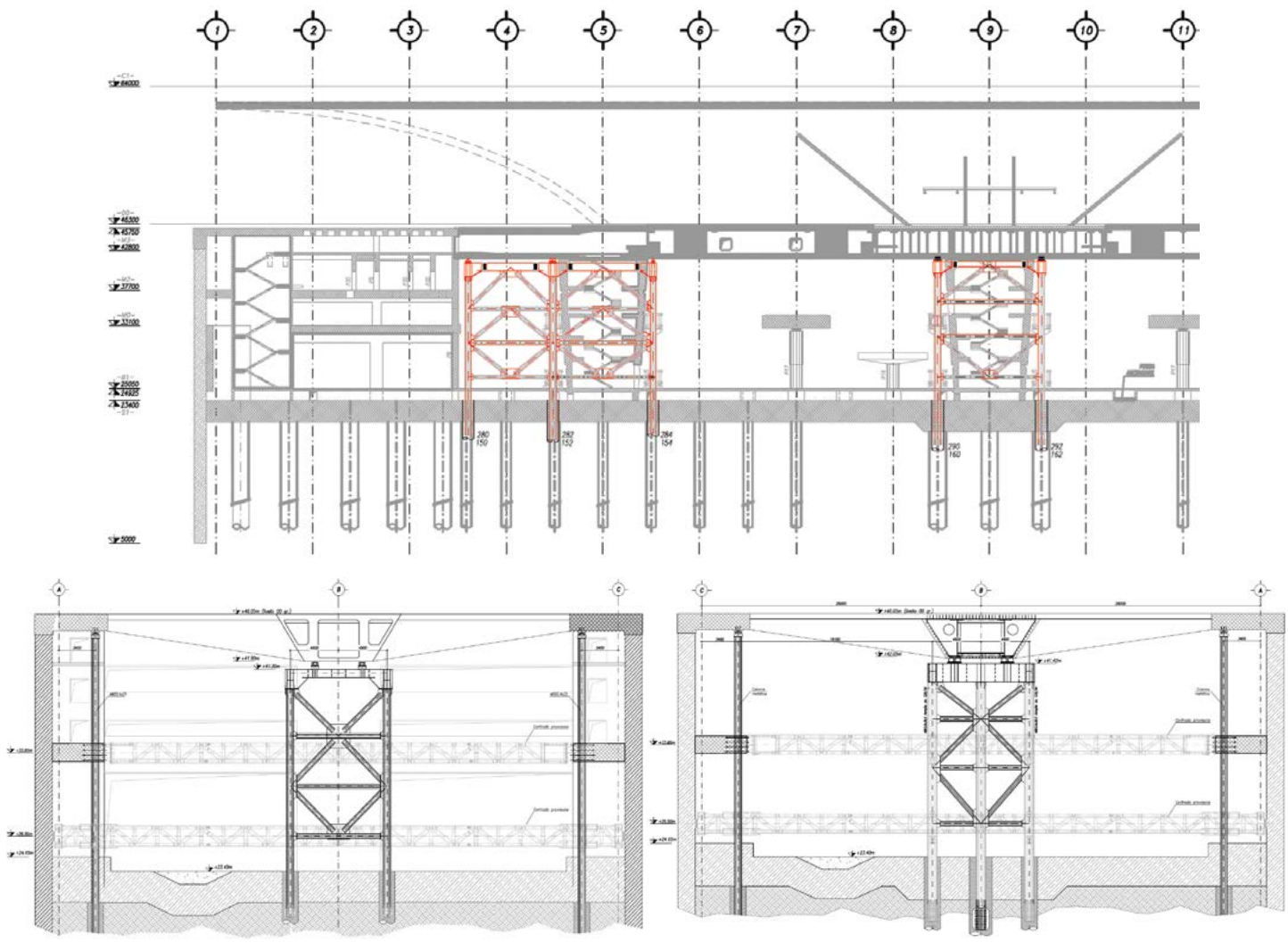


Fig. 14 - Torri provvisorie di sostegno dei solai, vista di prospettiva e sezioni

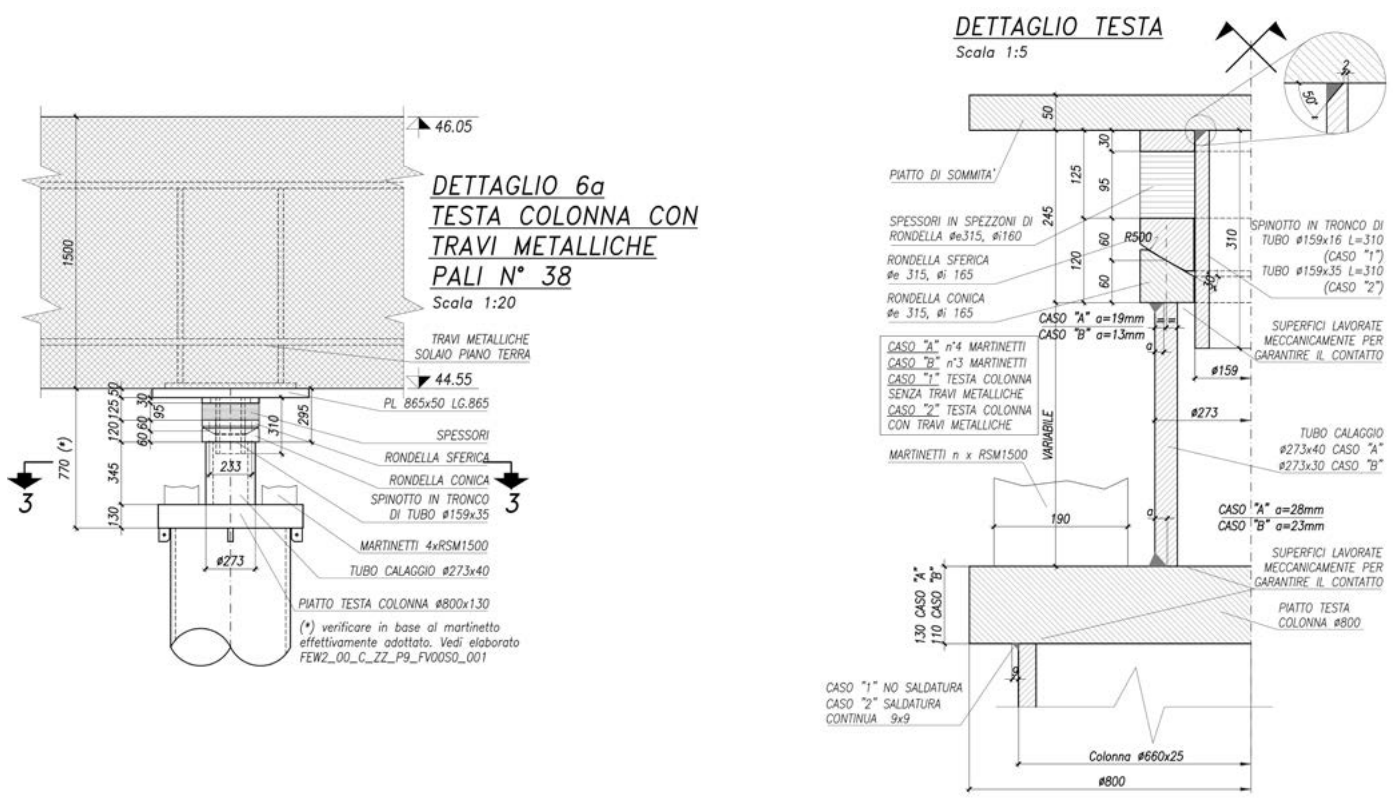


Fig. 15 - Dettaglio di connessione delle colonne con le travi metalliche del livello M1. Sistema che permette l'inserimento di spessori metallici per regolare la posizione.

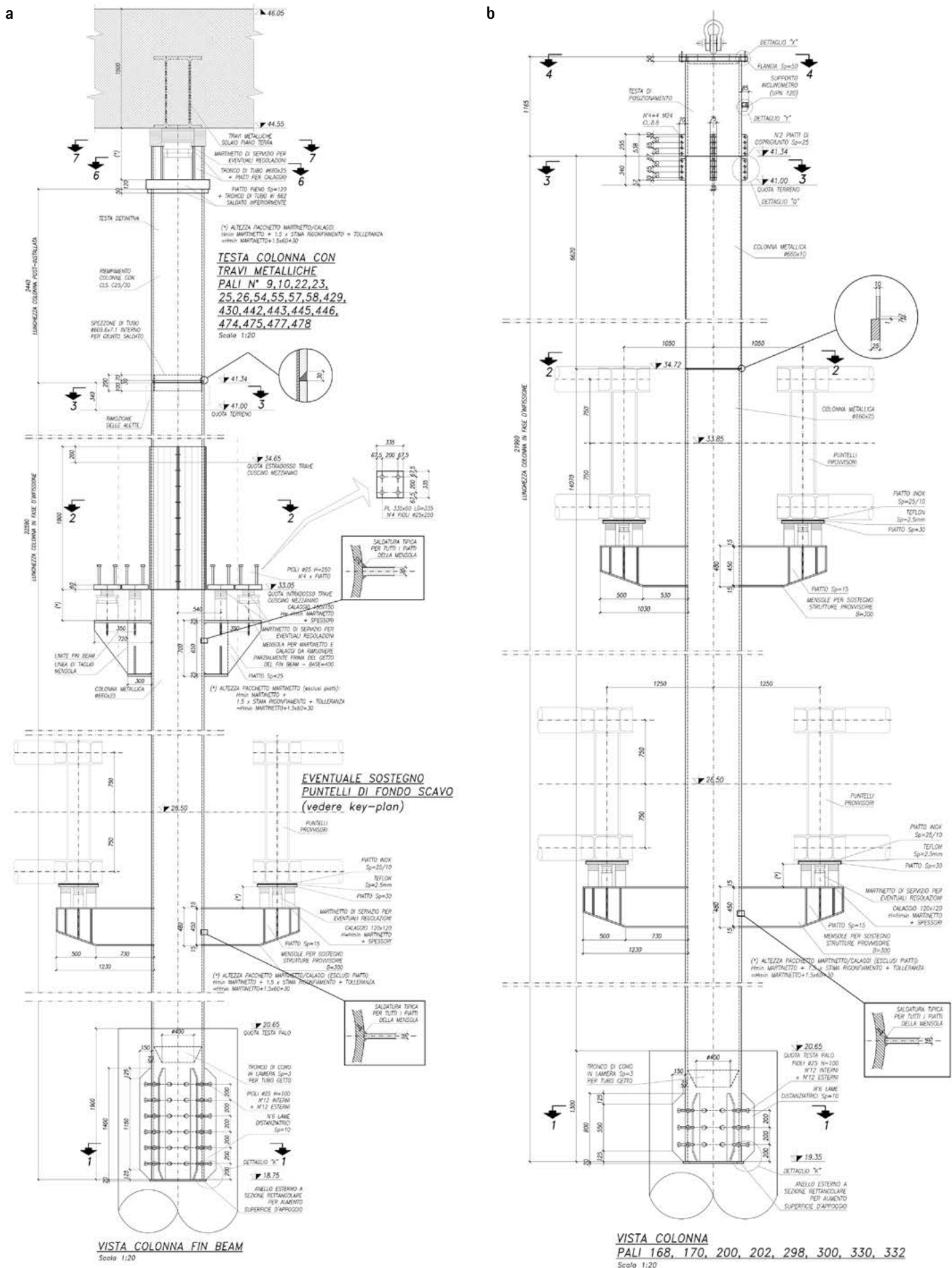


Fig. 16 - Colonne metalliche a sostegno delle *fin beam* (a) e delle strutture del mezzanino (b)

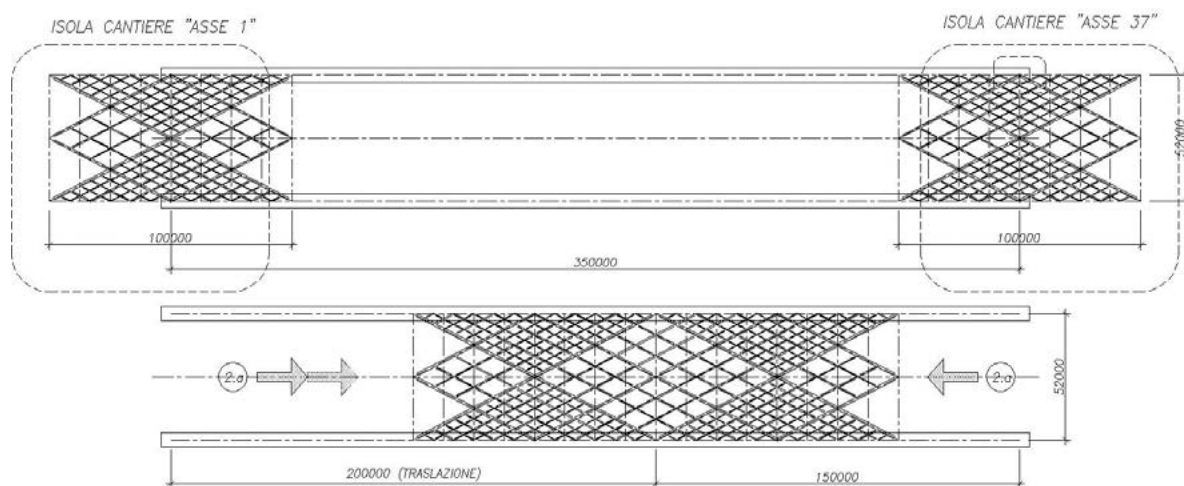


Fig. 17 - Schema di movimentazione della copertura

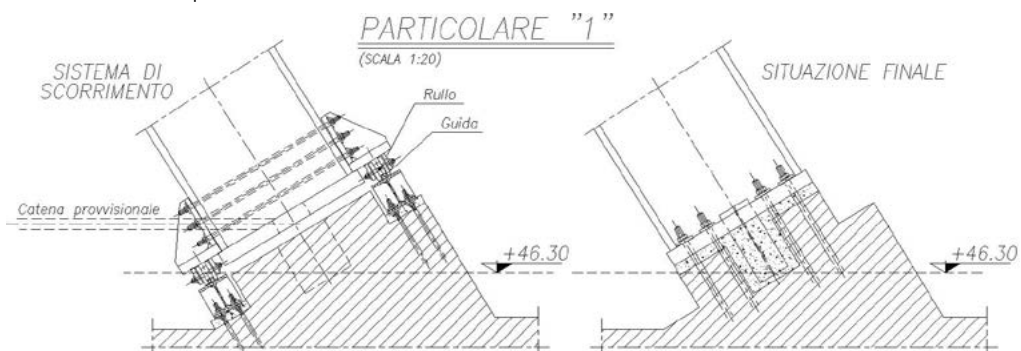


Fig. 18 - Dettaglio di base degli archi di copertura, configurazione durante lo scorrimento e finale

3.2 Variante della copertura metallica

3.2.1 Procedura di montaggio

Relativamente alla struttura di copertura si propone, restando nell'ambito dei vincoli progettuali di gara, una procedura di montaggio della struttura metallica di copertura che prevede:

- il montaggio dei vari elementi strutturali metallici in "moduli"; tale montaggio è eseguito in una zona del cantiere posta in corri-

spondenza di una delle due estremità del "camerone" (figura 17);

- la traslazione longitudinale dei vari "moduli prima assemblati" nella loro posizione finale (figura 18).

Tale procedura di costruzione permette di ottimizzare le risorse del cantiere concentrando le risorse stesse in zone ben definite e permettere di coordinare in sicurezza le fasi costruttive ottenendo, allo stesso tempo, un significativo beneficio economico.

CREDITS

Committente: RFI - Ing. Chiara De Gregorio (Responsabile di Commessa)

Alta Sorveglianza: Italferr - Ing. Luigi Viscovo (Project Manager)

Direzione dei Lavori: Rothpletz-Lienhard - Ing. Aldo Cerri (Direttore dei Lavori)

Contraente Generale: Nodavia, Ing. Andrea Lazzarotto (Direttore di Cantiere)

Progettazione a base di gara (PES):

- Architettura: Foster and Partners
- Strutture ed impianti: ARUP

Progettazione esecutiva:

- Aspetti generali: AMBIENTE - DURAZZANI - GEOECO Progetti
- Progettazione strutturale: Studio MAJOWIECKI - ECI Eco Consulting Ingegneria - Studio LEMBO-FAZIO - SWS Engineering
- Progettazione impiantistica: ANSALDO - BETA PROGETTI - T.e T.I. - TESIFER