

STRUTTURE INTERRATE



PORTA NUOVA GARIBALDI: PROBLEMI FONDAZIONALI DI UN CANTIERE COMPLESSO

dott. ing. Danilo Campagna
dott. ing. Claudia Gregis
dott. ing. Alessandro Aronica
dott. ing. Andrea Sangalli

Committente: Hines Italia e da altri fondi di investimento nazionali ed internazionali.

Progetto strutturale a firma dell'ing. Danilo Campagna, redatto dalla MSC Associati S.r.l. di Milano

Supervisione del Prof. Antonio Migliacci del Politecnico di Milano, nonché socio fondatore della stessa MSC.

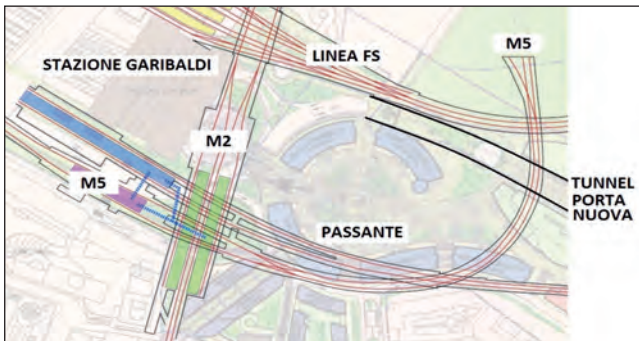
Lo sviluppo delle nostre città deve essere mirato sempre più a recuperare aree dismesse del tessuto urbano, originarie di epoche industriali ormai passate, piuttosto che a consumare nuovo territorio verde periferico. Quest'assunto deve essere alla base della riprogettazione urbanistica al fine di rendere sostenibile lo sviluppo edilizio e migliorare la qualità della vita sociale in aree degradate presenti nelle grandi metropoli moderne.

Un esempio riuscito di tale filosofia è stato quello attuato in tutta l'area antistante alla stazione di Porta Garibaldi a Milano dove, un grande intervento di riqualificazione urbanistica ha permesso di recuperare un'estesa area degradata portandola oggi al centro della vita sociale del capoluogo meneghino.

Questo grande progetto di sviluppo urbano, ad oggi completato per oltre l'85 %, prende il nome da una delle storiche porte dei bastioni di Milano presente in vicinanza all'area di intervento, ovvero "Porta Nuova". Il progetto, il cui masterplan è stato concepito dall'architetto argentino Cesar Pelli, è stato suddiviso in tre sotto aree, chiamate ognuna con i nomi dei quartieri su cui le stesse sorgono, quali Garibaldi, Varesine e Isola. La progettazione di nuovi quartieri, che devono sorgere in aree così centrali della città, presenta spesso problematiche tecniche più complesse di quelle che invece si affronterebbero in aree mai edificate, ciò per l'esistenza di infra-



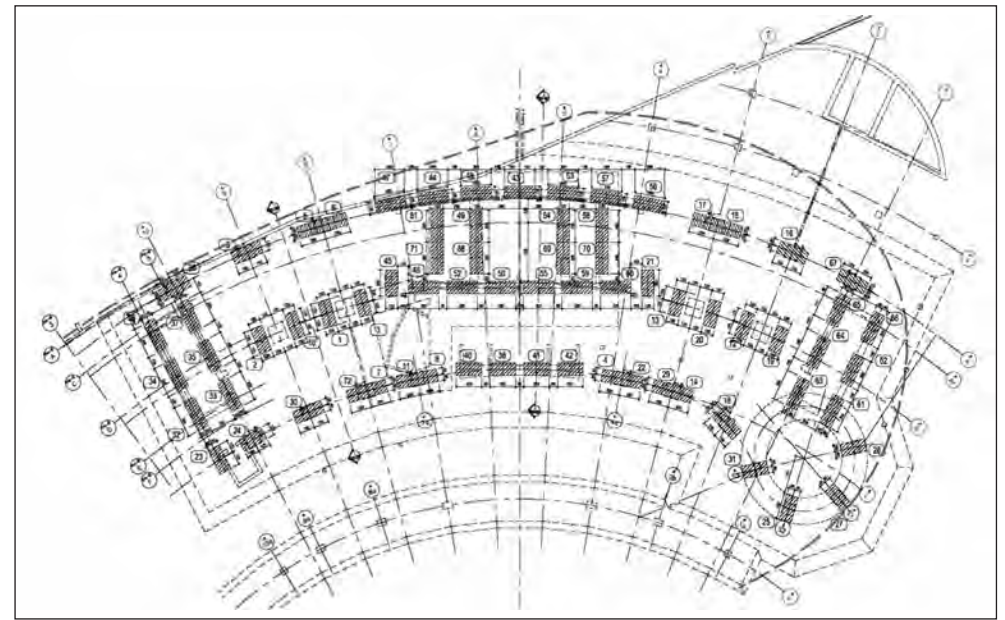
Masterplan Porta Nuova Garibaldi



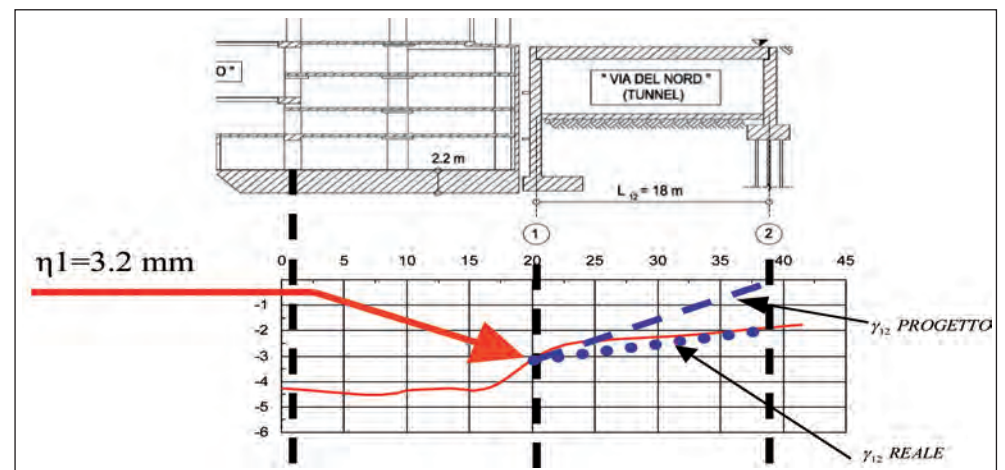
Planimetria interferenze

strutture esistenti. Tale circostanza è stata da subito evidente nello sviluppo dell'area Porta Nuova Garibaldi compresa tra la Stazione Garibaldi ed il Viale Melchiorre Gioia. Infatti questo settore del comparto "Porta Nuova" è quello che presenta il maggior nu-

mero di interferenze con le infrastrutture esistenti nel sottosuolo quali la galleria del Passante Ferroviario, quella della nuova linea Metropolitana M5, quella dell'esistente linea metropolitana M2, il nuovo tunnel automobilistico interrato di Porta Nuova e il



Planimetria della pianta fondazioni della Torre A



Sezione verticale della Torre A/Tunnel e cedimenti verticali di progetto

canale interrato del naviglio Martesana.

In relazione a ciò si riporta qui di seguito una breve descrizione dei principali problemi che si sono dovuti affrontare nel corso dello sviluppo progettuale presentando inoltre le soluzioni adot-

tate per la soluzione delle problematiche fondazionali.

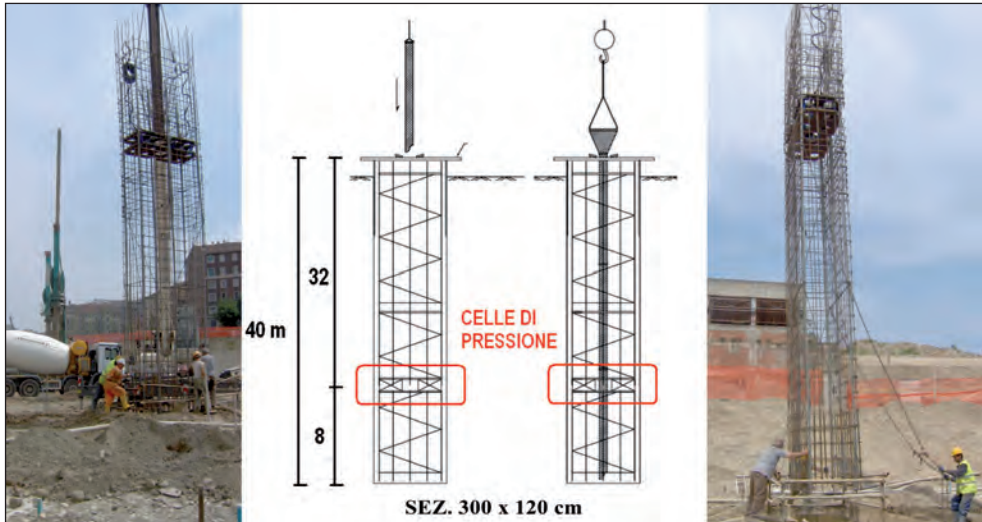
PROBLEMI FONDAZIONALI DELLA TORRE A

Per la Torre A, che conta 3 piani interrati e 32 fuori terra, raggiungendo un'altezza to-

tale dal piano piazza di circa 145 m ai quali si aggiungono gli ulteriori 86 metri della guglia presente sulla copertura, si è dovuta studiare l'interazione tra le fondazioni e l'adiacente tunnel di Porta

segue a pag. 10

FOCUS



segue da pag. 9

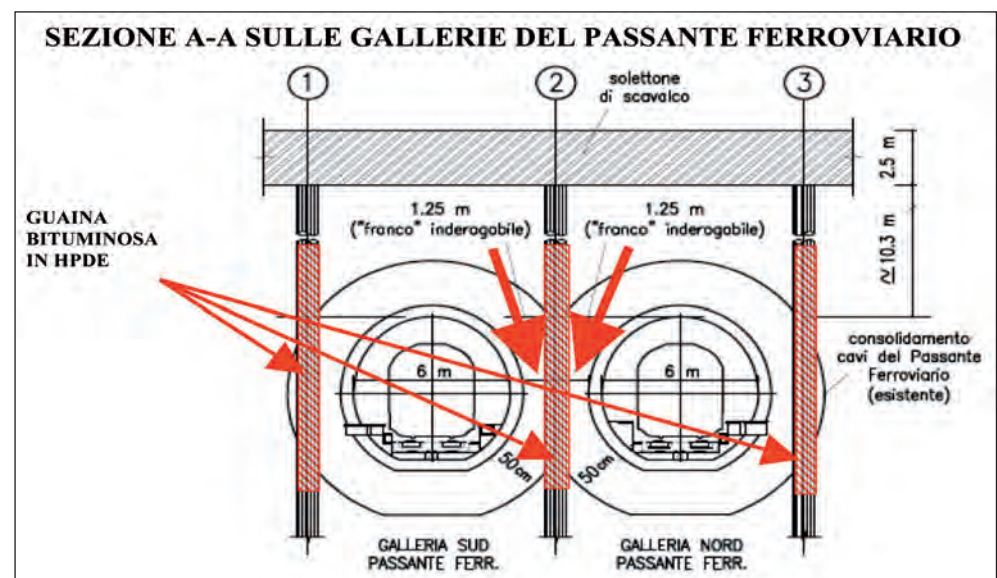
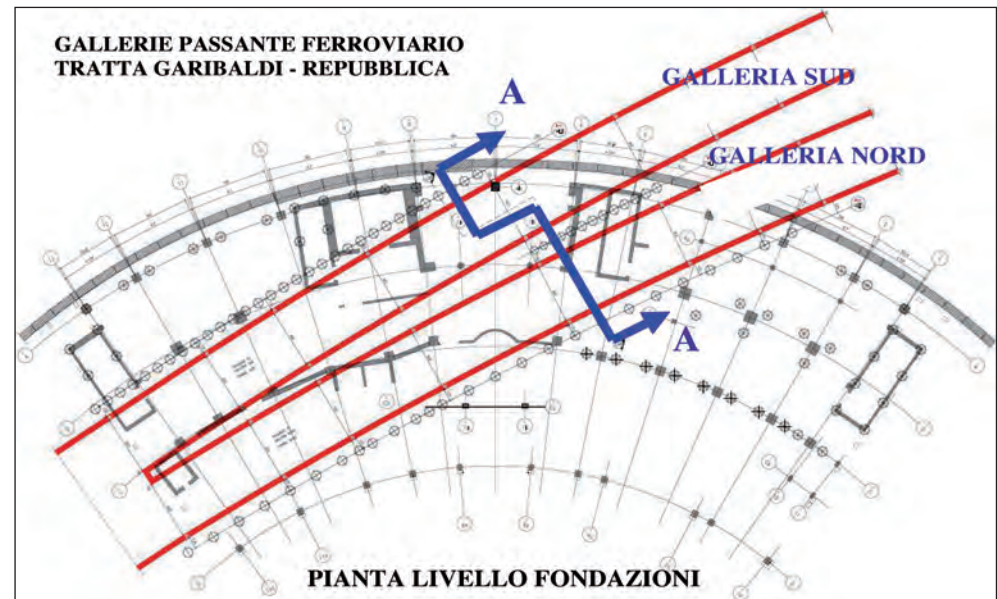
Nuova, realizzato prima della costruzione della Torre stessa. In particolare sono state analizzate le distorsioni angolari impresse al tunnel dovute alla realizzazione successiva della Torre. L'elevato peso dell'edificio, superiore alle 100.000 tonnellate, genera infatti un esteso e profondo bulbo di sovratensioni nel terreno fondazionale a cui conseguono inevitabili cedimenti delle costruzioni poste in tale ambito di influenza. Nel caso specifico ciò poteva determinare dei cedimenti differenziali sulle strutture verticali del tunnel con conseguenti distorsioni angolari del suo impalcato di copertura. Il problema più complesso è stato quindi quello di individuare un sistema fondazionale della Torre in grado di limitare tali cedimenti differenziali e garantire la sicurezza statica e la funzionalità in esercizio del tunnel. La soluzione più idonea è stata identificata in un sistema fondazionale indiretto costituito da una platea in calcestruzzo, dello spessore di 2,2 m, impostata su diaframmi profondi 40 m (sezione 1,20 x 2,5 m sotto i pilastri e 1,20 x 3,0 m sotto i muri) realizzati con benna mordente in presenza di fanghi bentonitici che hanno permesso di trasferire in profondità i carichi della Torre, limitando così i cedimenti verticali superficiali. In questo modo si sono ridotti, rispetto alla soluzione con fondazioni di tipo diretto, anche i cedimenti differenziali verticali sulle strutture del tunnel e quindi le distorsioni angolari conseguenti. Nelle successive immagini vengono rappresentate una planimetria con la posizione dei setti di paratia e una sezione verticale dei piani interrati della Torre A con a lato l'adiacente Tunnel di Porta Nuova. Nelle seguenti immagini si propone una delle fasi realizzative dei diaframmi di dimensioni 300 x 120 cm. Si evidenziano le celle di pressione predisposte negli elementi sottoposti a prova di carico con il metodo "Osterberg".

PROBLEMI FONDAZIONALI DELLA TORRE C

Le tematiche legate all'altezza della Torre A e alle sue fondazioni non sono state le

uniche che hanno contraddistinto la progettazione strutturale del complesso edilizio di Porta Nuova Garibaldi. Infatti il progetto della Torre C ha rappresentato un'altra sfida con cui confrontarsi. Delle tre torri in progetto, la Torre C, è quella di minor altezza; questo edificio infatti conta 3 piani interrati e 12 fuori terra raggiungendo un'altezza totale, calcolata dallo spicco di fondazione, di circa 70 m. Le principali problematiche strutturali non si sono riscontrate dunque per l'altezza della Torre, ma bensì per le interferenze in fondazione con le infrastrutture esistenti. In particolare tale fabbricato è stato ubicato sul tracciato delle gallerie ferroviarie del passante ferroviario nella tratta Garibaldi - Repubblica di cui si rappresenta in seguito un'immagine esemplificativa della sovrapposizione. La sovrapposizione planimetrica tra le strutture della Torre C e quelle delle gallerie nord e sud è praticamente totale, come illustrato nella precedente figura. Le analisi preliminari hanno dimostrato che un sistema fondazionale di tipo diretto, quale una fondazione a platea, non sarebbe stato possibile in quanto il peso della Torre C, trasferito direttamente sulle gallerie del Passante, avrebbe generato sulle stesse stati tensionali inaccettabili. Infatti tali gallerie ferroviarie si trovano solamente a 11 m al di sotto della

quota di imposta delle Torre C e questa circostanza ha posto un delicato problema sulla definizione del sistema fondazionale dell'edificio. La scelta progettuale adottata è stata quella di fondazioni indirette al fine di trasferire il carico verticale della Torre al di sotto della quota di imposta delle gallerie. Con questa soluzione progettuale si sono limitati gli stati tensionali aggiuntivi che, in questa configurazione, sono risultati compatibili con la statica in esercizio delle gallerie. In particolare sono risultate limitate le deformazioni torsionali del cavo metropolitano e quelle flessionali longitudinali, soprattutto nelle zone di transizione in ingresso ed in uscita dall'influenza della sovrastante struttura dell'edificio. Il sistema di fondazioni è stato realizzato mediante tre palificate, eseguite a lato delle gallerie, che costituiscono tre allineamenti di appoggio continuo della platea. In questa condizione statica di progetto la platea non è risultata più essere un elemento di fondazione ma bensì un impalcato che, appoggiato sugli allineamenti di pali, è stato progettato per sorreggere la Torre sovrastante. Questa struttura di fatto ha definito "un ponte interrato" a scavalco delle gallerie le cui pile, costituite dai pali, scaricano i carichi verticali al di sotto della quota di imposta dei tunnel ferroviari, anche grazie alla forte ridu-

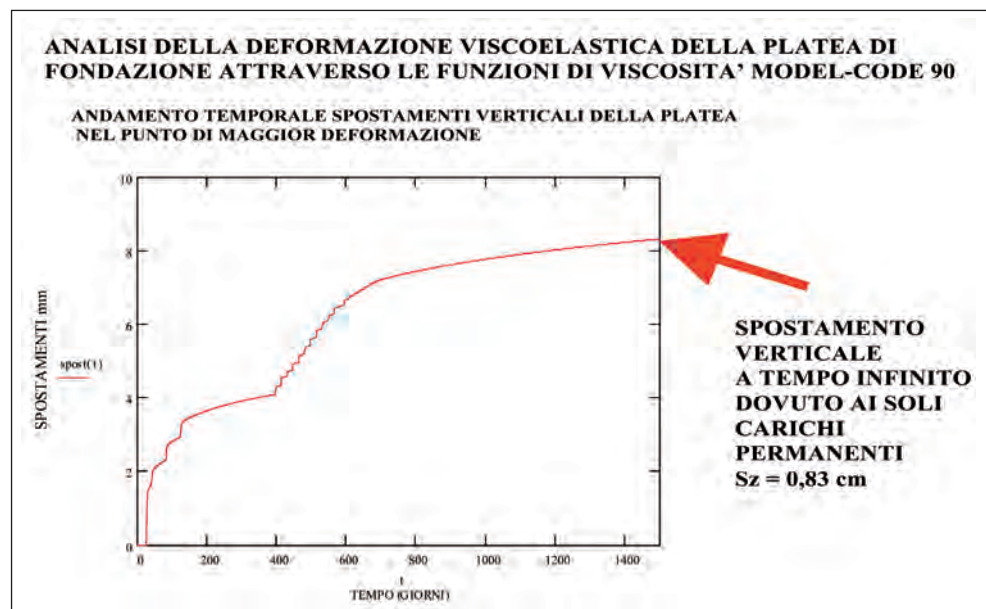


zione dell'attrito laterale ottenuta tramite la predisposizione di un'interfaccia in guaina bituminosa di HPDE. Nel complesso iter progettuale l'altro elemento discriminante è stato sicuramente la deformabilità flessionale della platea, in quanto eccessivi spostamenti verticali nella sua parte centrale, avrebbero potuto comprimere il terreno al di sopra delle gallerie riportando quindi sulle stesse una quota parte del peso della Torre. Questa situazione avrebbe quindi reso meno efficiente il sistema fondazionale

previsto in progetto. In particolare poi, al fine di limitare i pesi della platea mantenendo contestualmente un'elevata rigidità sezionale della stessa, si è optato per realizzare una sezione di altezza pari a 2,5 m alleggerita con appositi elementi metallici di forma cilindrica con diametro 1,5 m e interasse 2,2 m. Una volta definite le suddette caratteristiche strutturali è stata effettuata un'analisi di costruzione per fasi successive attraverso un'applicazione progressiva dei carichi sulla platea simulando la costru-

zione nel tempo della Torre C. Questa successione temporale dell'applicazione dei carichi ha permesso di valutare lo spostamento nel punto di maggior deformabilità considerando gli effetti differiti nel tempo legati al fluage del calcestruzzo della platea. Nel dettaglio della platea è stata utilizzata la funzione di viscosità presente nel CEB FIP MODEL CODE 90 che ha consentito di definire l'evoluzione temporale delle deformazioni flessionali in relazione alle caratteristiche reologiche del calcestruzzo e al-

STRUTTURE INTERRATE



Andamento spostamenti viscoelastici della platea nel punto di maggior deformabilità

l'evoluzione temporale dell'applicazione dei carichi (costruzione per fasi successive dei piani della Torre). L'andamento temporale degli spostamenti nel punto di maggior deformabilità della platea è rappresentato nel grafico rappresentato nella figura. Allo spostamento flessionale della platea è stato sommato quello di progetto calcolato sulla testa dei pali, legato alla deformabilità longitudinale degli stessi ed alla interazione del sistema palo - terreno. Definito l'abbassamento verticale globale massimo nel punto di maggior deformazione della platea, al fine di escludere interazioni tra il terreno sovrastante le gallerie, è stato inserito sotto il magrone di fondazione uno strato altamente deformabile costituito da sabbia e polistirolo.

PROBLEMI FONDAZIONALI EDIFICI E1 - E2

Gli edifici E1 - E2, che contano 3 piani interrati e 6 fuori terra raggiungendo un'altezza totale calcolata dal piano piazza, di circa 30,80 m, sono caratterizzati da dimensioni in pianta variabili in larghezza da 37,30 m a 23,30 m e di lunghezza totale di 144 m.

Le loro fondazioni sono caratterizzate dalle seguenti interferenze presenti nel sottosuolo:

1) Edificio E1: l'edificio è caratterizzato dalla sovrapposizione planimetrica con la galleria del Passante Ferroviario che collega le stazioni di Garibaldi e Repubblica.

2) Edificio E2: l'edificio è caratterizzato dalla sovrapposizione planimetrica con la galleria della nuova linea metropolitana M5.

Nella seguente figura viene mostrata la sovrapposizione tra gli edifici e le interferenze fondazionali (zona evidenziata in colore blu per E1 e in colore rosso per E2). Le fondazioni dell'edificio E1 sono state realizzate mediante

Il recupero di aree dismesse del tessuto urbano, anche al fine di rendere sostenibile lo sviluppo edilizio, presenta spesso problematiche tecniche complesse per la presenza di infrastrutture preesistenti

una platea in calcestruzzo di altezza pari a 1 m. Nel progetto della platea di fondazione sono state attentamente valutate le sollecitazioni trasferite al terreno e alla sottostante infrastruttura ferroviaria. Dalle analisi condotte è risultato che le pressioni trasferite alla galleria generano sollecitazioni sul manufatto interrato compatibili con le resistenze strutturali offerte dalla galleria stessa.

Invece, relativamente alle opere fondazionali dell'edificio E2, a seguito della parziale sovrapposizione planimetrica del fabbricato con il tracciato della linea M5, è stata progettata una struttura a "ponte", a scavalco della nuova metropolitana, atta a trasferire le azioni verticali provenienti dal sovrastante edificio, ad una quota inferiore a quella d'imposta della galleria della nuova linea della metropolitana. Tale "ponte" fondazionale è stato realizzato attraverso un impalcato in calcestruzzo armato alto 1,10 m, sostenuto da colonne di jet grouting posti sui lati della nuova galleria, aventi la funzione di trasferire i carichi verticali sotto la quota d'imposta della galleria evitando quindi possibili compressioni sulla struttura del manufatto interrato.

Il suddetto trattamento del terreno con colonna di jet grouting di diversa profondità ha permesso di limitare al massimo i cedimenti differenziali tra la zona con fondazioni dirette e quella con fondazioni indirette, quali la zona "ponte" sopra la M5 di fatto più rigida verticalmente. Tale soluzione ha permesso quindi di distribuire le sollecitazioni sulla lunghezza della platea di fondazione evitando concentrazioni di sforzo dovute ad una diversa rigidezza del sottostante terreno.

CONCLUSIONI

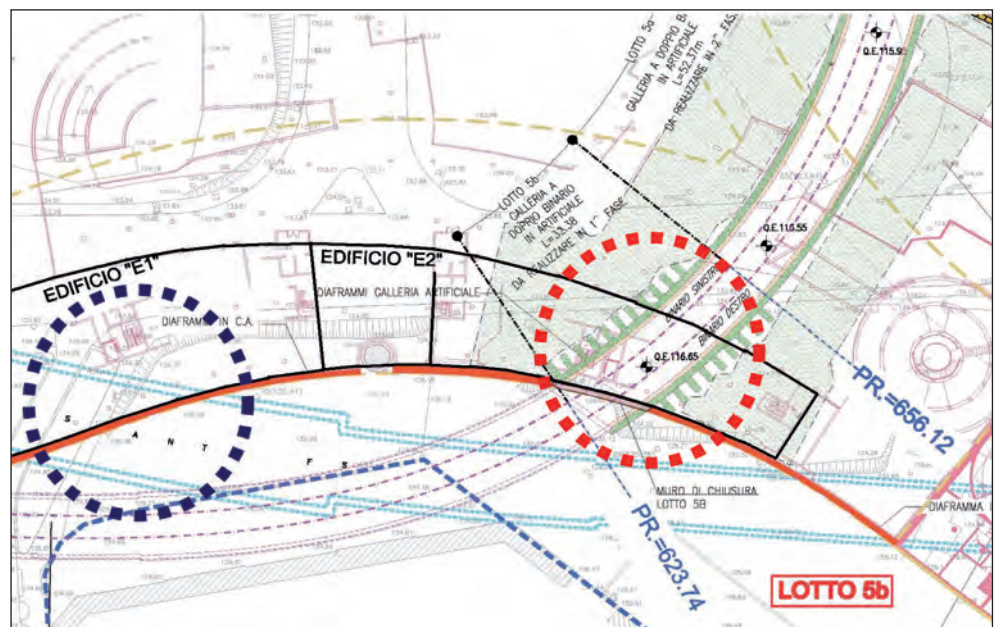
I progetti presentati sono una testimonianza concreta delle tematiche affrontate per realizzare un quartiere in un'area così centrale della città caratterizzata da infrastrutture sotterranee in parte già presenti ed in parte edificate in concomitanza ai nuovi edifici.

Nel corso della cantierizzazione sono state attuate diverse campagne di monitoraggio strutturale degli edifici e delle sottostanti infrastrutture che hanno confermato la correttezza delle ipotesi progettuali adottate e delle successive calcolazioni svolte per le specifiche verifiche. La progettazione di un quartiere come quello di Porta Nuova Garibaldi, caratterizzato da problemi fondazionali così complessi, è stata sicuramente una sfida per i tecnici del settore coinvolti nella progettazione di edifici da realizzare in aree centrali delle moderne metropoli. I soddisfacenti risultati ottenuti nel corso dei monitoraggi hanno rappresentato una ricompensa professionale al grande impegno dedicato nella progettazione di questo complesso quartiere appagando l'intelletto di tutti i progettisti coinvolti.

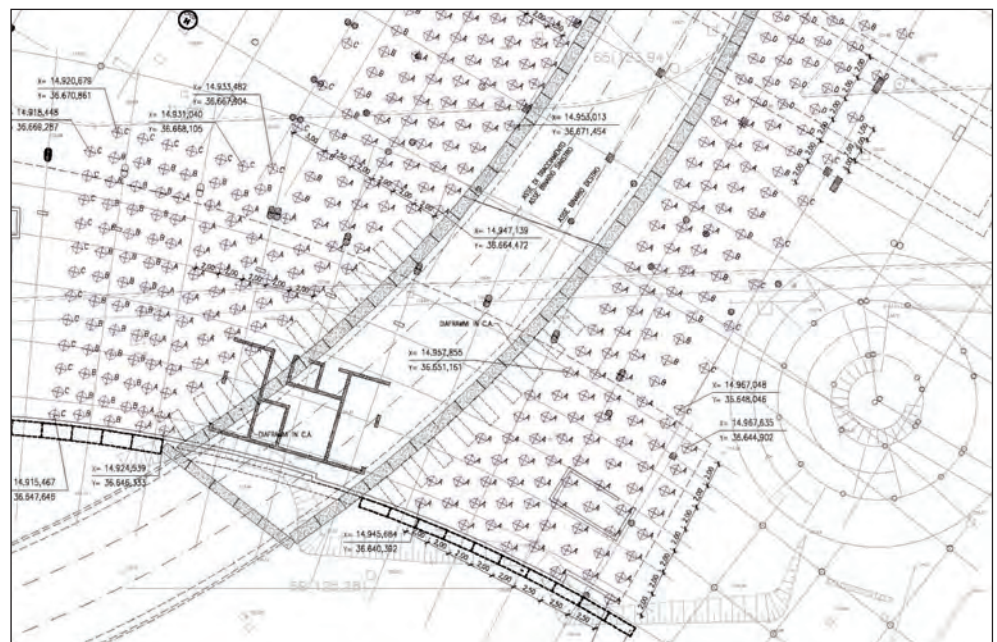
dott. ing. Danilo Campagna
dott. ing. Claudia Gregis
dott. ing. Alessandro Aronica
dott. ing. Andrea Sangalli
 MSC Associati S.r.l. Milano



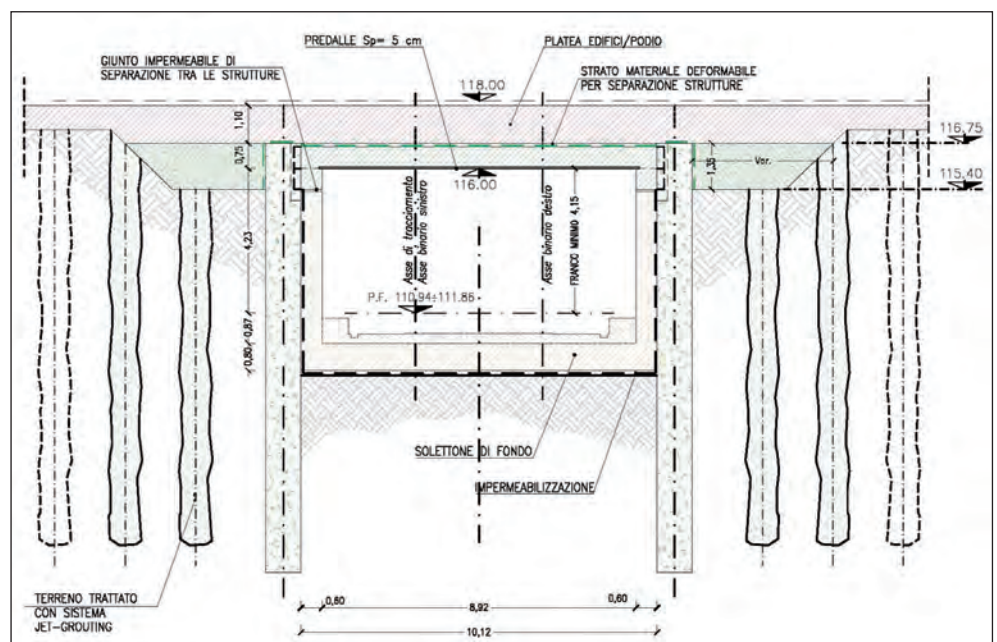
Dettaglio inserimento dei tubi di alleggerimento nello spessore della platea



Planimetrie delle interferenze per gli edifici E1-E2



Dettaglio dell'interferenza edificio E2 e linea M5



Sezione verticale sotto l'edificio E2 in prossimità della galleria M5



Rendering edificio E1-E2