

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



GEEG
GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL
ENGINEERING GROUP

Convegno:

Ricerca e Innovazione per lo sviluppo di opere di ingegneria in sotterraneo

Roma, 29 febbraio 2024 - Aula del Chiostro - San Pietro in Vincoli - Via Eudossiana 18, Roma

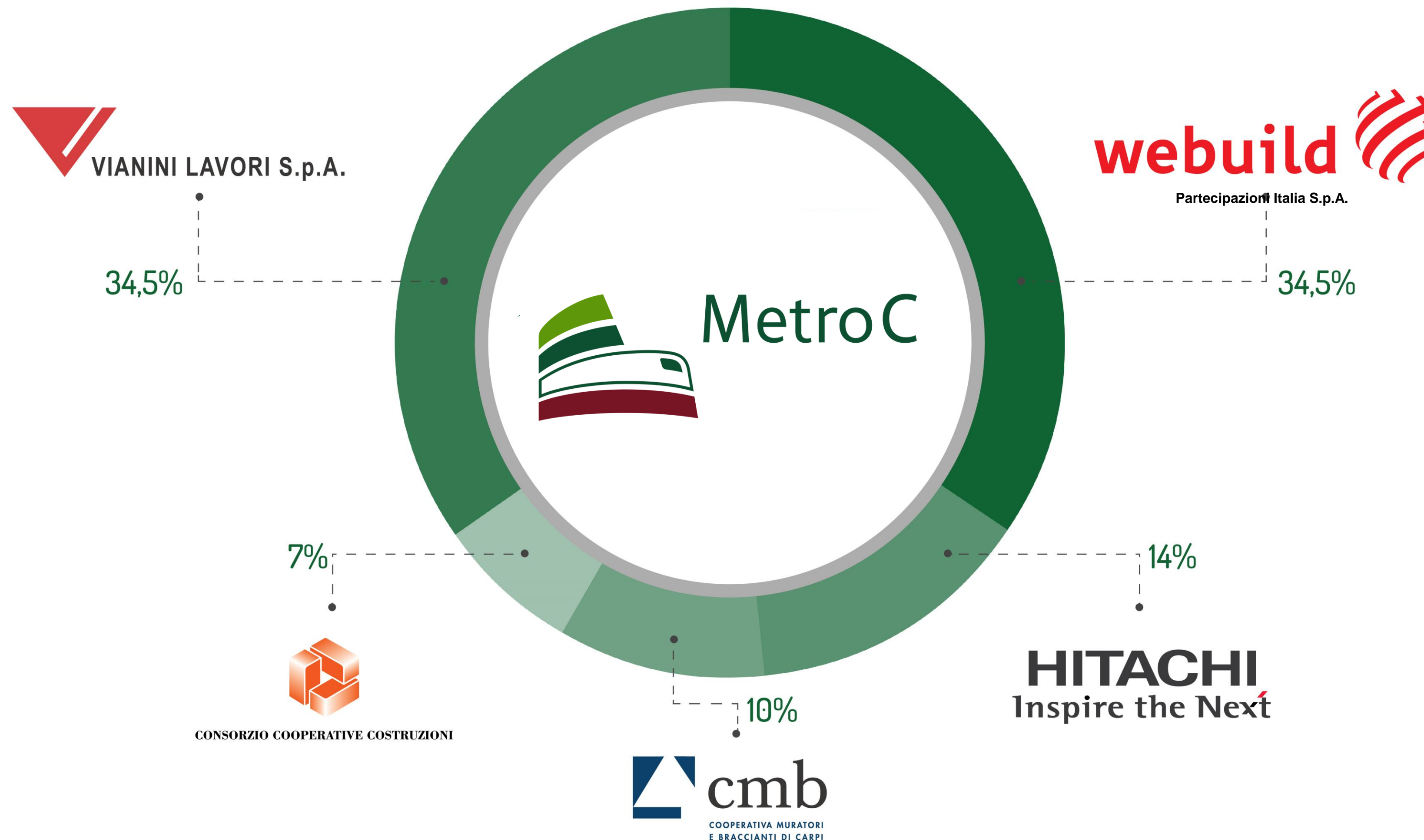


Ing. E. Romani
Metro C

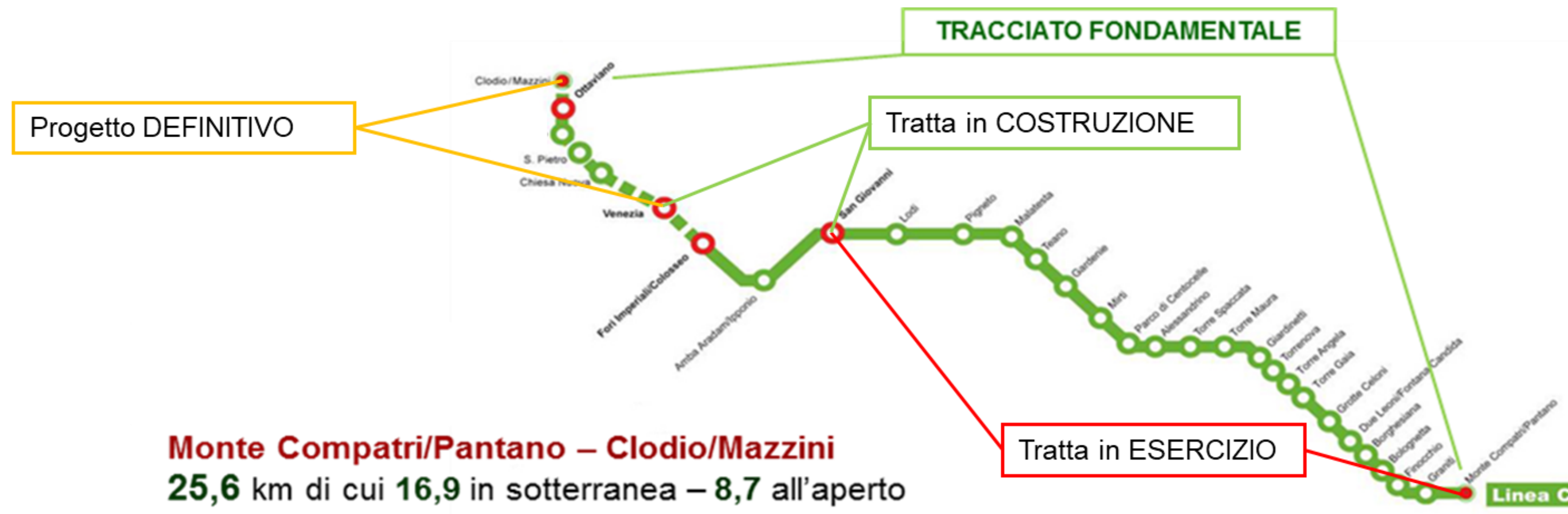
*La stazione Venezia della Metropolitana di Roma Linea C,
i principali aspetti progettuali e costruttivi*



Metro C: le imprese e l'affidamento



Metro C: l'oggetto dell'affidamento

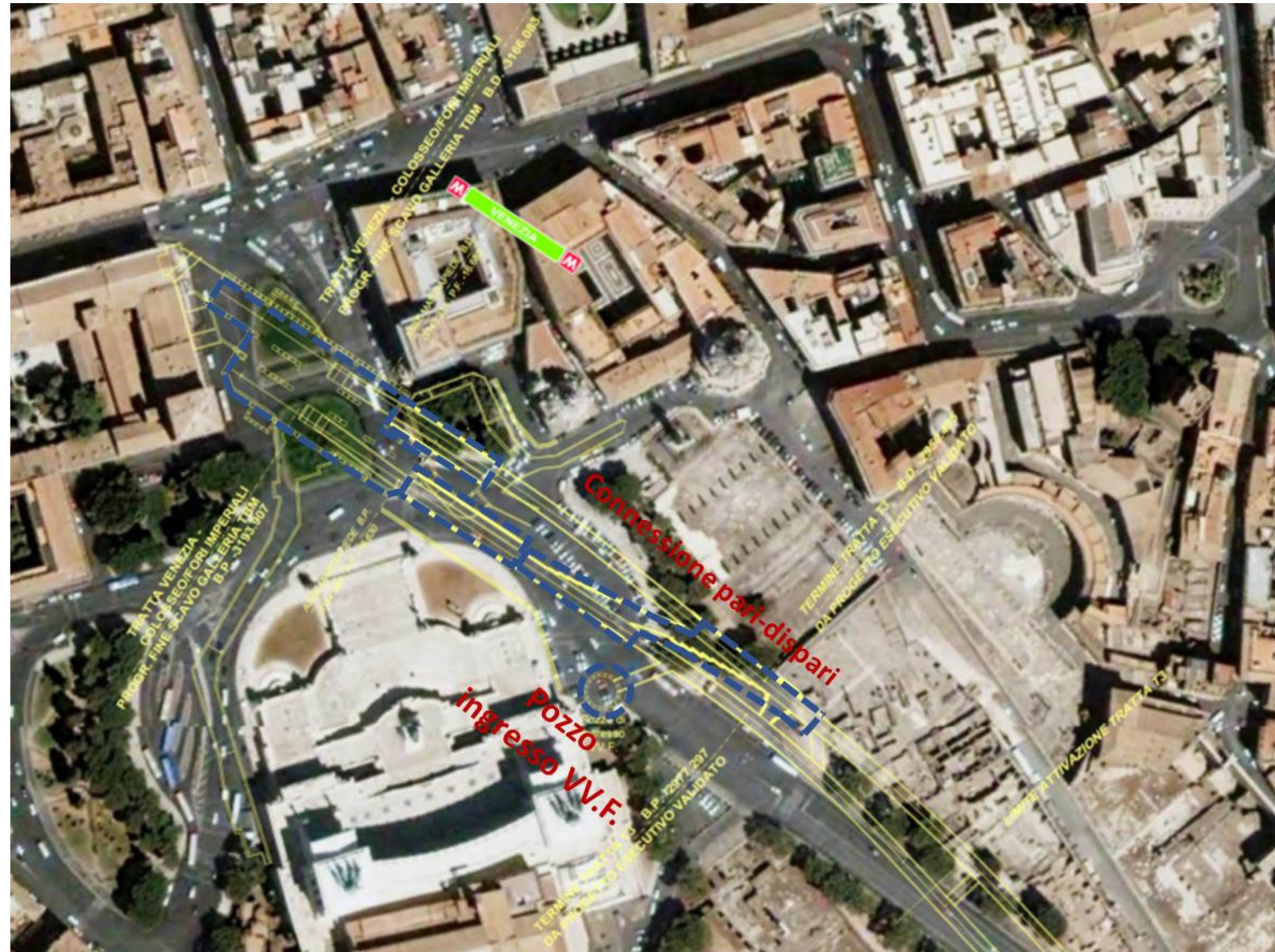


Caratteristiche principali tratta Clodio/Mazzini - Monte Compatri/Pantano

- Lunghezza della tratta **25,6 km**
- Numero delle **stazioni 29**
- Distanza media interstazione **800 m ca**
- Lunghezza della **linea in sotterraneo 16,9 km**
- Lunghezza della **linea all'aperto 8,7 km**
- Stazioni di corrispondenza e scambio passeggeri con linee metro e linee ferroviarie esistenti:
 - 2 con la Linea A della metropolitana: Ottaviano e S. Giovanni
 - 1 con la Linea B della metropolitana: Colosseo
 - 1 con la Ferrovia Regionale FR1 (Fiumicino aeroporto - Fara Sabina): Pigneto
- Deposito/officina di Graniti su un'area di **220.000m²**



La Tratta Venezia – Colosseo/Fori Imperiali



Ing. E. Romani - La stazione Venezia della Metropolitana di Roma Linea C, i principali aspetti progettuali e costruttivi



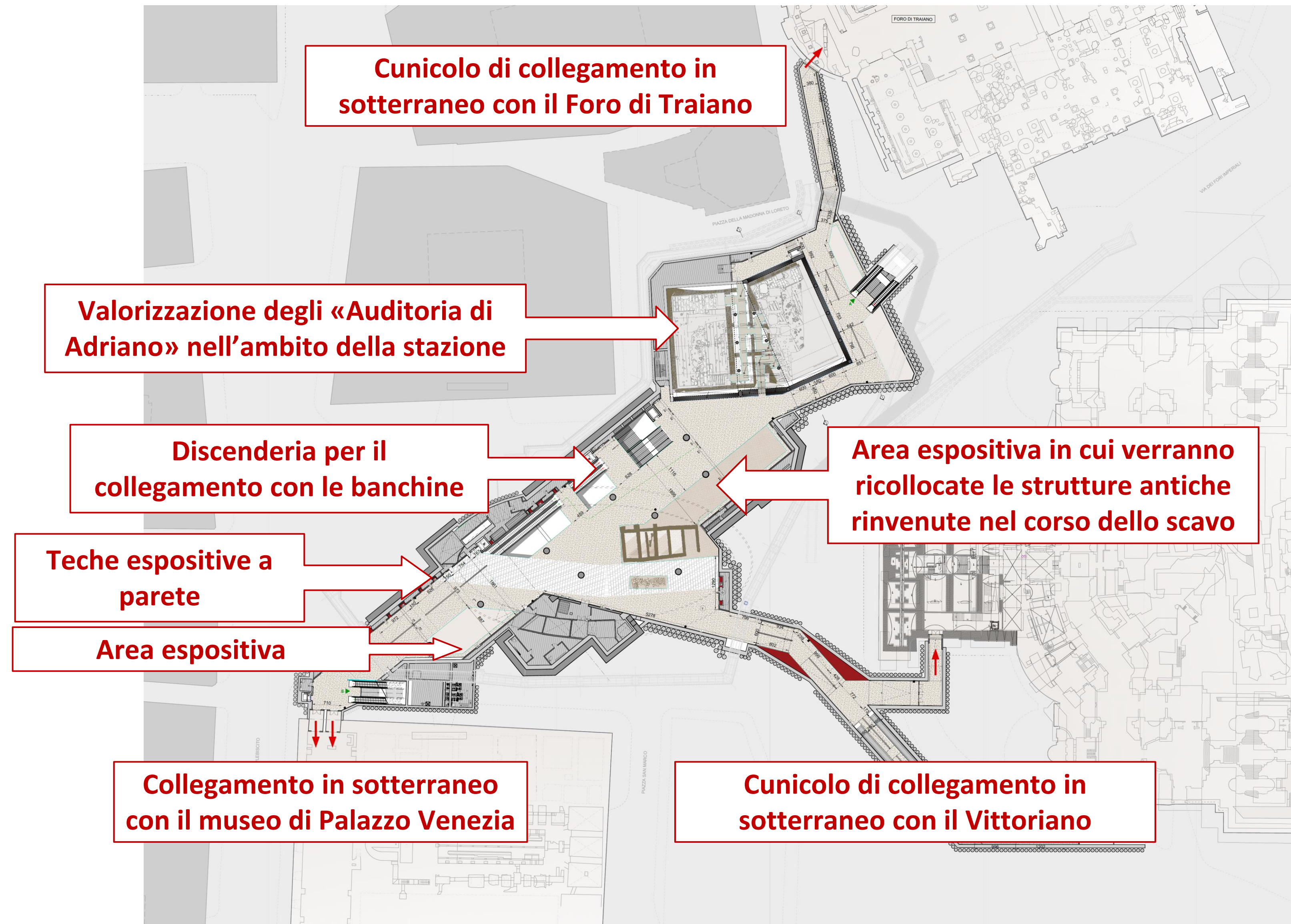
La stazione Venezia



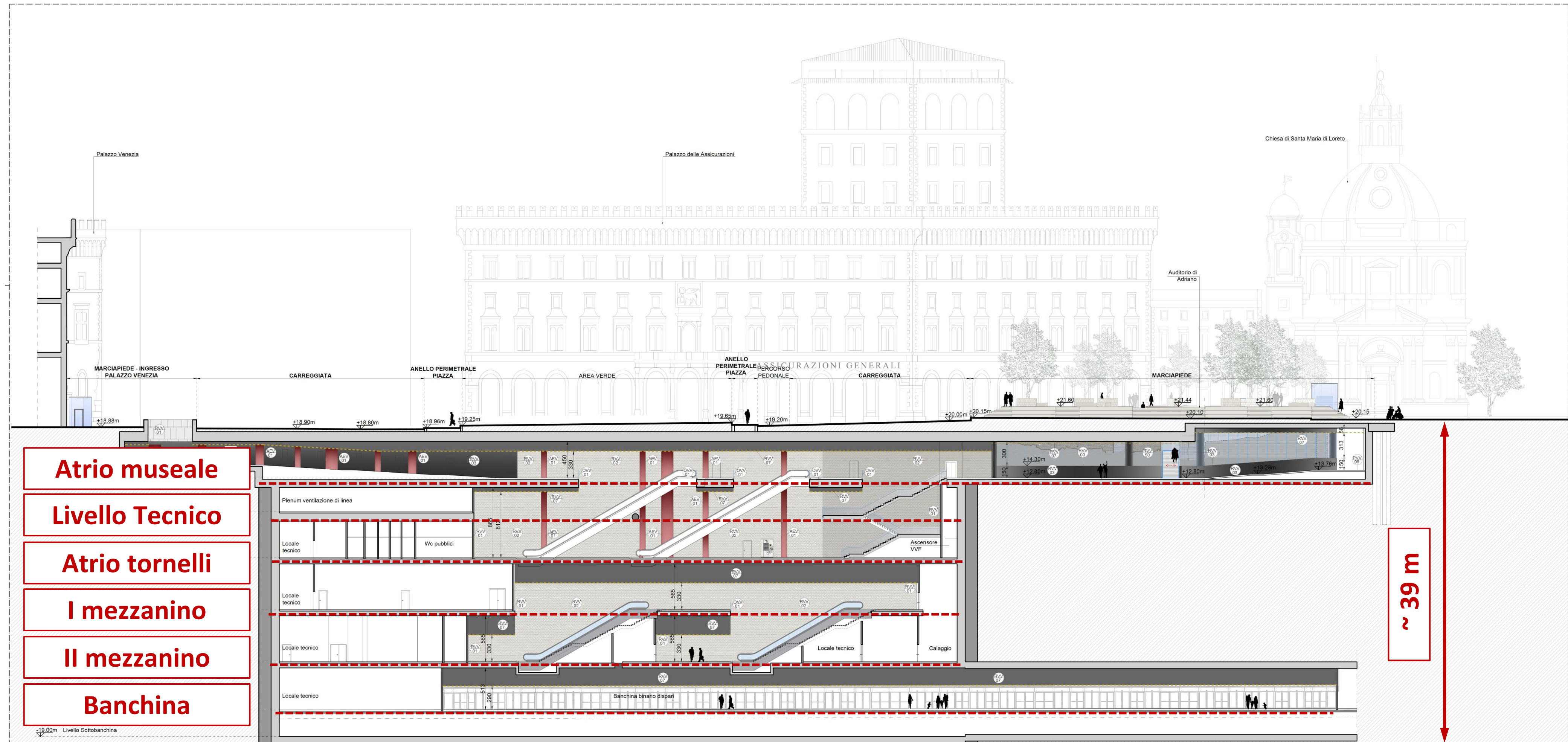
Le indagini archeologiche di Prima Fase



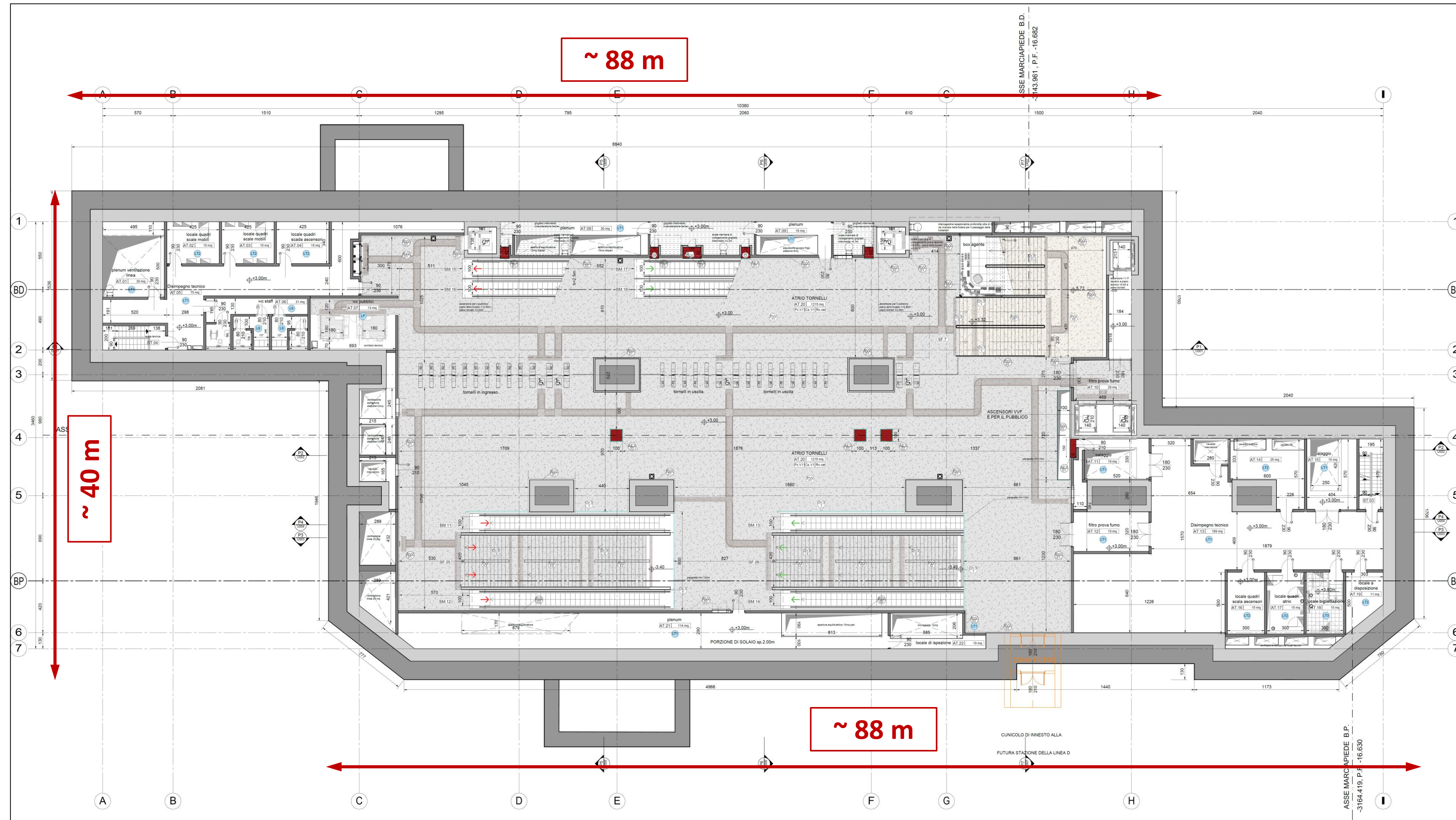
Il livello atrio museale



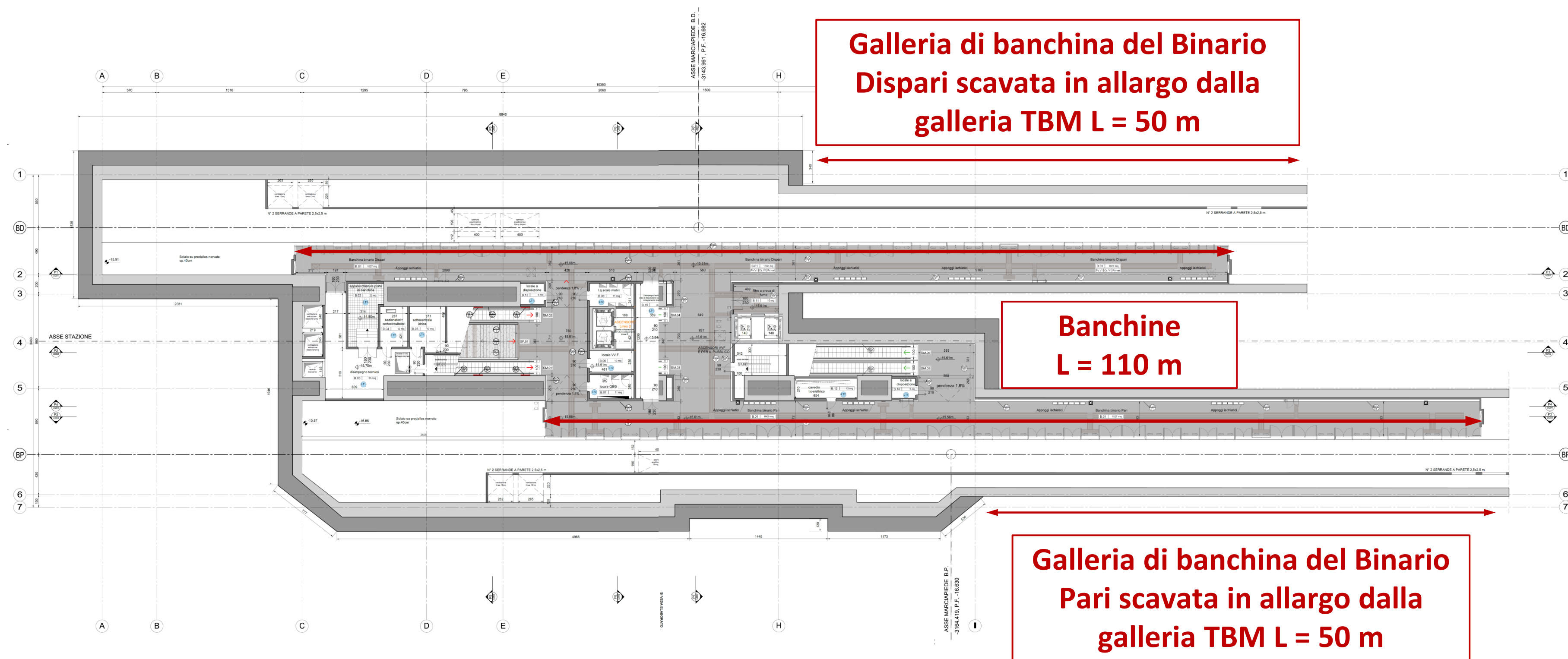
La sezione longitudinale



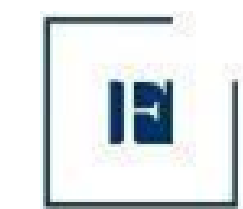
Il livello atrio tornelli



Il livello banchina



L'accesso lato via dei Fori Imperiali



L'accesso lato via del Plebiscito



La valorizzazione delle antiche *Tabernae*



La valorizzazione degli «Auditoria di Adriano»



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



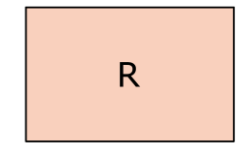
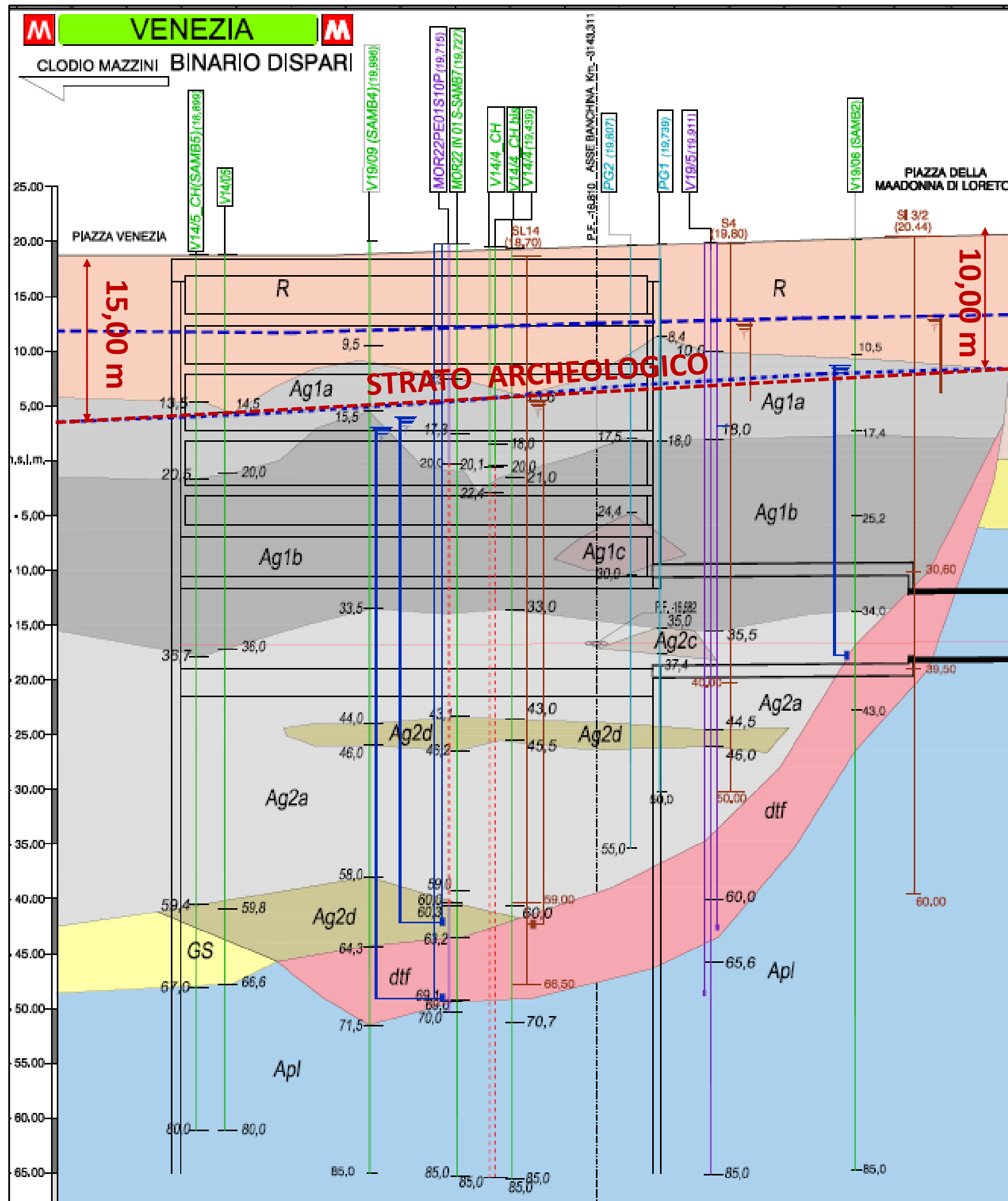
GEEG
GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL
ENGINEERING GROUP

I principali aspetti geologici, geotecnici e strutturali



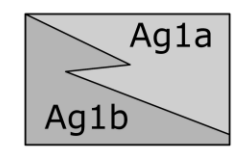
Metro C
La storia
costruisce futuro

I principali aspetti geologici, geotecnici e strutturali

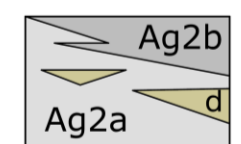


TERRENI DI RIPORTO, ANTICHI E RECENTI

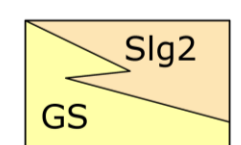
Terreni costituiti da elementi eterometrici ed eterogenei in matrice sabbioso-limosa prevalentemente di natura piroclastica (R); a luoghi inglobano resti di edifici, strutture di fondazione, muri, ecc. di epoche diverse. Alla base frammisti o passanti gradualmente ai terreni naturali sottostanti.



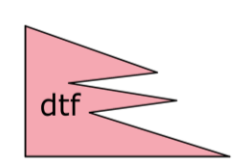
Argille limose e limi argillosi grigi, debolmente sabbiosi, con lenti e sottili livelli discontinui di sabbia fina, a luoghi con resti di sostanza organica (Ag1a); con frequenti livelli di sostanza organica vegetale più o meno carbonizzata (Ag1b). Nella parte sommitale di Ag1a si rinvengono di frequente frammenti di materiali antropici.



Argille limose e limi argillosi grigi, debolmente sabbiosi, con sporadiche lenti e sottili livelli discontinui di sabbia fina (Ag2a); con frequenti livelli di sostanza organica vegetale più o meno carbonizzata (AG2b). Lenti di sabbie fini limose grigie (Ag2d).

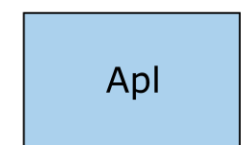


Sabbie medio-fine limose debolmente argillose di colore grigio (Sfg2); Sabbie medio-grosse con ghiaia; ciottoli bene arrotondati con diametro fino a 4-5 cm; con sporadici livelli e lenti di sabbie limose e di limi sabbiosi argillosi (GS).



DETRITI DI FALDA E DI FRANA

Terreni molto eterogenei costituiti da sabbie medio-fine, sabbie con ghiaia, limi sabbioso-argillosi e frammenti e blocchi di tufo vulcanico frammisti ed intercalati ai sedimenti alluvionali recenti (dtf).



SEDIMENTI DI AMBIENTE MARINO (PLIOCENE SUP.)

Argille limose e limi argillosi grigio-azzurri, con alternanze di livelli di sabbia fina di vario spessore (Apl); a luoghi la facies sabbiosa diventa prevalente.

Unità	W (%)	γ (kN/m ³)	Wl (%)	Ip (%)	ϕ (°)	c' (kN/m ²)	c _u (kN/m ²)	E _{edo} (MPa)	E (MPa)	k (m/sec)
R	35	17	-	-	34	5	75	-	50	1E-5 – 1E-6
Tb 1a	27	19.3	np-25	nd -15	31	20	110	17.5	100	1E-5 – 1E-7
Ag	1a	33	19	65	35	20	80	7.7	75	1E-6 – 1E-8
	1b	36	18	61	32			5.2	50	
	2a	30	19	53	23			8.4	100	
DTF *	30	19	30	15-20	26	5	-	-	100	1E-5 – 1E-6
SG	28	20	n.d.	n.p.	35	5	-	-	320	1E-4 – 1E-5
APL	21.5	20.4	46	21.5	26	50	400	21.4	230	1E-7 – 1E-9



Lo scavo delle gallerie di linea con la TBM

90 m di lunghezza

6,70 m di diametro lo scudo fresante

EPB – Earth pressure balance

30 cm rivestimento definitivo in conci prefabbricati (6+chiave)

8/10 m velocità giornaliera, con punte superiori ai **30** m di velocità di avanzamento

Tra i **25** ed i **30** m di profondità lo scavo delle gallerie, al di sotto dello strato archeologico

4 squadre di **13** tecnici ed operai per ogni TBM

11 gli addetti che lavorano sul piazzale esterno



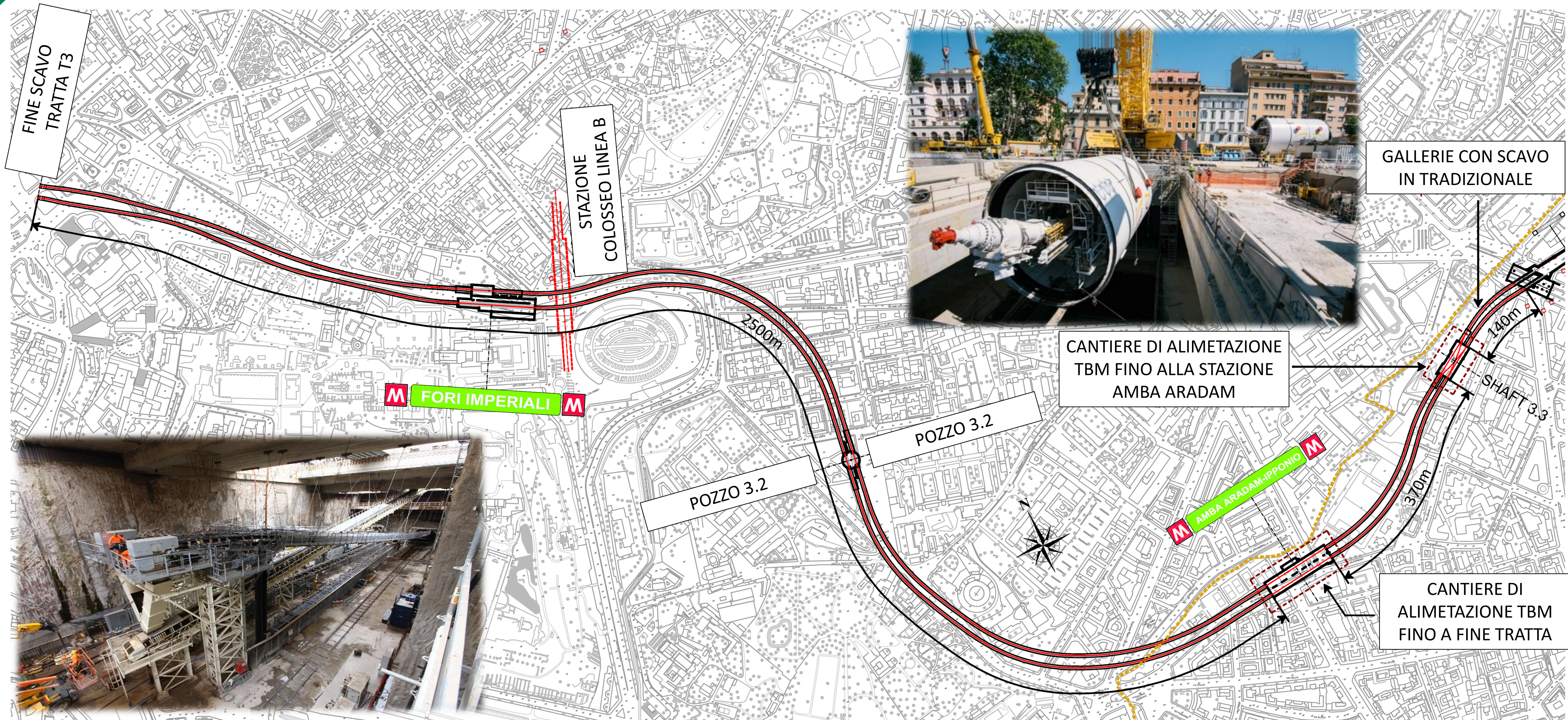
NASTRO TRASPORTATORE E GRU PER CONCI PREFABBRICATI



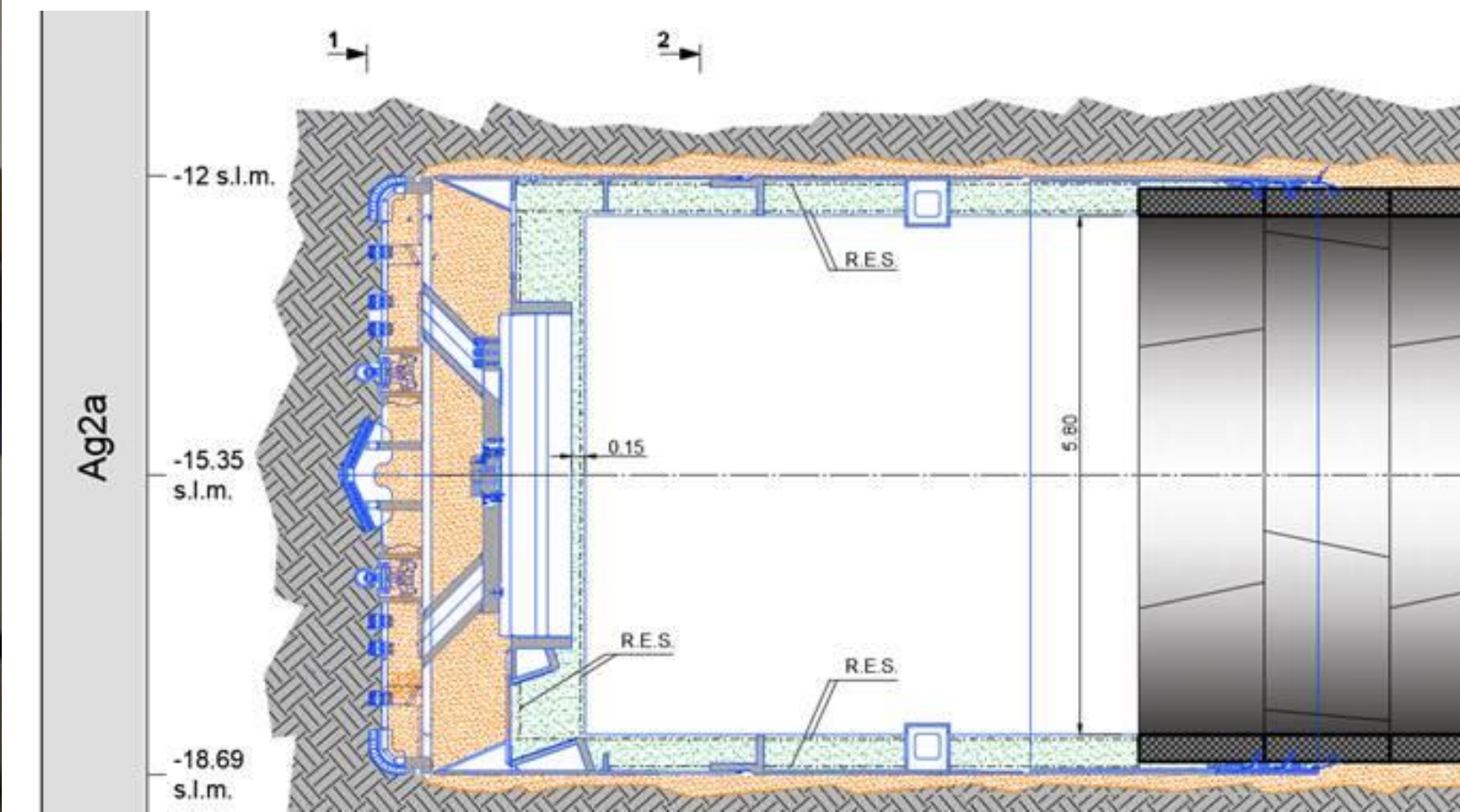
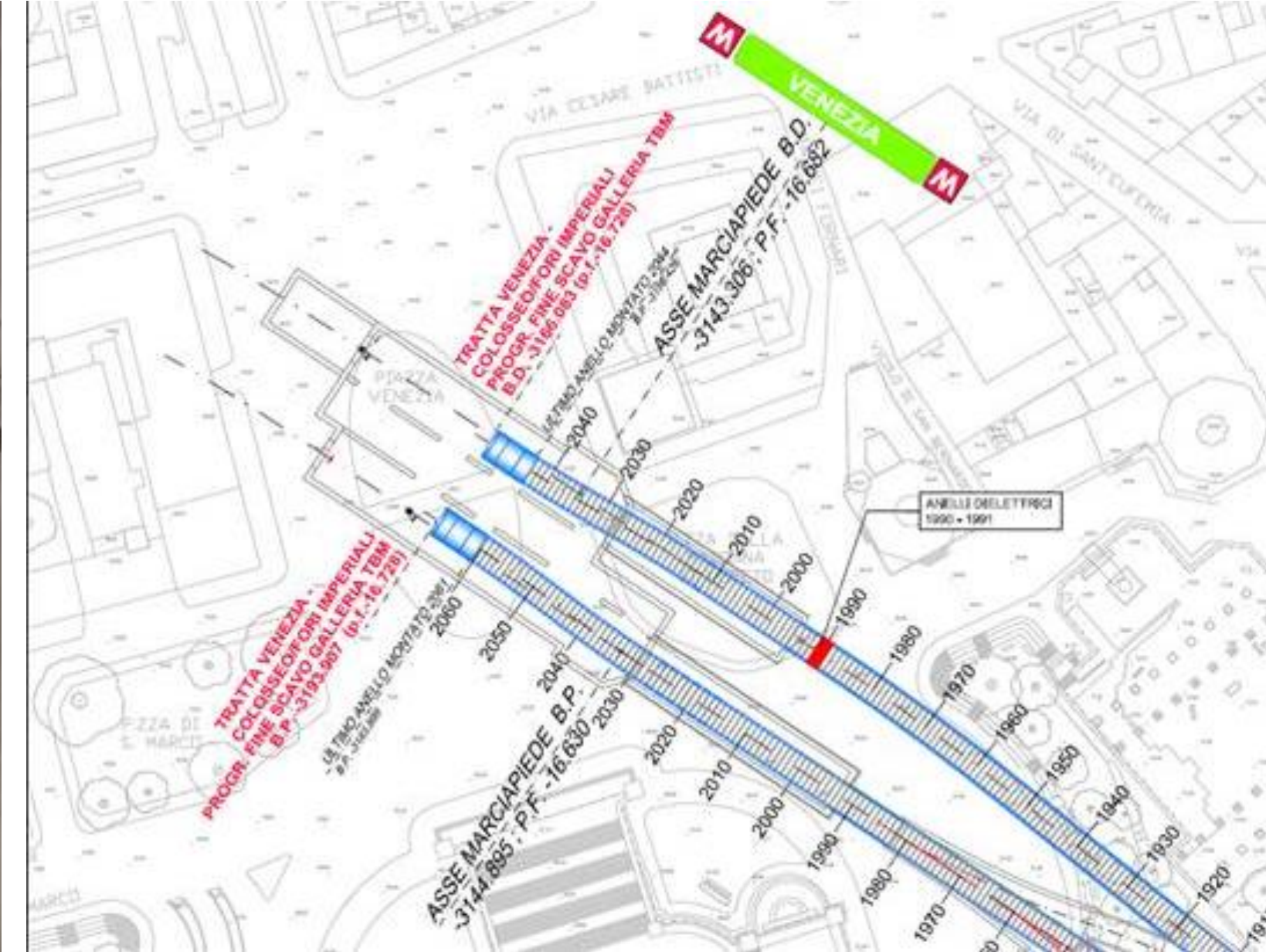
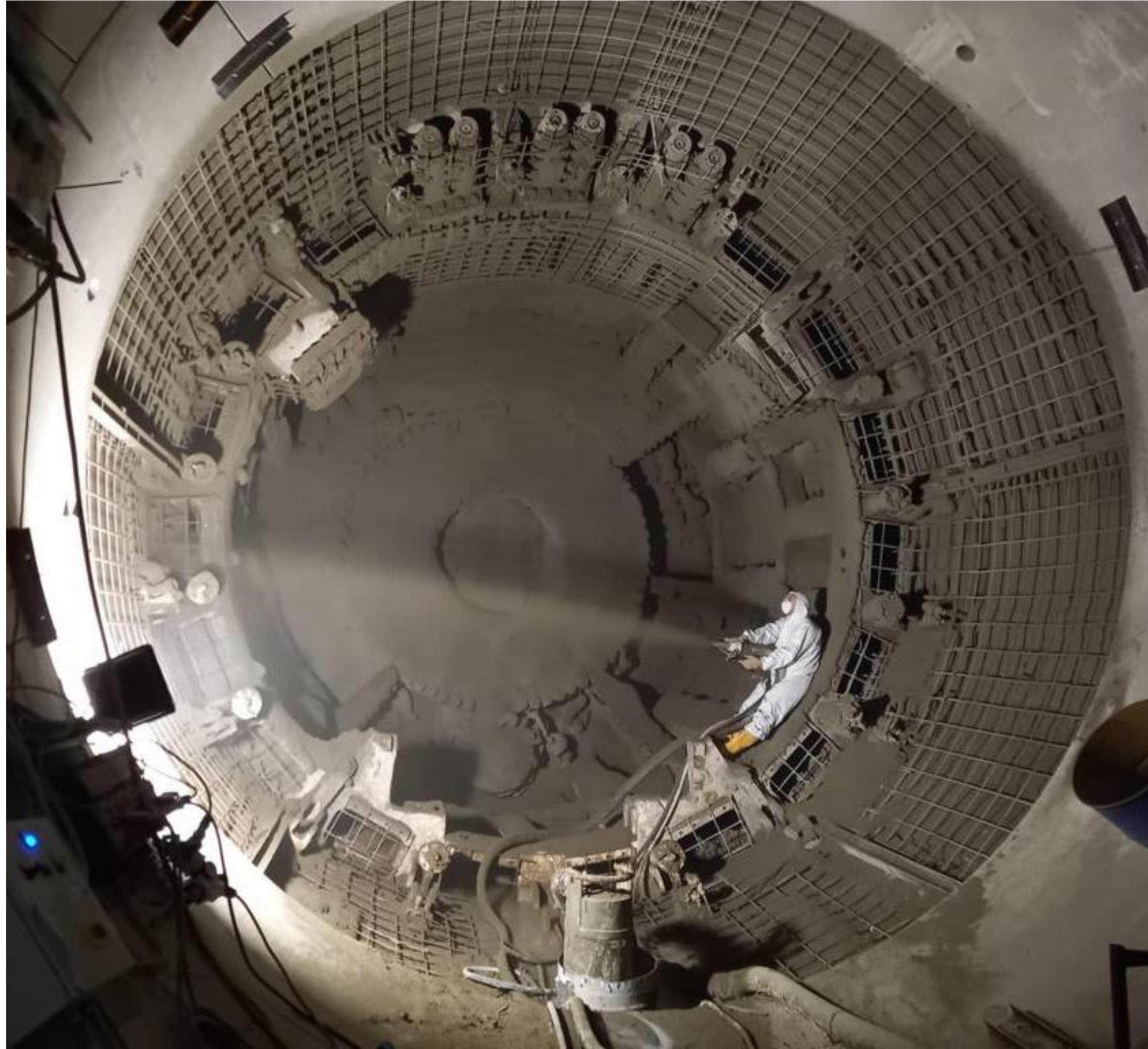
RIVESTIMENTO IN CONCI PREFABBRICATI



Lo scavo delle gallerie di linea con la TBM



Lo scavo delle gallerie di linea con la TBM



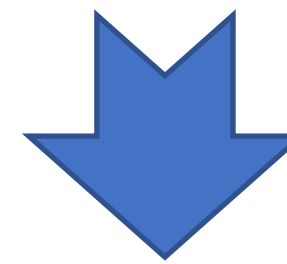
Ing. E. Romani - La stazione Venezia della Metropolitana di Roma Linea C, i principali aspetti progettuali e costruttivi



I principali aspetti geologici, geotecnici e strutturali

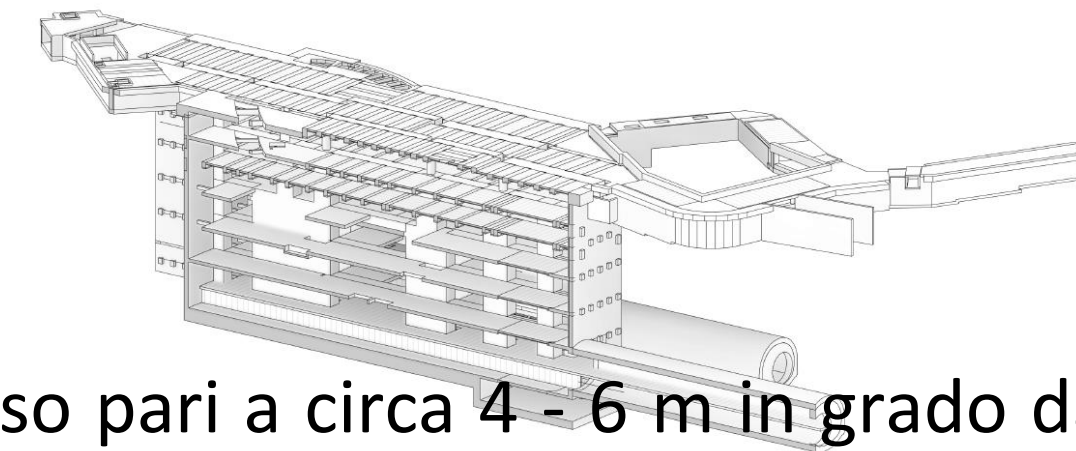
OBIETTIVI DA PERSEGUIRE NELLA PROGETTAZIONE

- **Ridurre il potenziale bacino di subsidenza** indotto dalla realizzazione delle opere in sotterraneo al fine di garantire la salvaguardia delle pre-esistenze monumentali presenti al contorno degli scavi.
- **Garantire la realizzazione dello scavo** del manufatto della stazione **con modalità archeologiche** fino ad una profondità di circa 15 m da p.c.
- **Garantire l'impermeabilità di tutti gli scavi** sia nella fase provvisoria sia nella fase definitiva al fine di eliminare il rischio di indurre moti di filtrazione con conseguente risentimento sul livello di falda che potrebbero compromettere la salvaguardia delle pre-esistenze monumentali.
- Predisporre la stazione come potenziale **nodo di scambio con la futura Linea D**.
- Predisporre la stazione per **accogliere l'arrivo delle due TBM della futura Tratta T2** garantendo l'esercizio passeggeri in tutte le fasi.



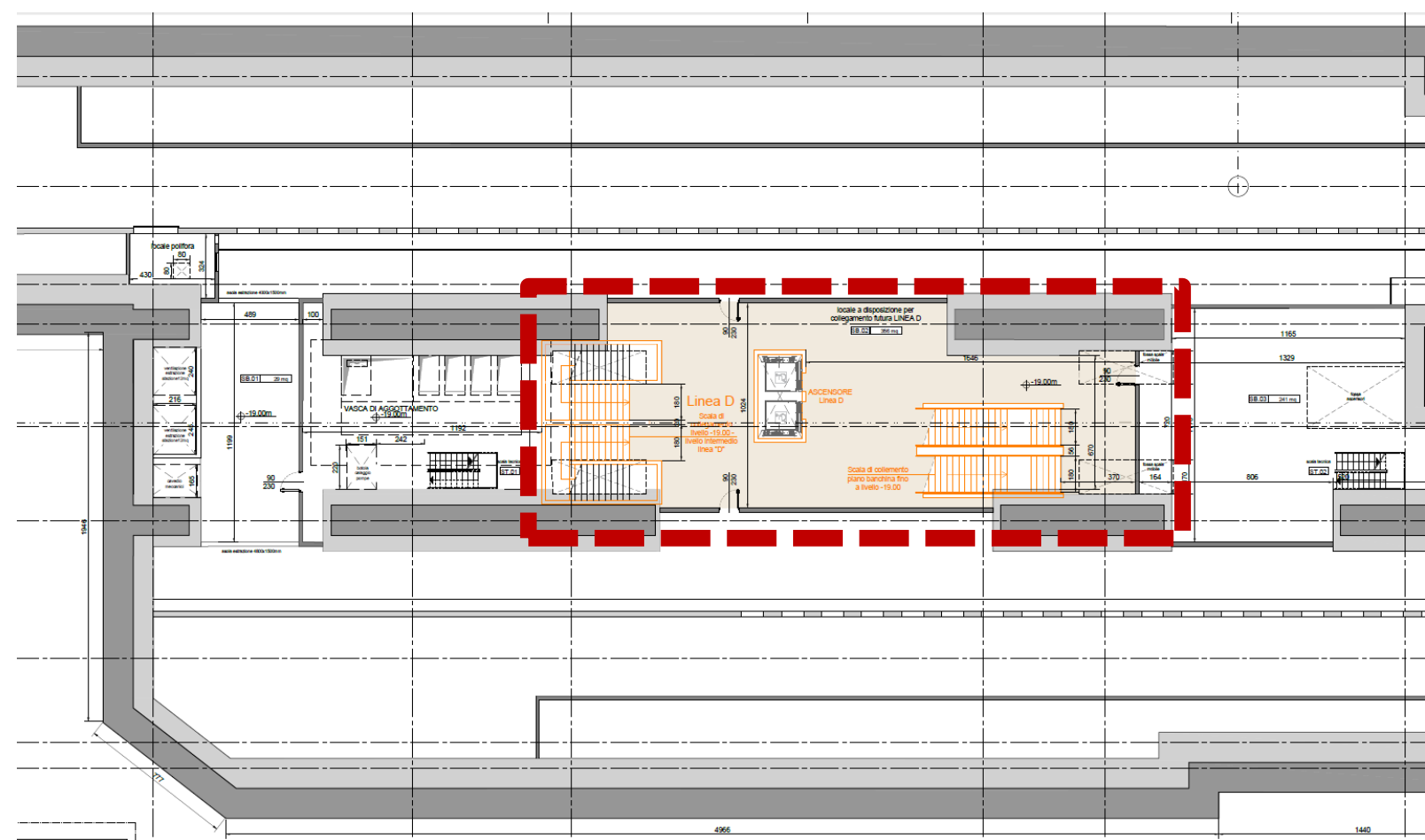
SOLUZIONI PROGETTUALI IMPLEMENTATE

- Realizzare diaframmi non armati denominati **«cross-wall»** con sviluppo trasversale e passo pari a circa 4 - 6 m in grado di costituire **un contrasto attivo ai diaframmi perimetrali nel corso della fase di scavo**.
- Utilizzo della **Metodologia di scavo di tipo «Top Down archeologico»** messo a punto nel corso dello scavo della stazione San Giovanni e largamente utilizzato, con ottimi risultati, nell'ambito della Tratta T3.
- Utilizzo di **diaframmi aventi uno spessore 150 cm e lunghezza di scavo pari a circa 85 m che si intestano all'interno delle Argille Plioceniche**, uno strato con ottime caratteristiche di impermeabilità.
- Predisporre tutti gli **allineamenti longitudinali** della stazione compresi i diaframmi centrali **con armatura costituita da barre in vetroresina** al di sotto del solaio di fondazione, al fine di permettere il passaggio della TBM della futura Linea D.
- Predisporre i **diaframmi di testata** della stazione **lato Tratta T2 con l'armatura in barre di vetroresina** per garantire l'ingresso delle TBM

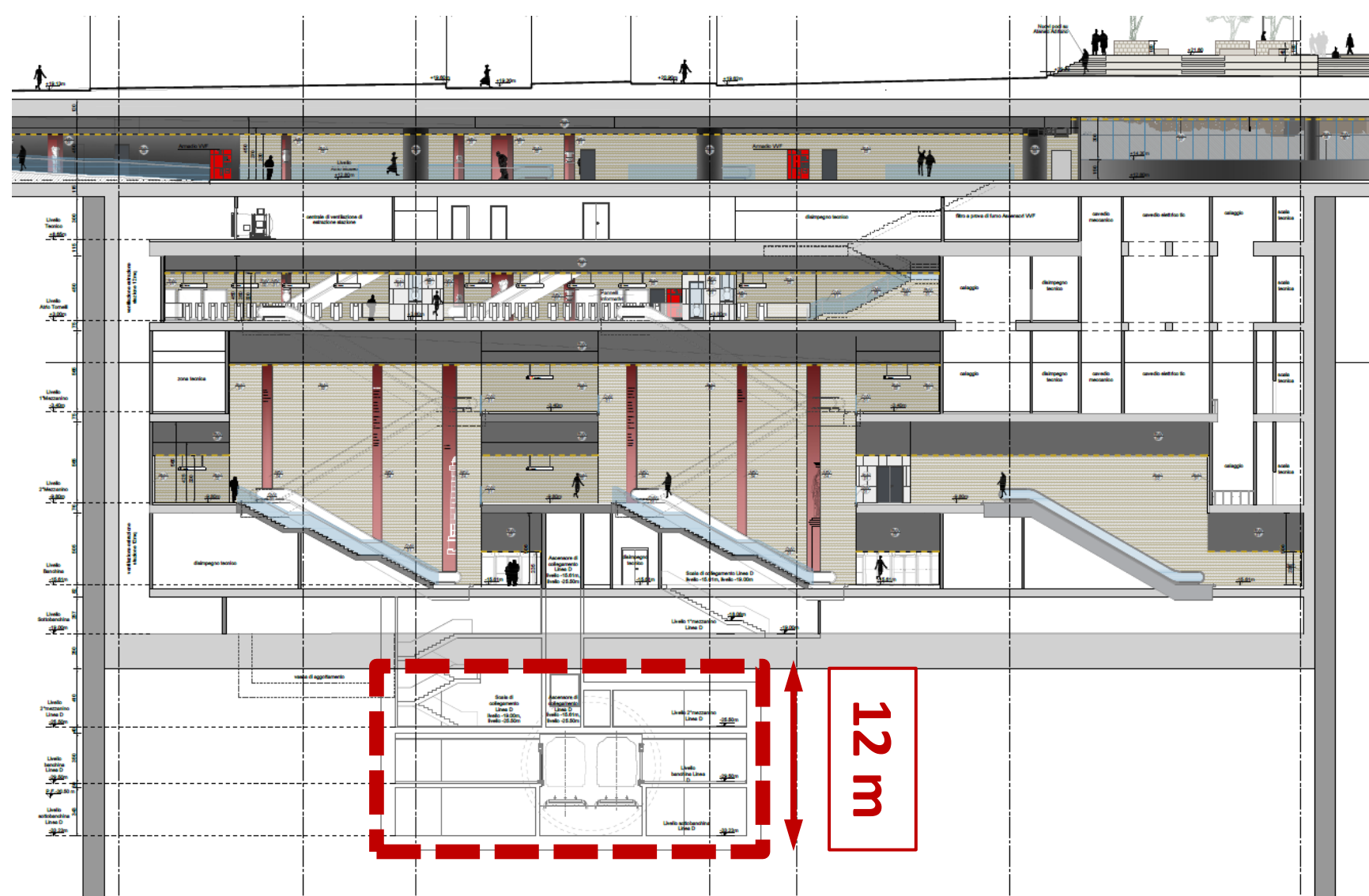


La predisposizione della stazione come futuro nodo di scambio con la Linea D

PIANO BANCHINA LINEA C



SEZIONE LONGITUDINALE



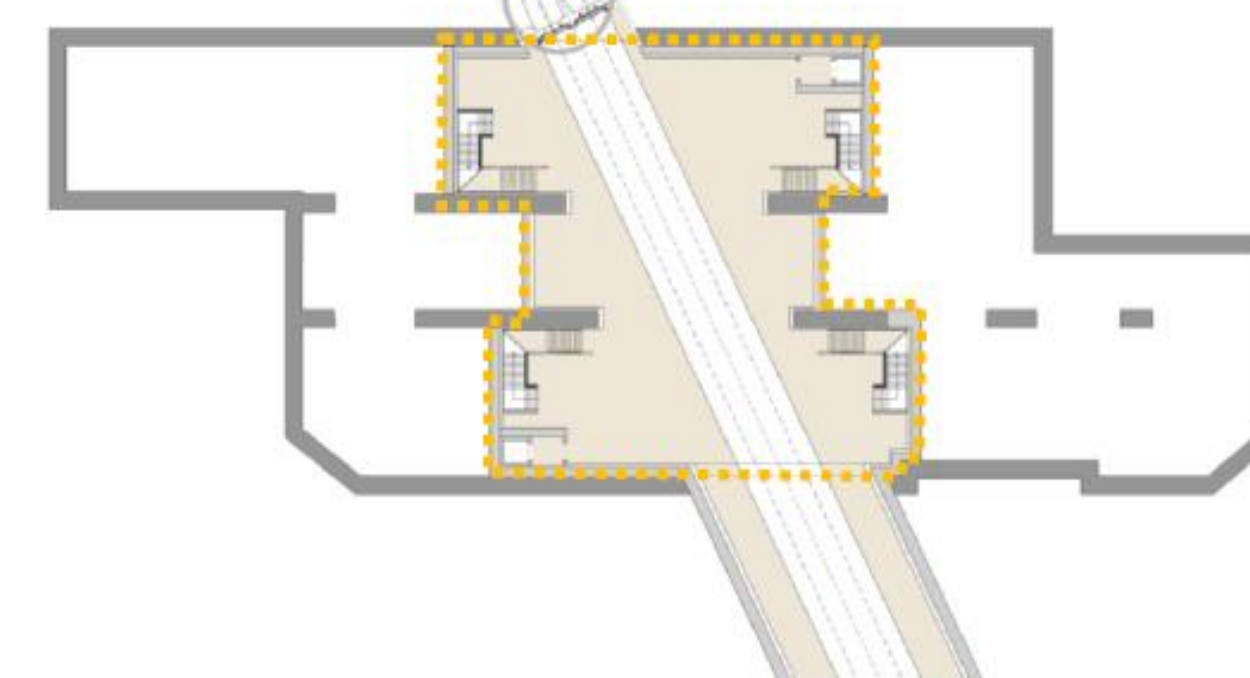
54 m

12 m

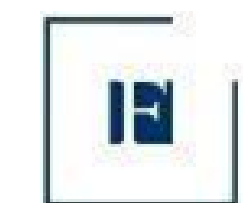
PIANO INTERMEDIO LINEA D



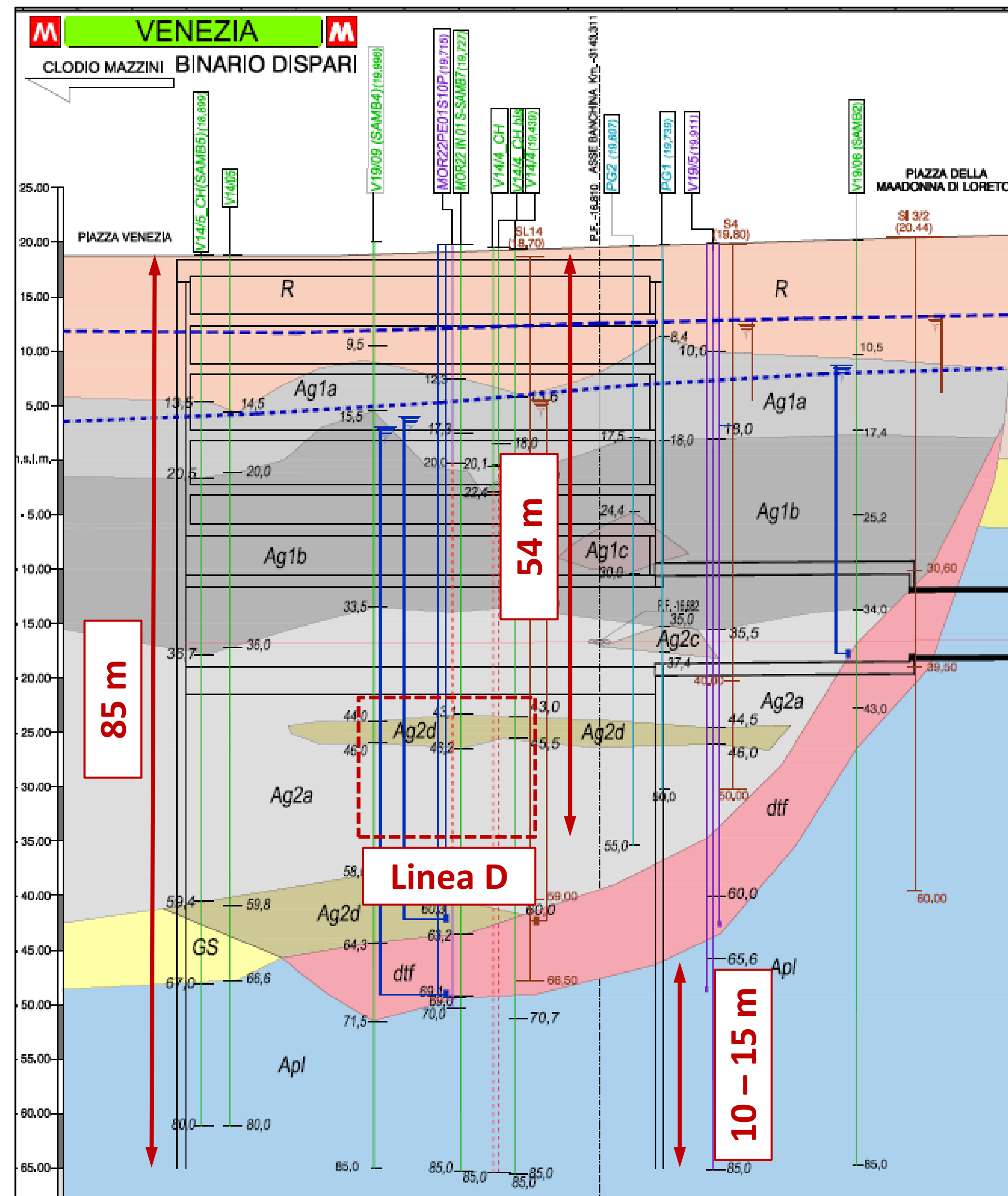
PIANO BANCHINA LINEA D

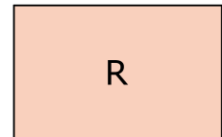


 Predisposizioni collegamento futura linea D

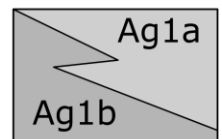


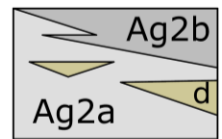
L'impermeabilità degli scavi

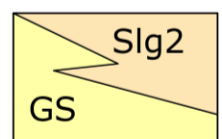


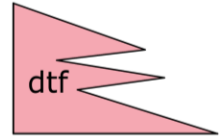
- 

TERRENI DI RIPORTO, ANTICHI E RECENTI

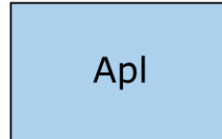
Terreni costituiti da elementi eterometrici ed eterogenei in matrice sabbioso-limosa prevalentemente di natura piroclastica (R); a luoghi inglobano resti di edifici, strutture di fondazione, muri, ecc. di epoche diverse. Alla base frammisti o passanti gradualmente ai terreni naturali sottostanti.
- 

Argille limose e limi argillosi grigi, debolmente sabbiosi, con lenti e sottili livelli discontinui di sabbia fina, a luoghi con resti di sostanza organica (Ag1a); con frequenti livelli di sostanza organica vegetale più o meno carbonizzata (Ag1b). Nella parte sommitale di Ag1a si rinvencono di frequente frammenti di materiali antropici.
- 

Argille limose e limi argillosi grigi, debolmente sabbiosi, con sporadiche lenti e sottili livelli discontinui di sabbia fina (Ag2a); con frequenti livelli di sostanza organica vegetale più o meno carbonizzata (AG2b). Lenti di sabbie fini limose grigie (Ag2d).
- 

Sabbie medio-fini limose debolmente argillose di colore grigio (SLg2); Sabbie medio-grosse con ghiaia; ciottoli bene arrotondati con diametro fino a 4-5 cm; con sporadici livelli e lenti di sabbie limose e di limi sabbiosi argillosi (GS).
- 

DETRITI DI FALDA E DI FRANA

Terreni molto eterogenei costituiti da sabbie medio-fini, sabbie con ghiaia, limi sabbioso-argillosi e frammenti e blocchi di tufo vulcanico frammisti ed intercalati ai sedimenti alluvionali recenti (dtf).
- 

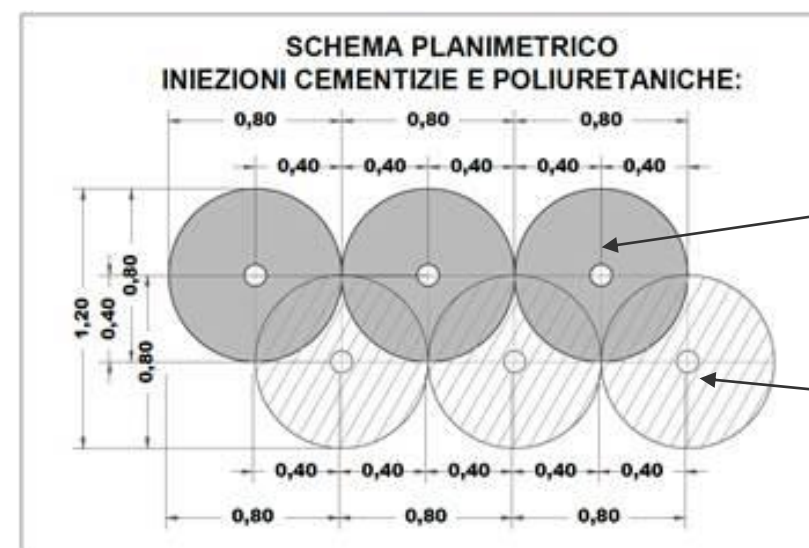
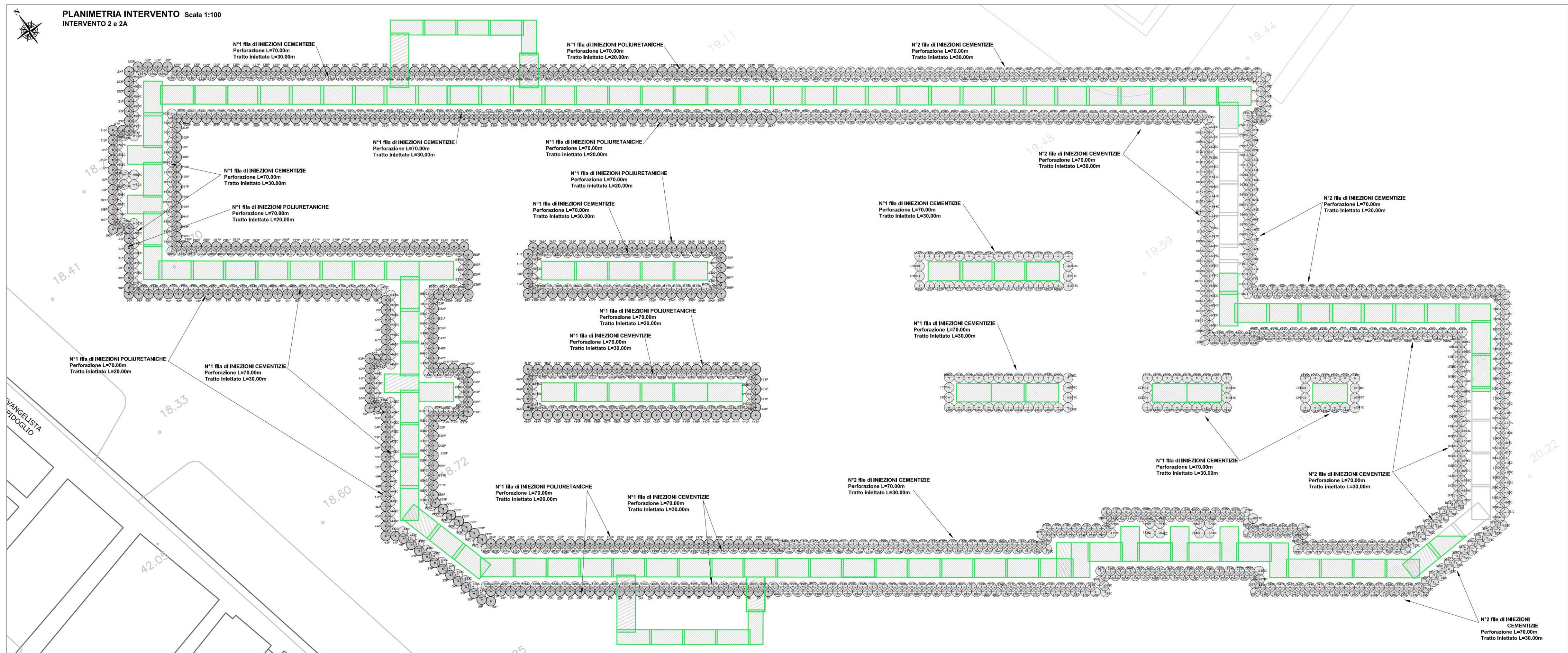
SEDIMENTI DI AMBIENTE MARINO (PLIOCENE SUP.)

Argille limose e limi argillosi grigio-azzurri, con alternanze di livelli di sabbia fina di vario spessore (Apl); a luoghi la facies sabbiosa diventa prevalente.

La lunghezza dei diaframmi perimetrali è stata progettata sia per garantire una adeguata infissione all'interno dello strato poco permeabile delle Argille Plioceniche che costituisce un tappo di fondo naturale sia la realizzabilità del nodo di scambio con la futura Linea D che prevede uno scavo di ribasso al di sotto del solaio di fondazione di ulteriori 12 m raggiungendo i 54 m da p.c. mentre lo spessore è stato progettato al fine di garantire la compenetrazione dei pannelli e quindi la tenuta idraulica dei giunti con una perdita di verticalità di 0,7%.



I consolidamenti preventivi



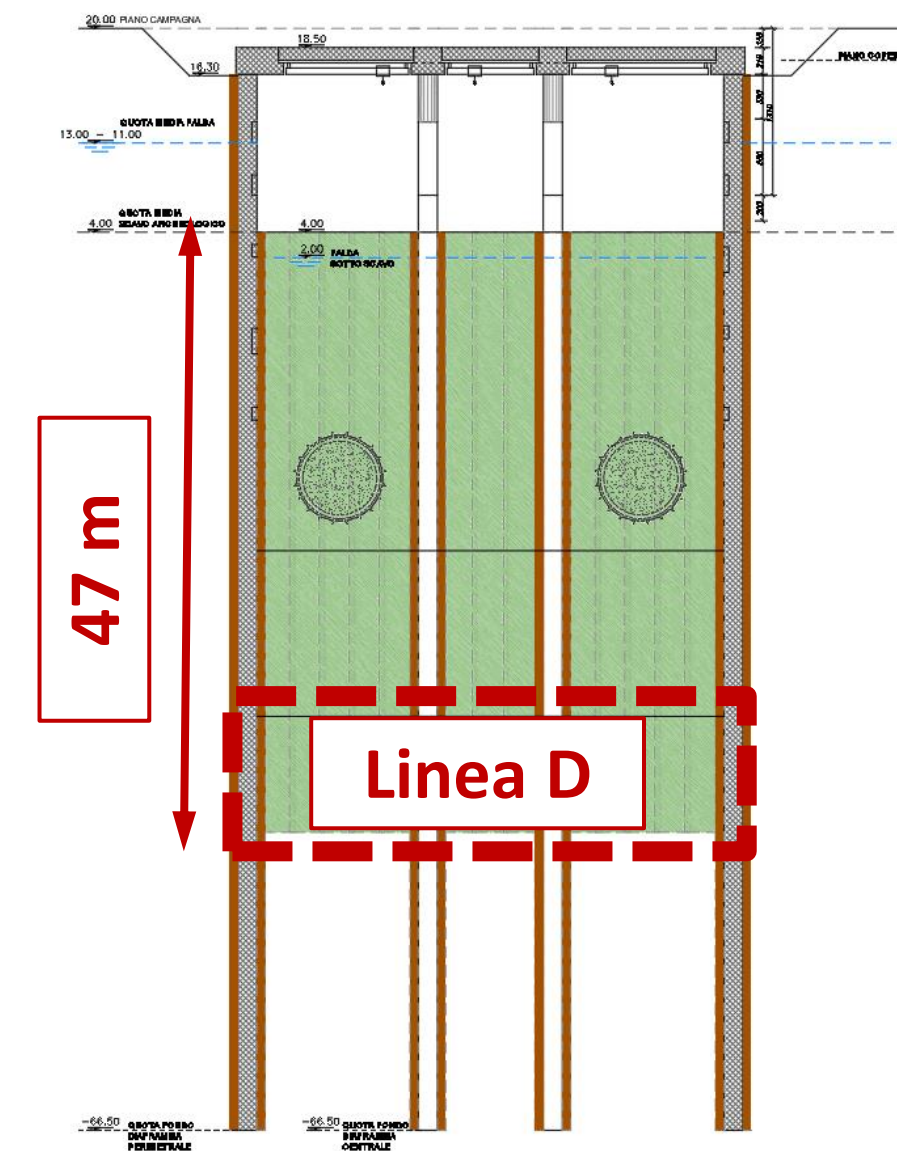
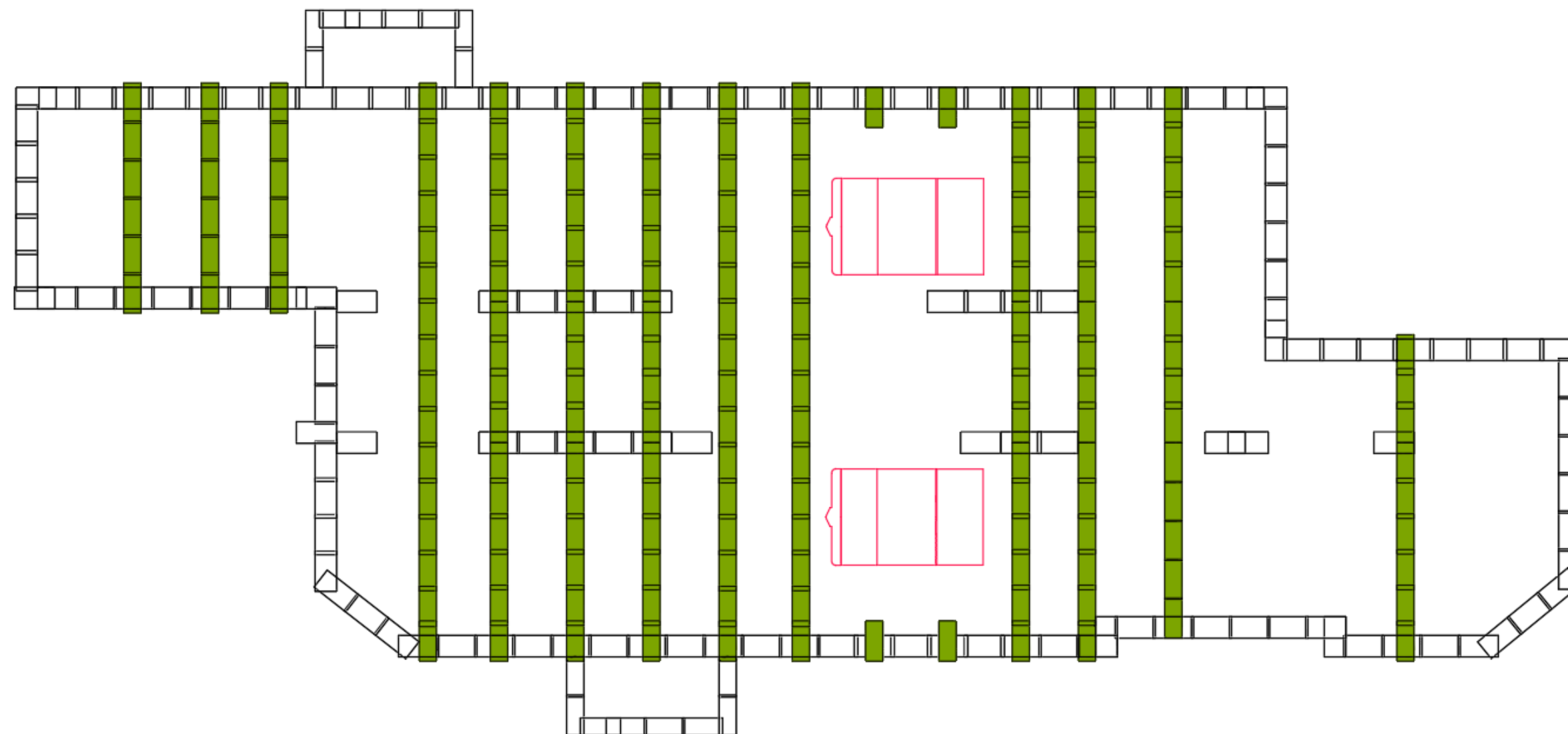
Iniezioni cementizie pari a 75 lt/vlv per 3 vlv/m a partire da una profondità di 40 m da p.c.

Iniezioni poliuretatiche pari a 30 lt/m localizzate esclusivamente all'interno degli strati con elevate permeabilità



La riduzione del bacino di subsidenza

- Sulla base delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni presenti in situ e soprattutto vista la presenza di un patrimonio storico e monumentale unico al mondo si è scelto l'utilizzo dei **diaframmi sacrificali «Cross wall»** al fine di ridurre il potenziale bacino di subsidenza indotto dallo scavo della stazione.
- Tali diaframmi non armati hanno uno **sviluppo trasversale alla stazione e un passo pari a circa 4 - 6 m** e sono in grado da costituire un contrasto attivo ai diaframmi perimetrali nel corso della fase di scavo **riducendone la deformata al di sotto del fondo scavo di ogni singola fase**.
- Nel caso della stazione Venezia i diaframmi «cross wall» non possono essere realizzati da p.c. vista la presenza dello strato archeologico che verrebbe pesantemente danneggiato; pertanto il progetto ne prevede la **realizzazione sotto copertura** una volta completati gli scavi archeologici e delocalizzate le strutture antiche.
- La geometria dei «cross wall» è stata anche condizionata dalla presenza delle due TBM che hanno realizzato le gallerie di linea che potranno essere estratte solo una volta giunti a fondo scavo.

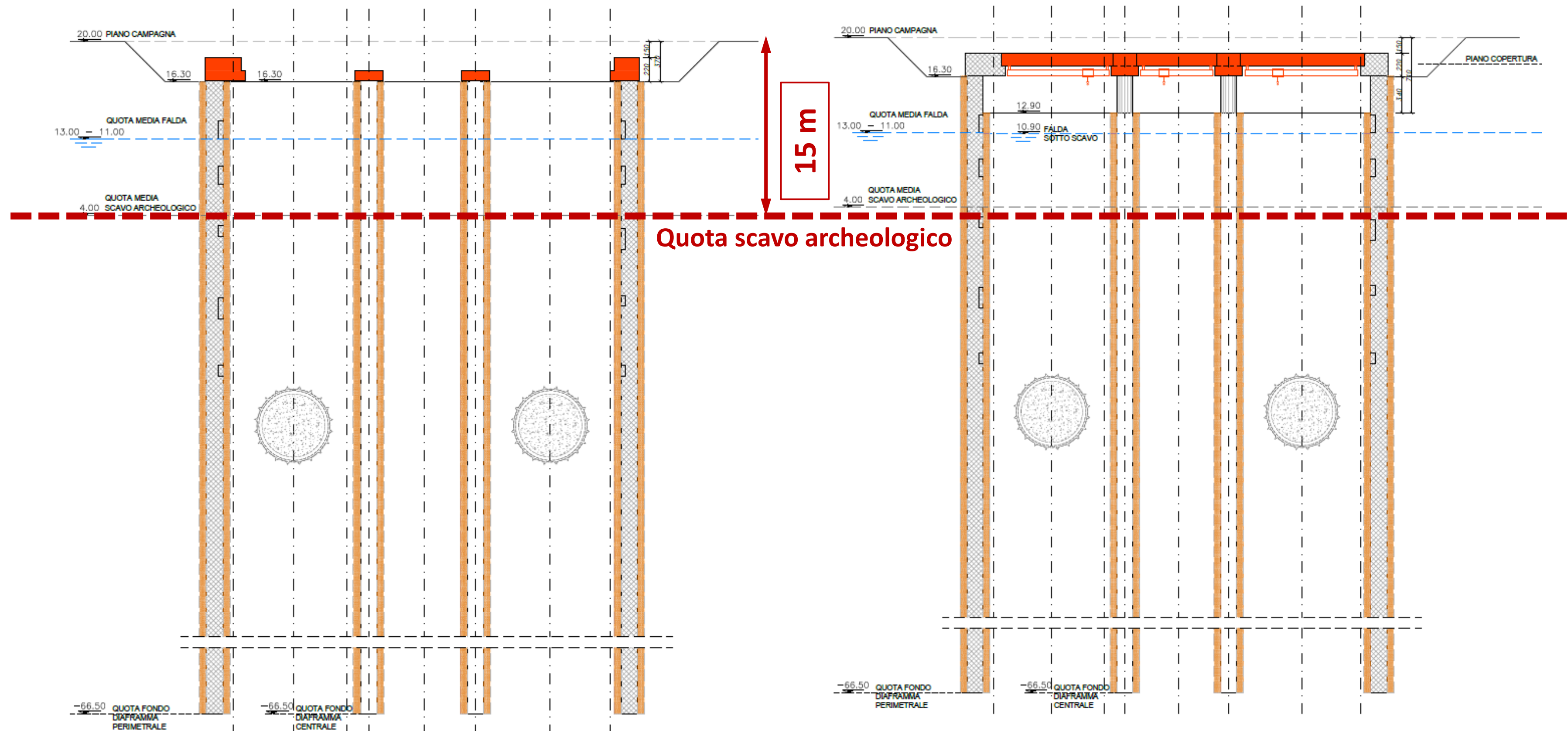


Le fasi di scavo in «Top Down archeologico»

Le fasi realizzative della stazione sono state studiate al fine di garantire la salvaguardia delle pre-esistenze archeologiche che, sulla base delle indagini eseguite, raggiungono circa 15 m da p.c. e si è stabilito di utilizzare la metodologia del «**Top Down Archeologico**» messa a punto per la stazione di San Giovanni.

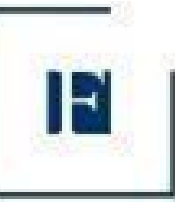
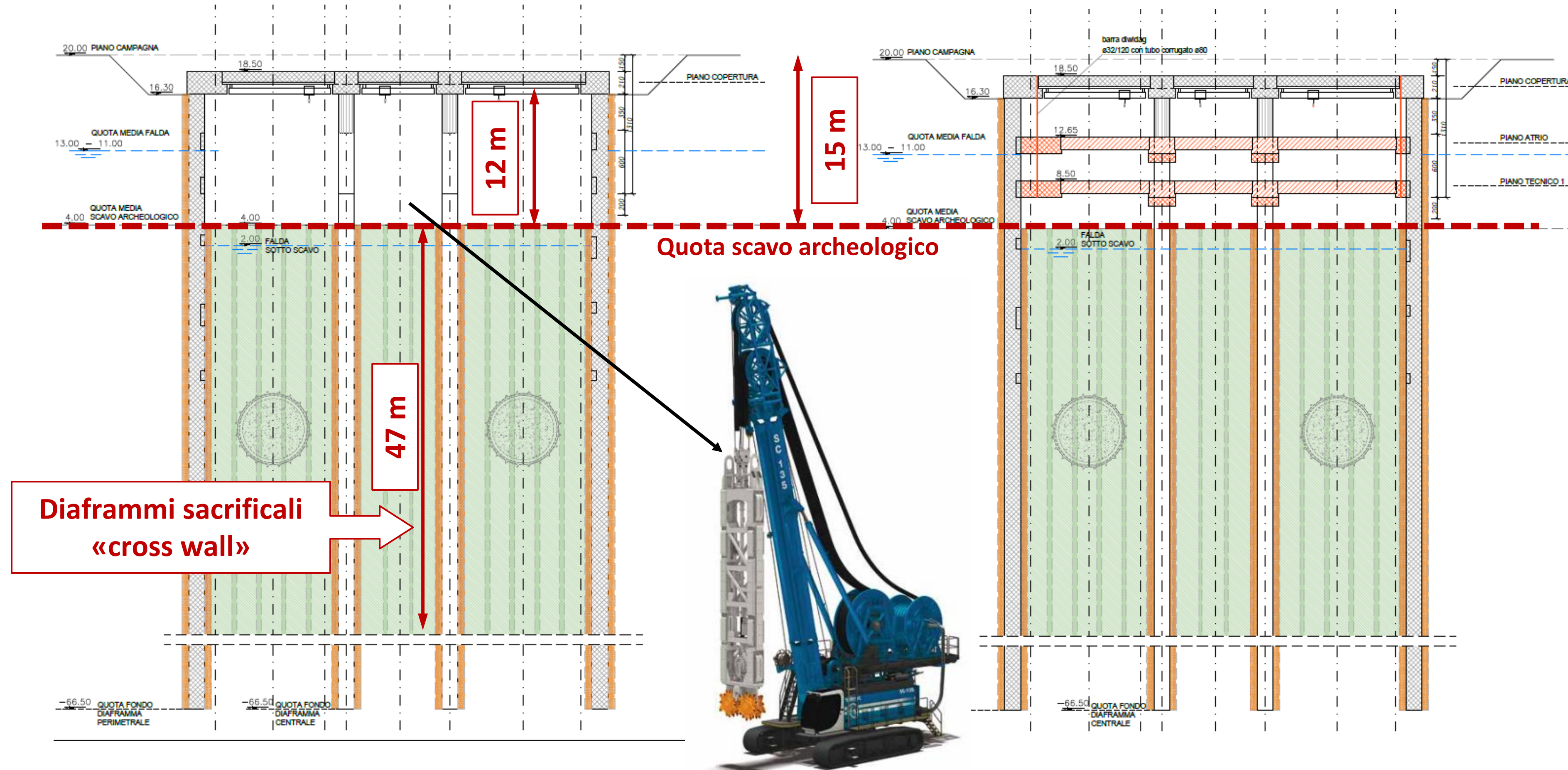
- *FASE 1: Realizzazione diaframmi perimetrali e centrali da piano campagna.*

- *FASE 2: Scavo con metodologia archeologica fino a quota 7 m da p.c. e realizzazione del solaio di copertura utilizzando strutture prefabbricate con predisposizioni asole tecniche.*



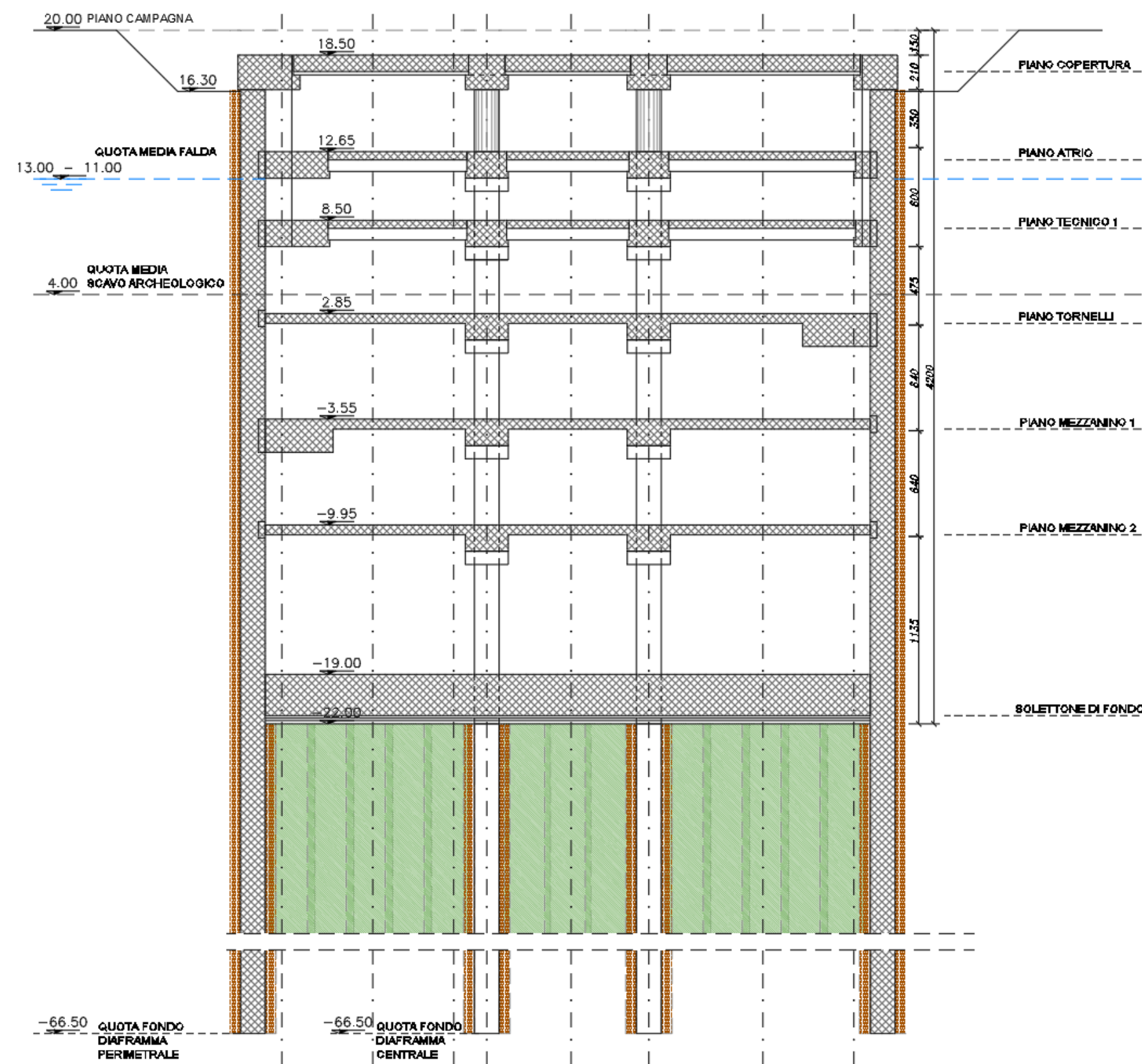
Le fasi di scavo in «Top Down archeologico»

- FASE 3: Completamento dello cavo con metodologia archeologica fino a circa 15 m da p.c. senza la realizzazione di contrasti interni, smontando e delocalizzando provvisoriamente le strutture antiche che verranno via via rinvenute nel corso dello scavo e successiva realizzazione sotto-copertura dei diaframmi sacrificali «cross wall».
- FASE 4: Realizzazione del solaio del livello atrio museale e del livello primo tecnico con l'utilizzo di strutture prefabbricate calate e movimentate sotto copertura.

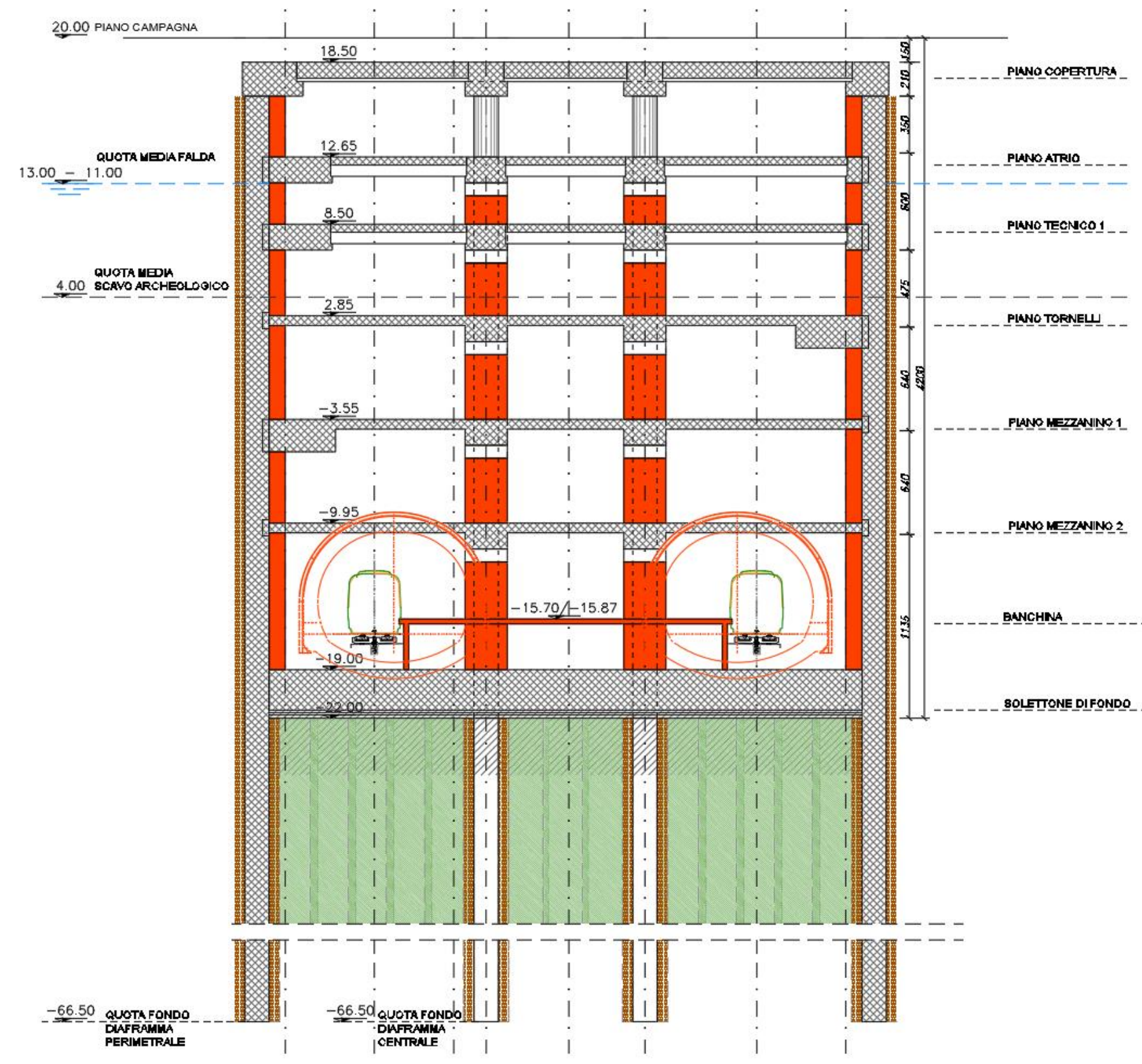


Le fasi di scavo in «Top Down archeologico»

- FASE 5: Scavo con metodologia Top down tradizionale fino a quota solaio di fondazione unitamente alla demolizione dei «cross walls» e conseguente smontaggio delle macchine TBM

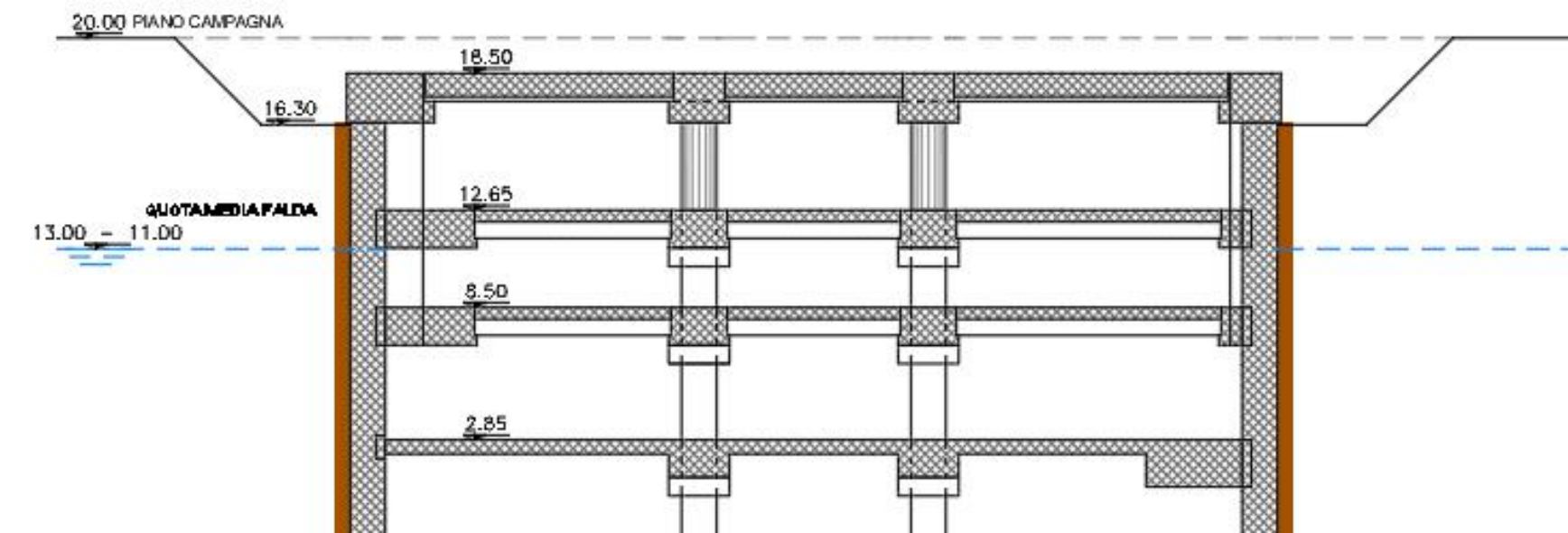
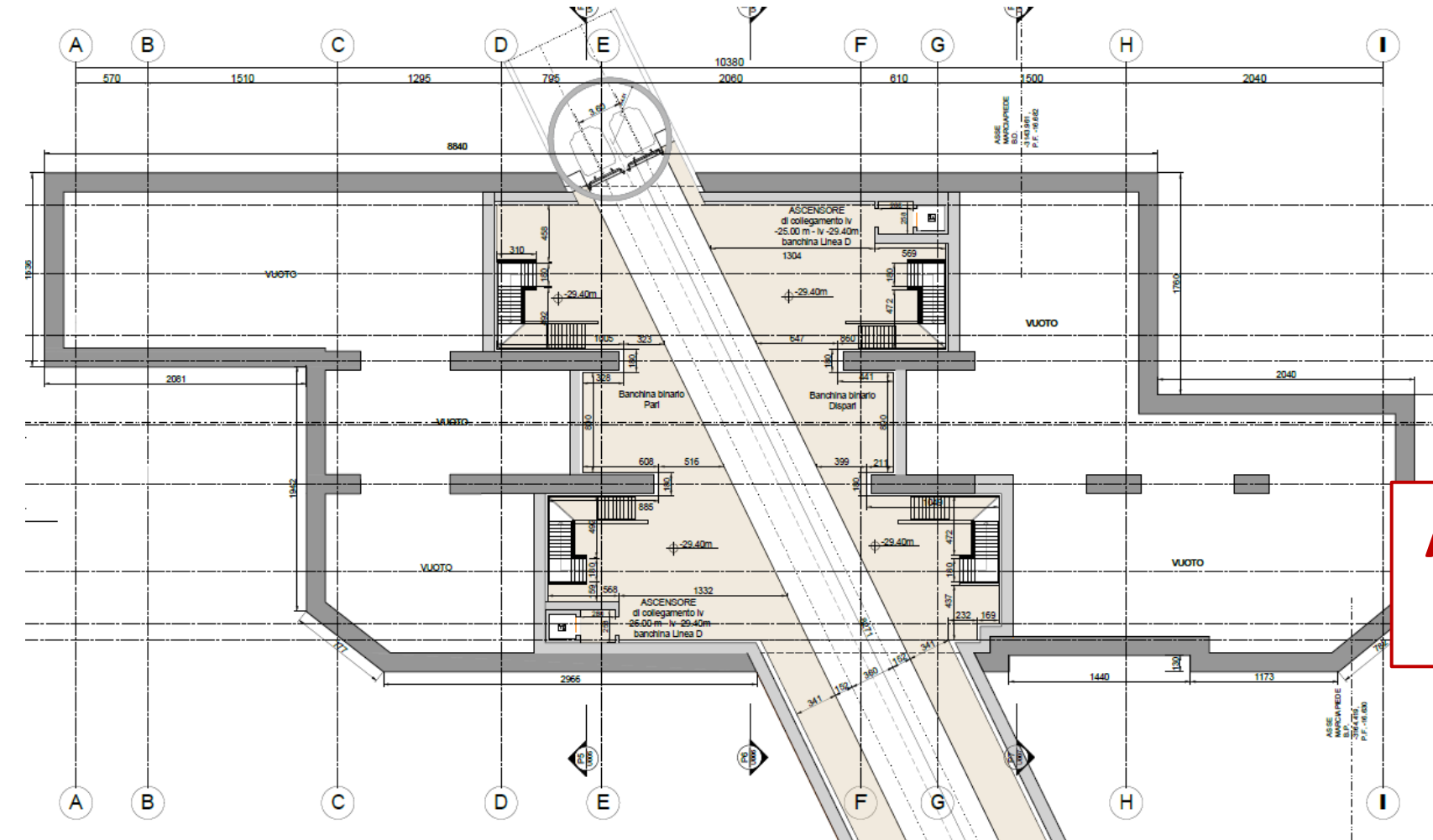
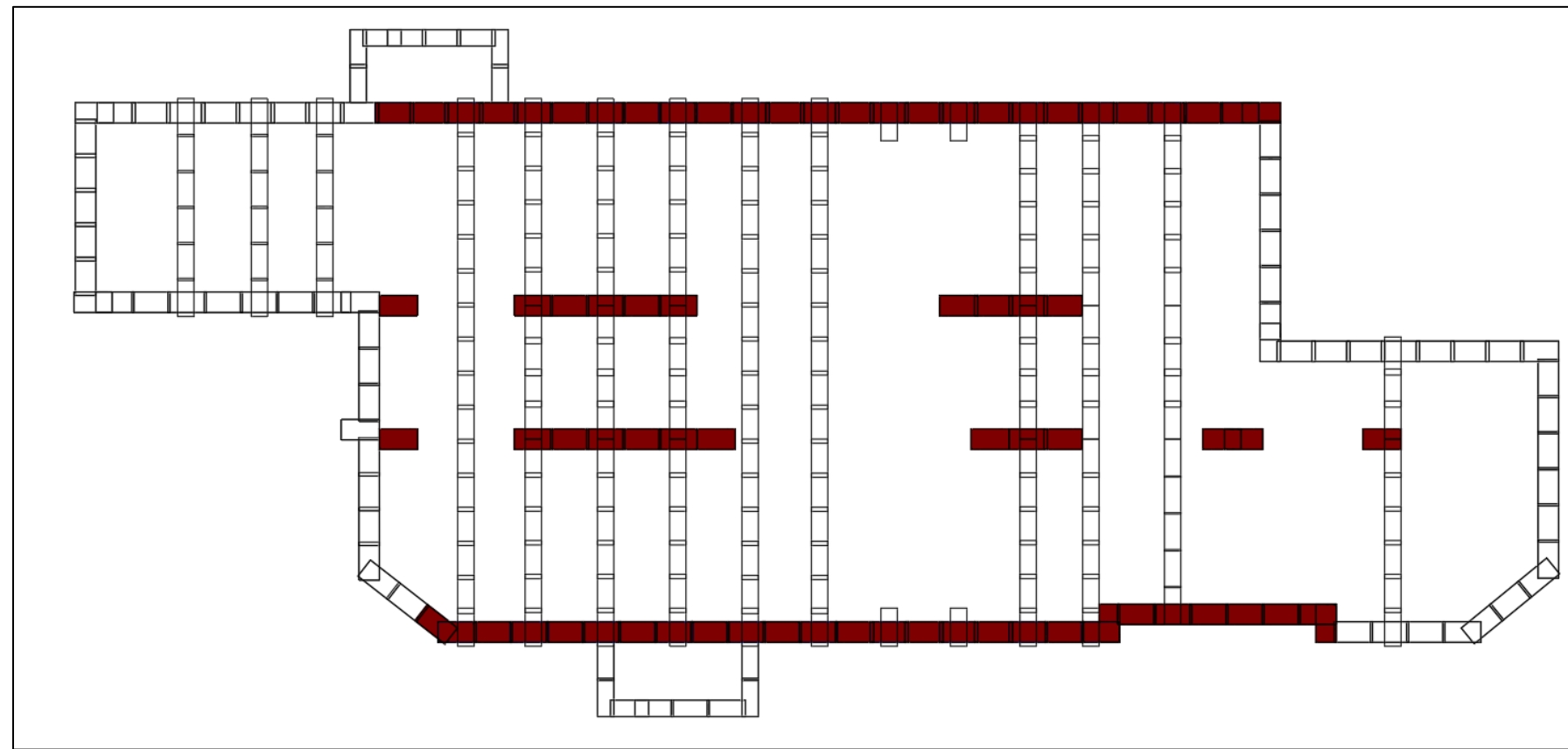


- FASE 6: Realizzazione gallerie di banchina e completamento stazione in risalita.

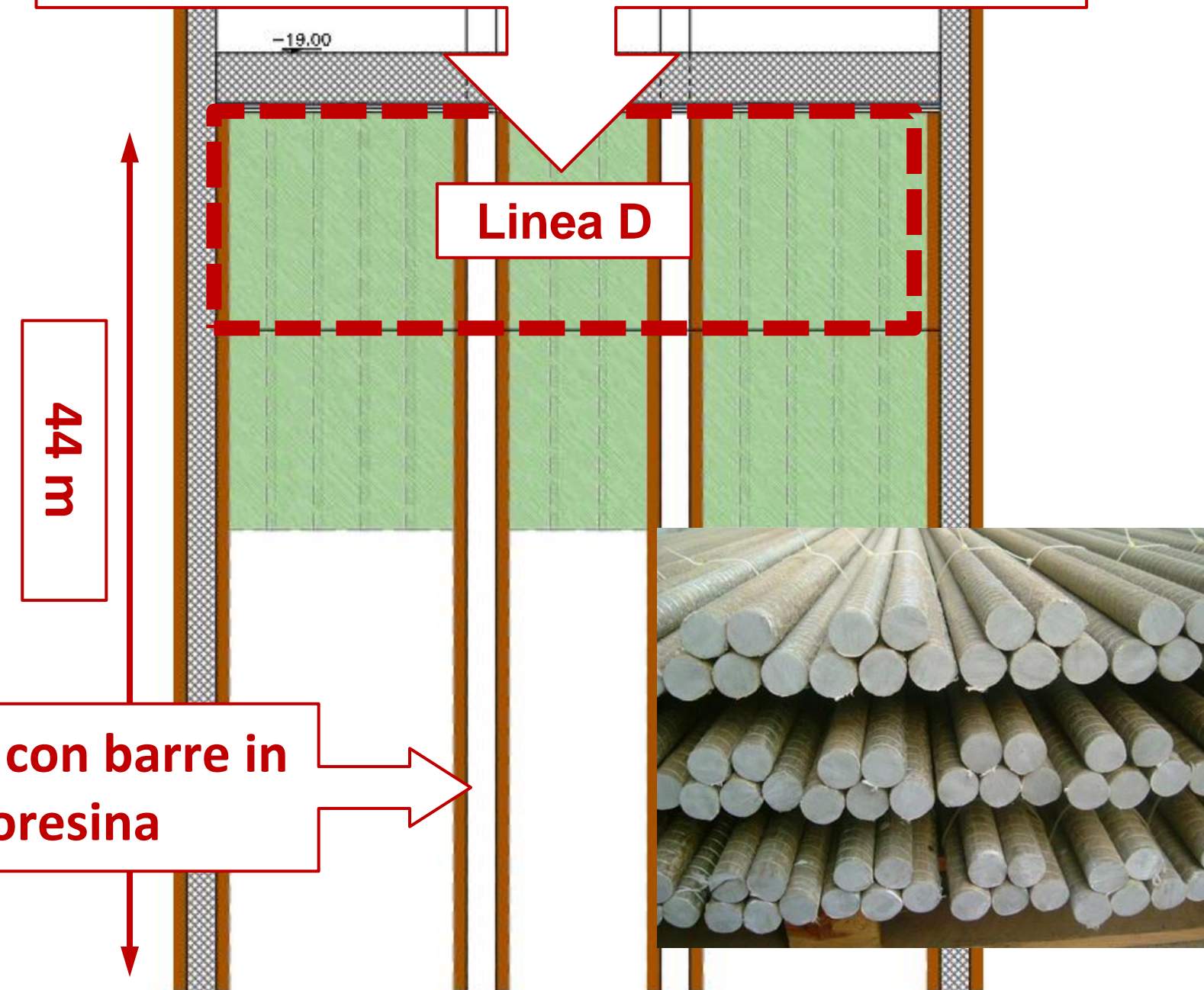


La predisposizione della stazione come futuro nodo di scambio con la Linea D

Gli **allineamenti longitudinali** compresi i diaframmi centrali **vengono armati con barre in vetroresina** al di sotto del solaio di fondazione, al fine di garantire il passaggio della TBM della futura Linea D, in qualsiasi configurazione di tracciato piano - altimetrico



Il solaio di fondazione è stato dimensionato per sostenere il traffico ferroviario anche in assenza del terreno sottostanti

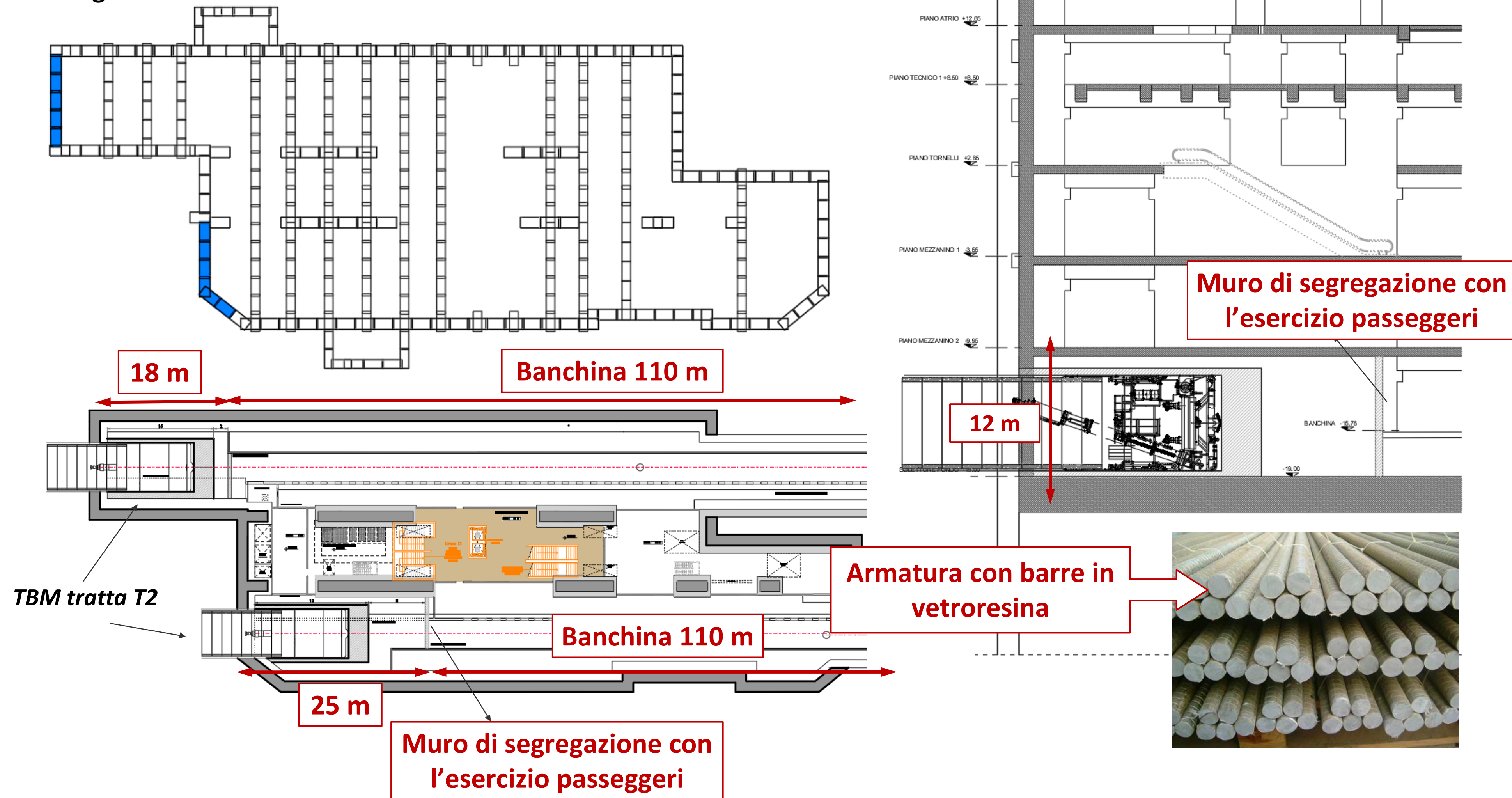


Armatura con barre in vetroresina

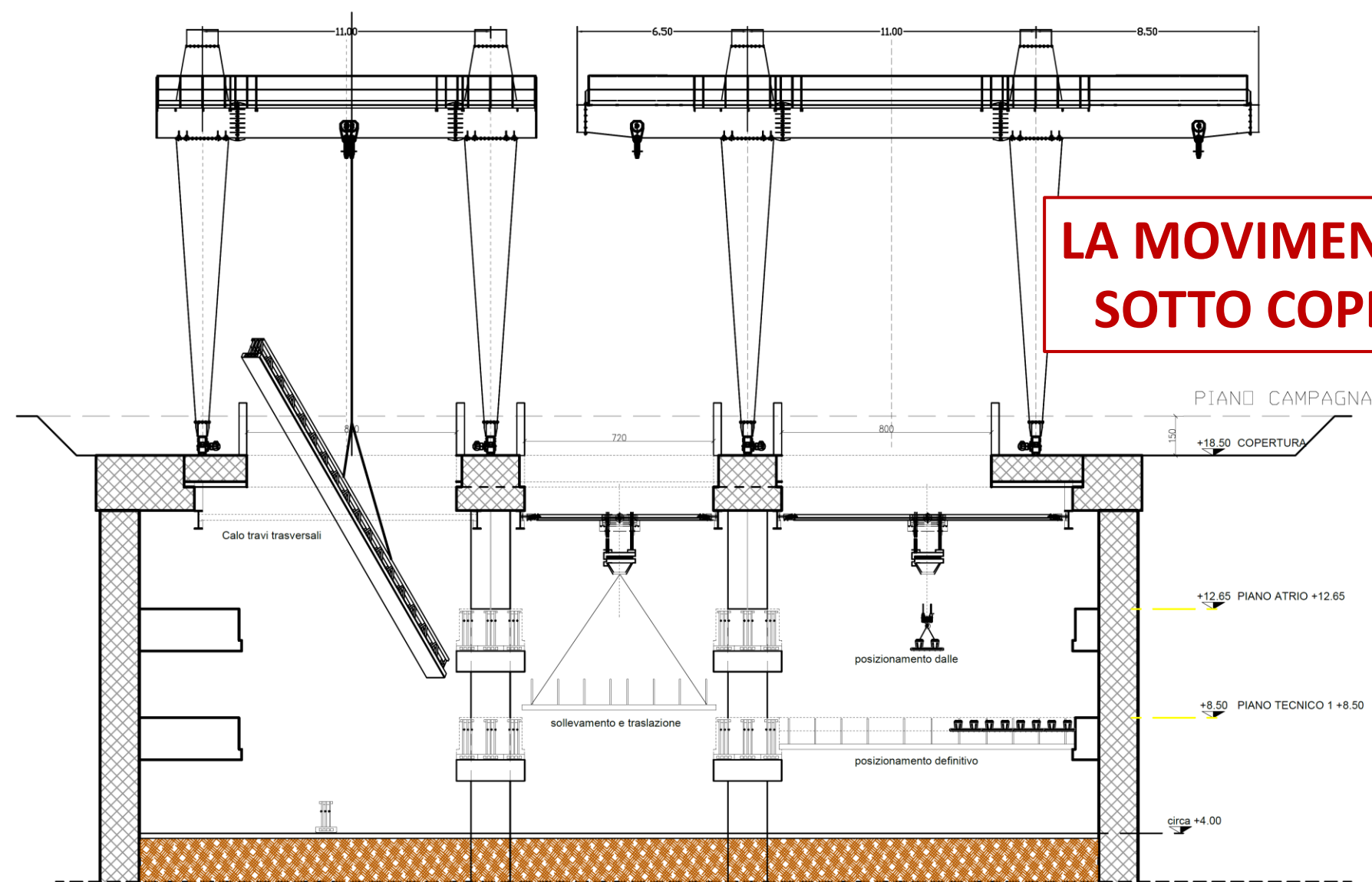


Le predisposizioni e l'interfaccia con la Tratta T2

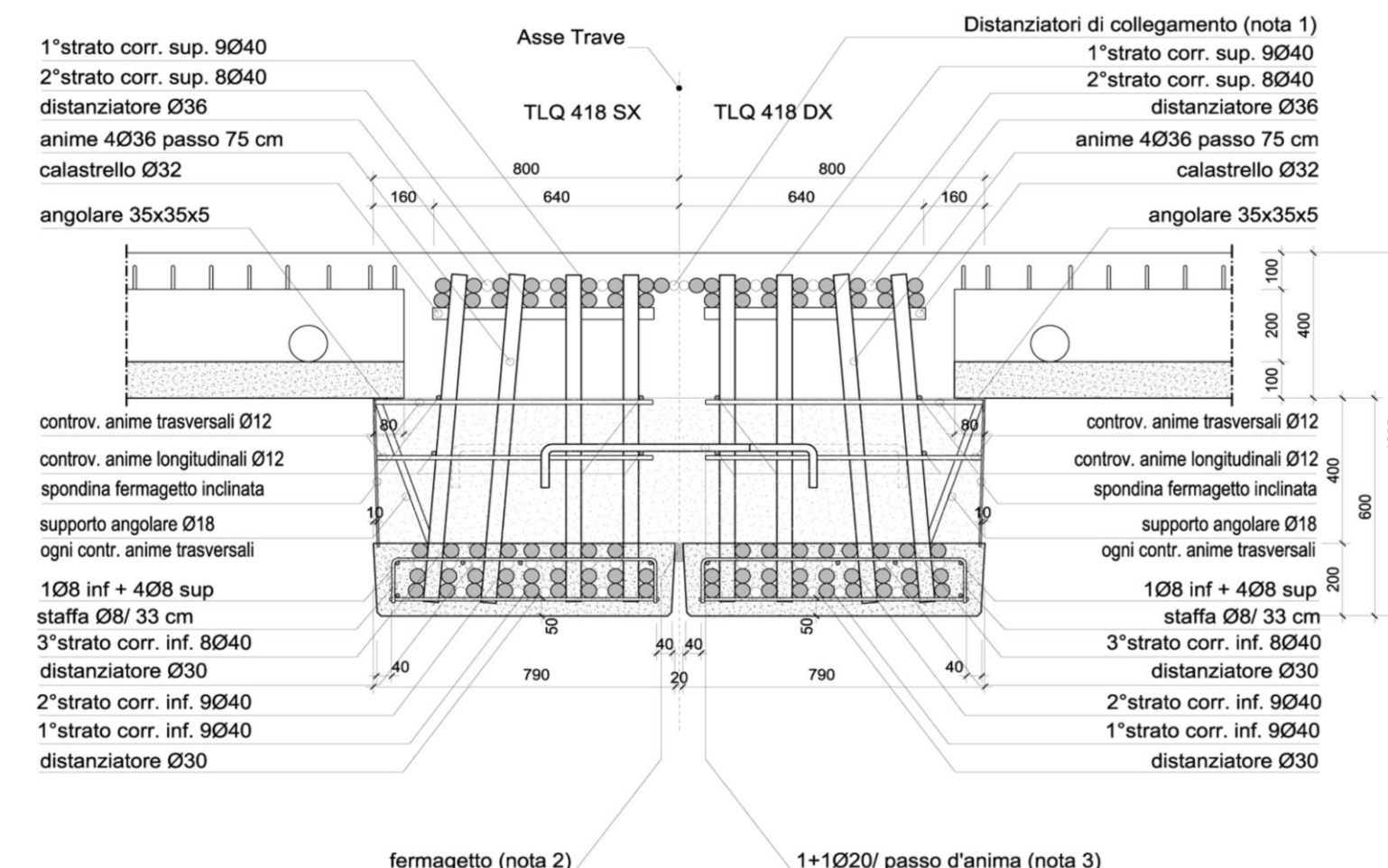
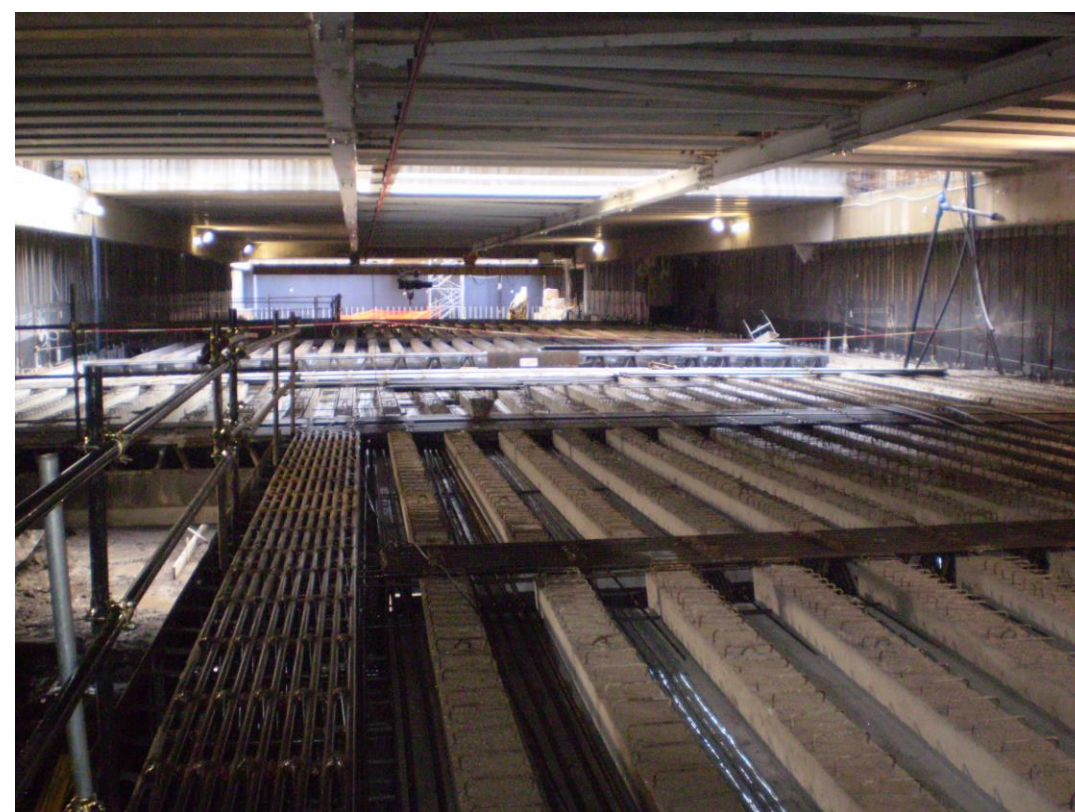
I diaframmi di testata lato Tratta T2 vengono armati con barre in vetroresina in corrispondenza della porzione di diaframma interagente con lo scavo delle gallerie di linea



L'utilizzo di strutture prefabbricate



LA MOVIMENTAZIONE SOTTO COPERTURA

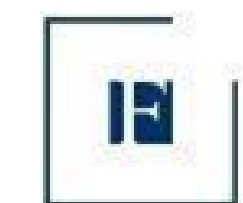
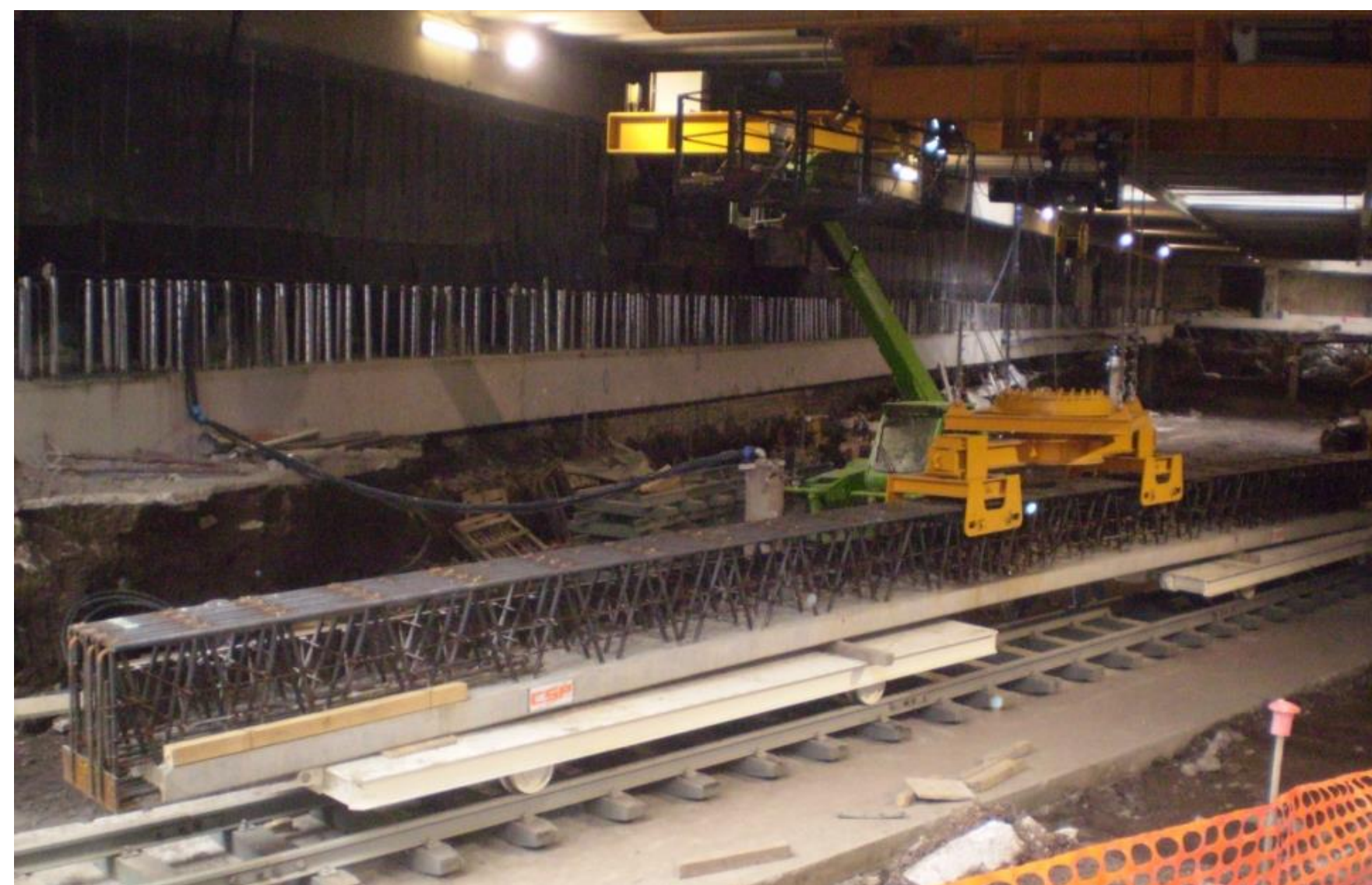


I 3 orizzontamenti che interagiscono con gli strati archeologici verranno realizzati con travi tralicciate in acciaio – anche accoppiate - con una luce massima pari a circa 21,50 m e peso di 15 - 20 t cadauna e predelle nervate autoportanti in fase di getto fino a luci di 4 - 6 m.

Ing. E. Romani - *La stazione Venezia della Metropolitana di Roma Linea C, i principali aspetti progettuali e costruttivi*



L'utilizzo di strutture prefabbricate



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



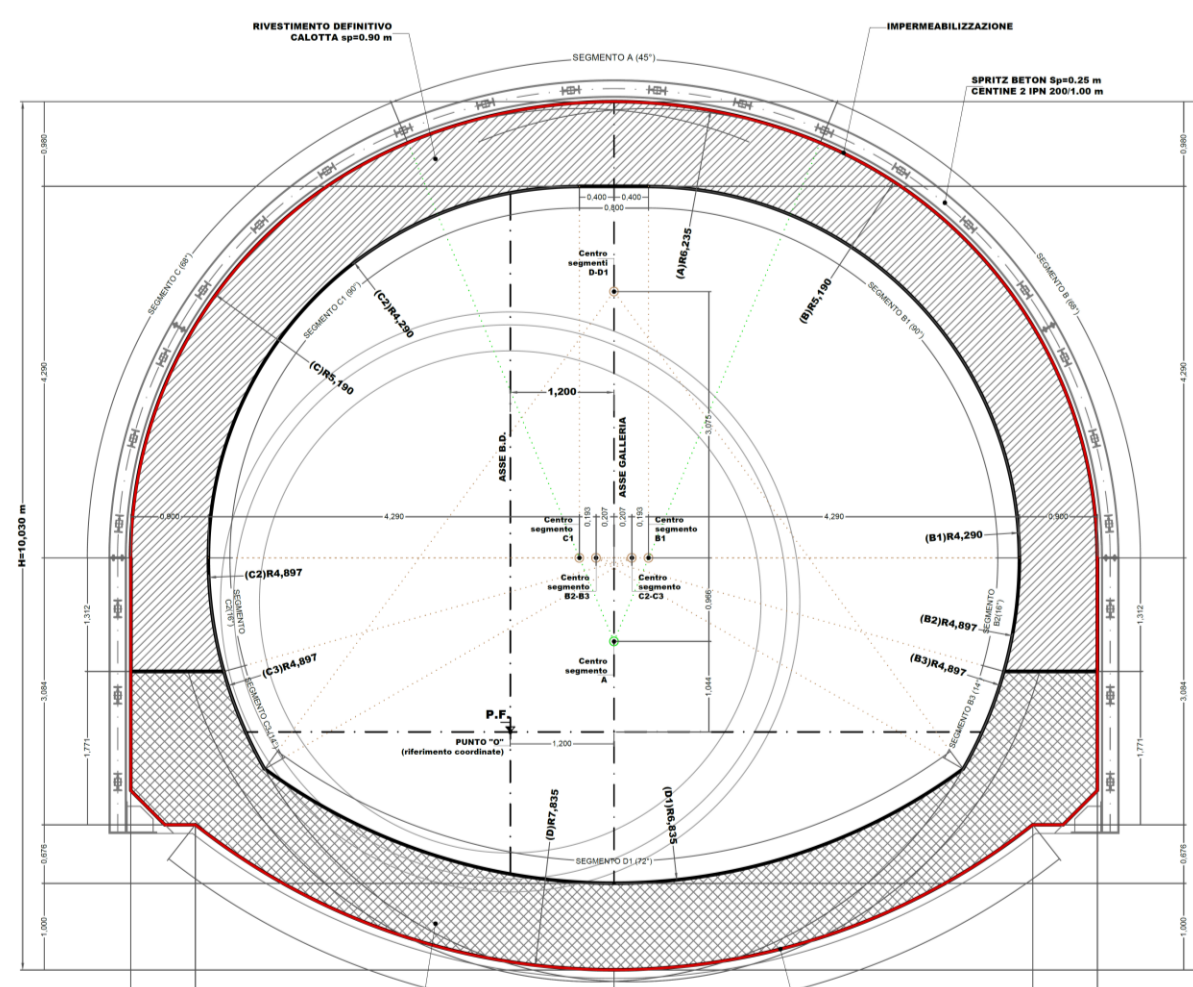
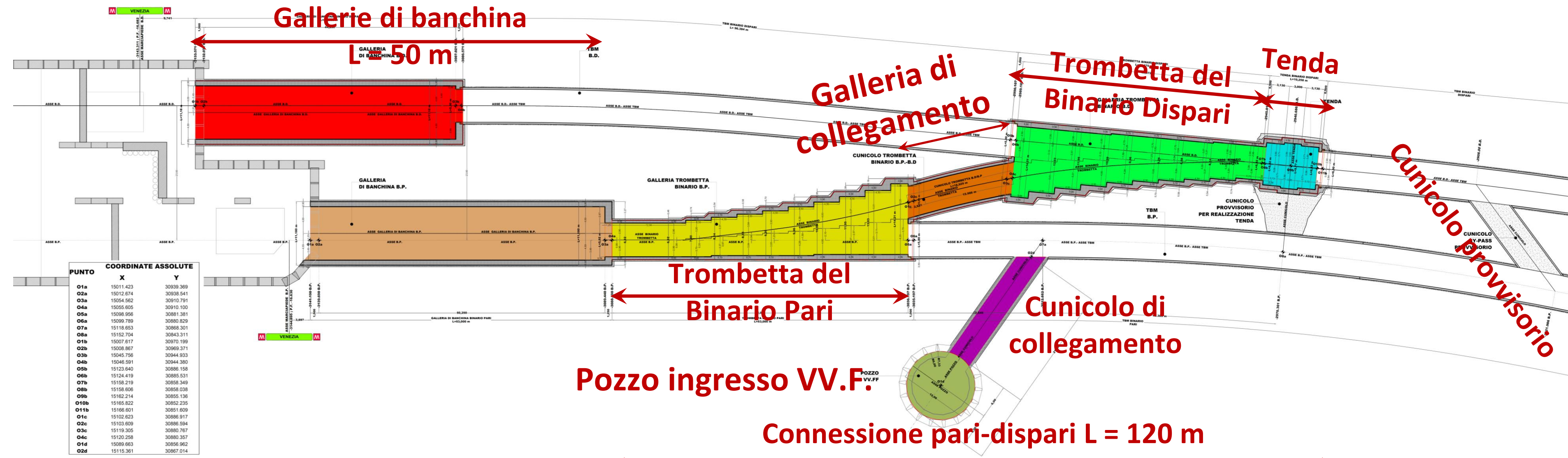
GEEG
GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL
ENGINEERING GROUP

Le gallerie con scavo in tradizionale

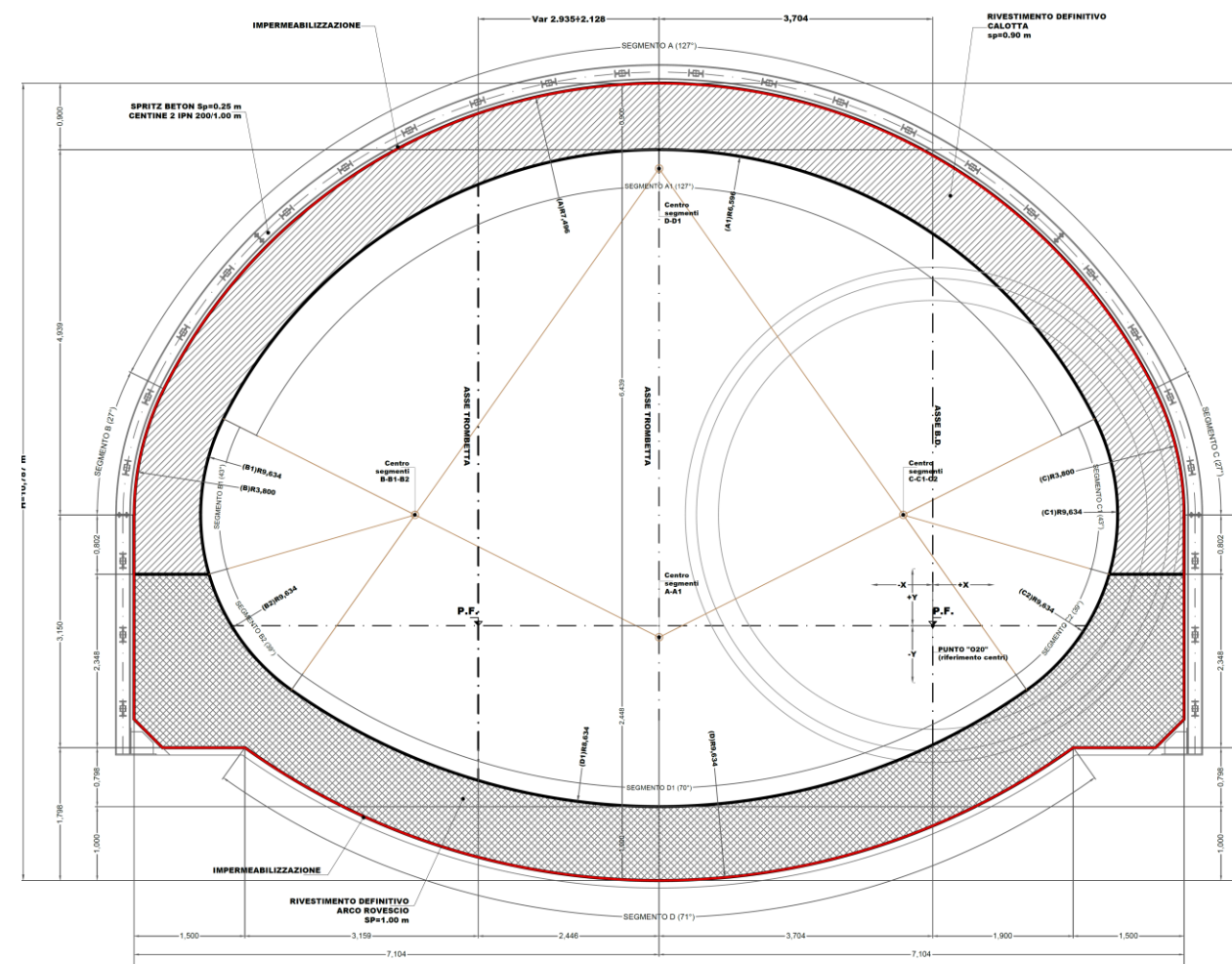


Metro C
La storia
costruisce futuro

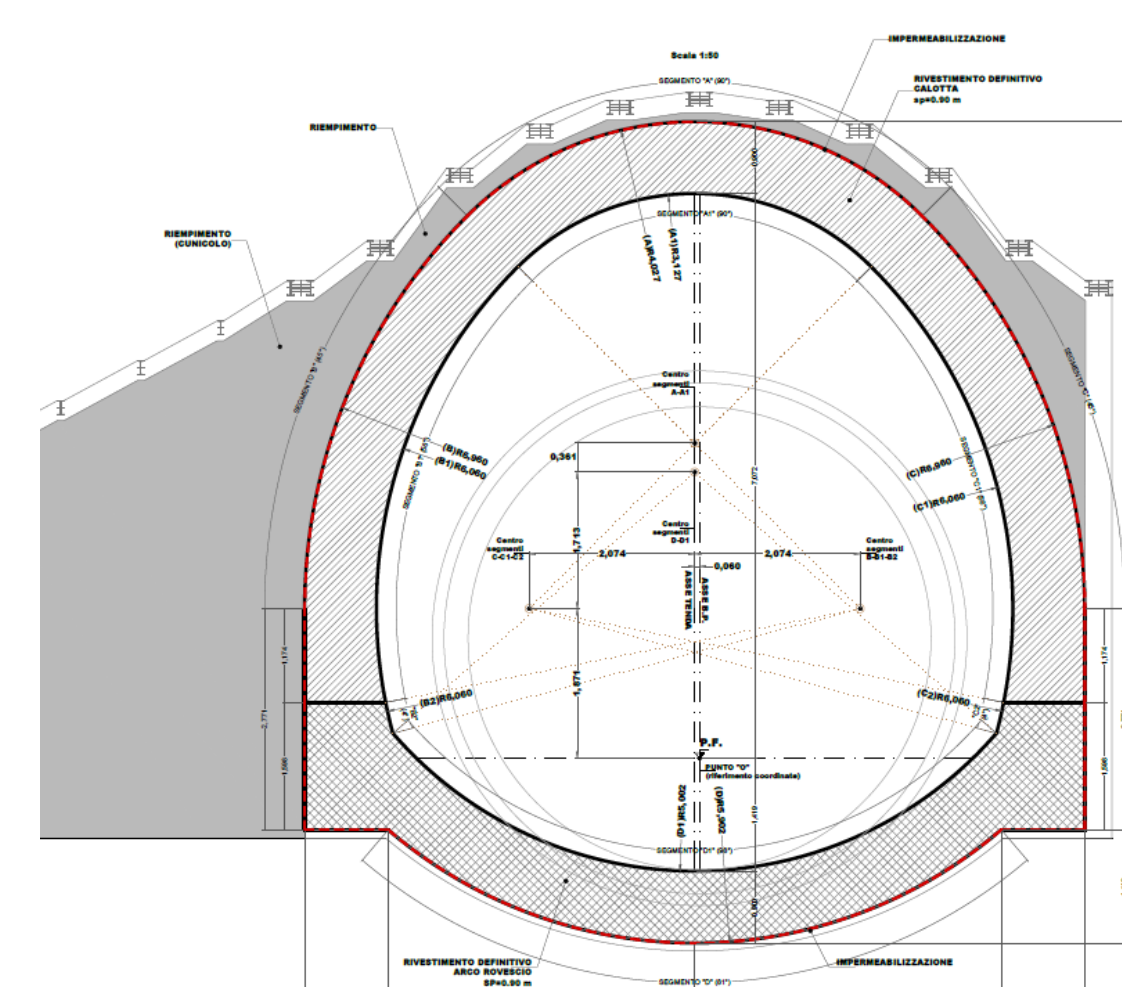
Le gallerie con scavo in tradizionale



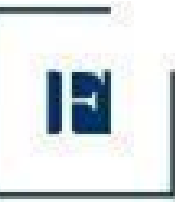
Sezione Tipo - Gallerie di banchina 60 mq



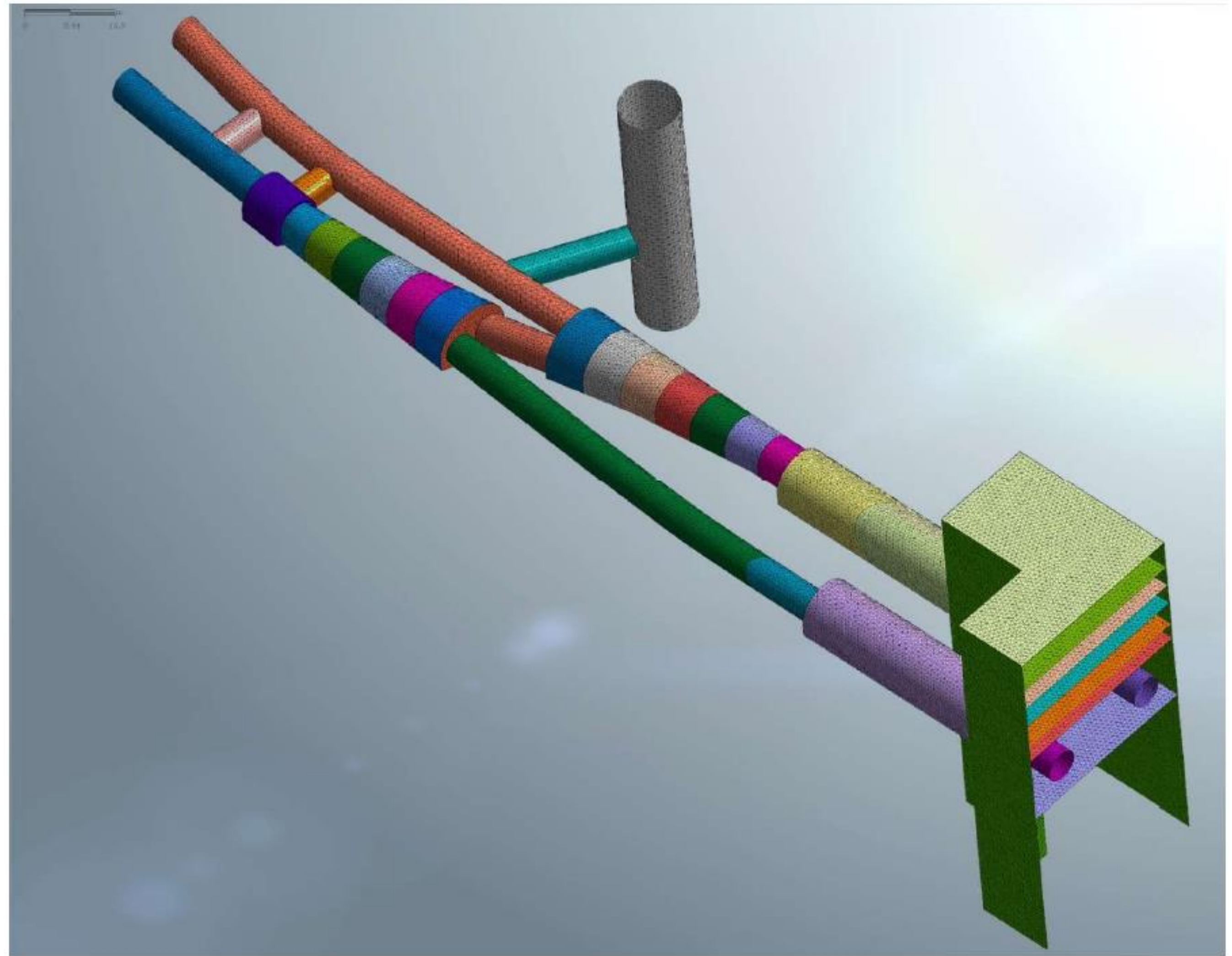
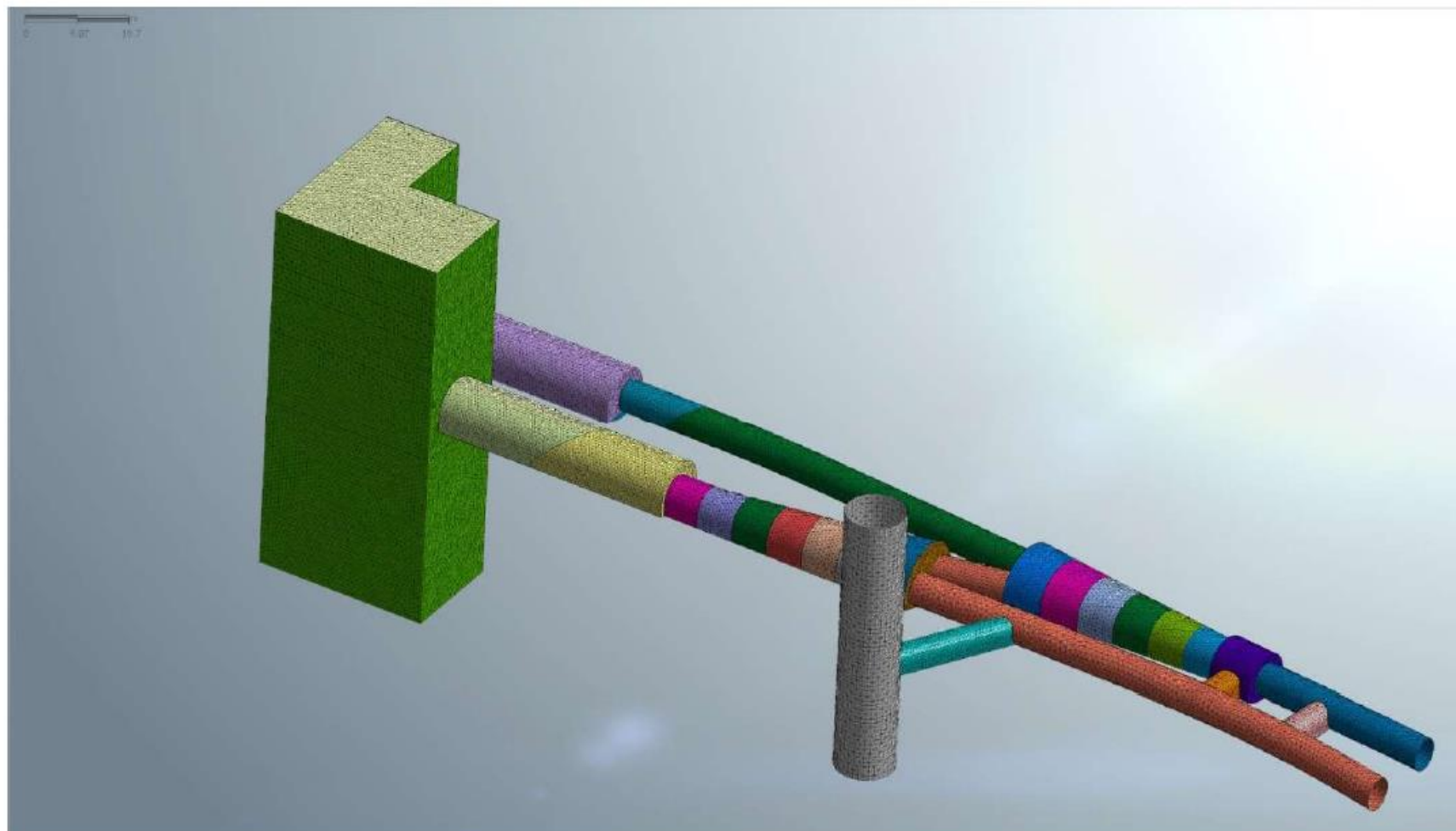
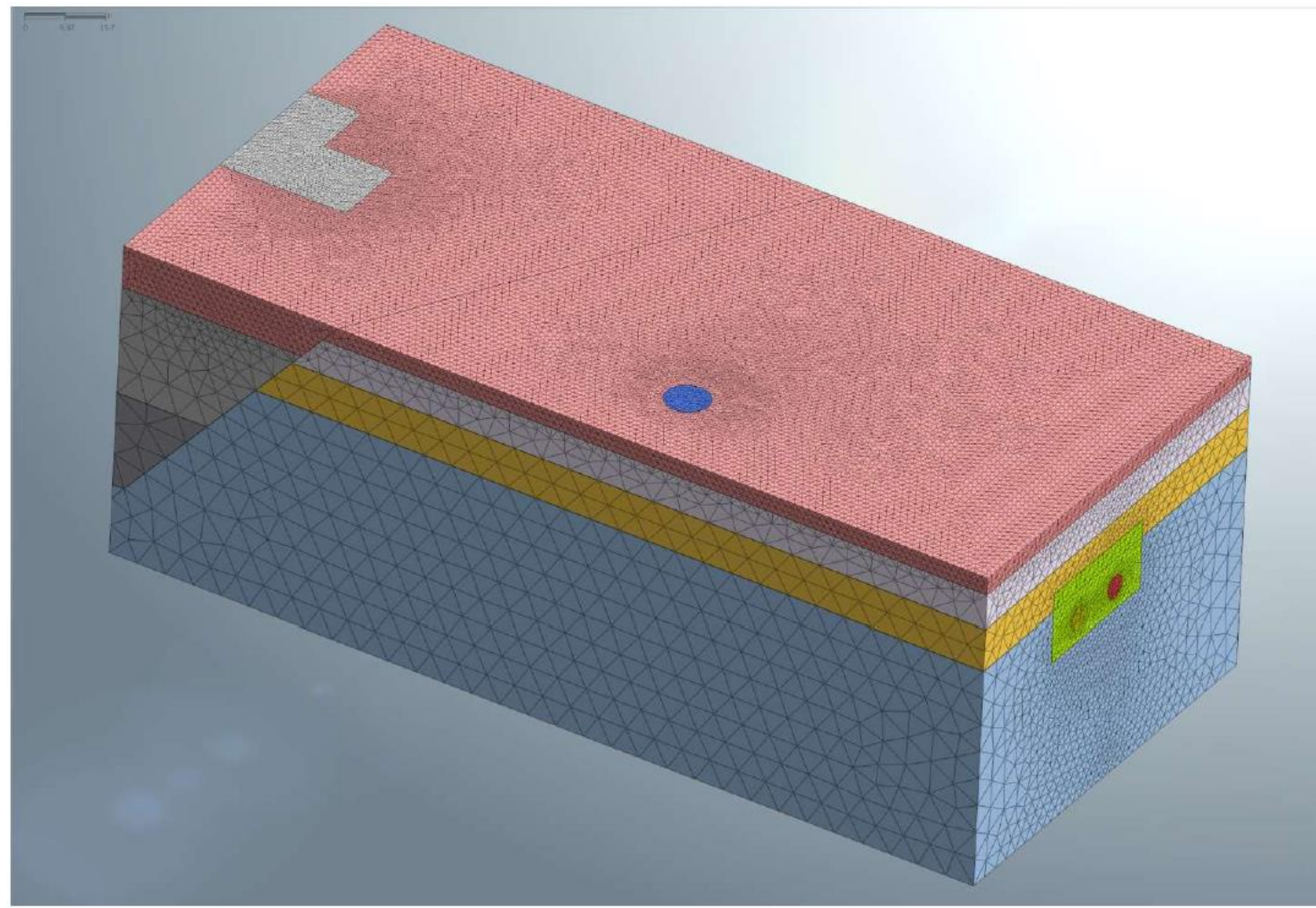
Sezione Tipo - Galleria Trombetta 85 mq



Sezione Tipo - Tenda 50 mq

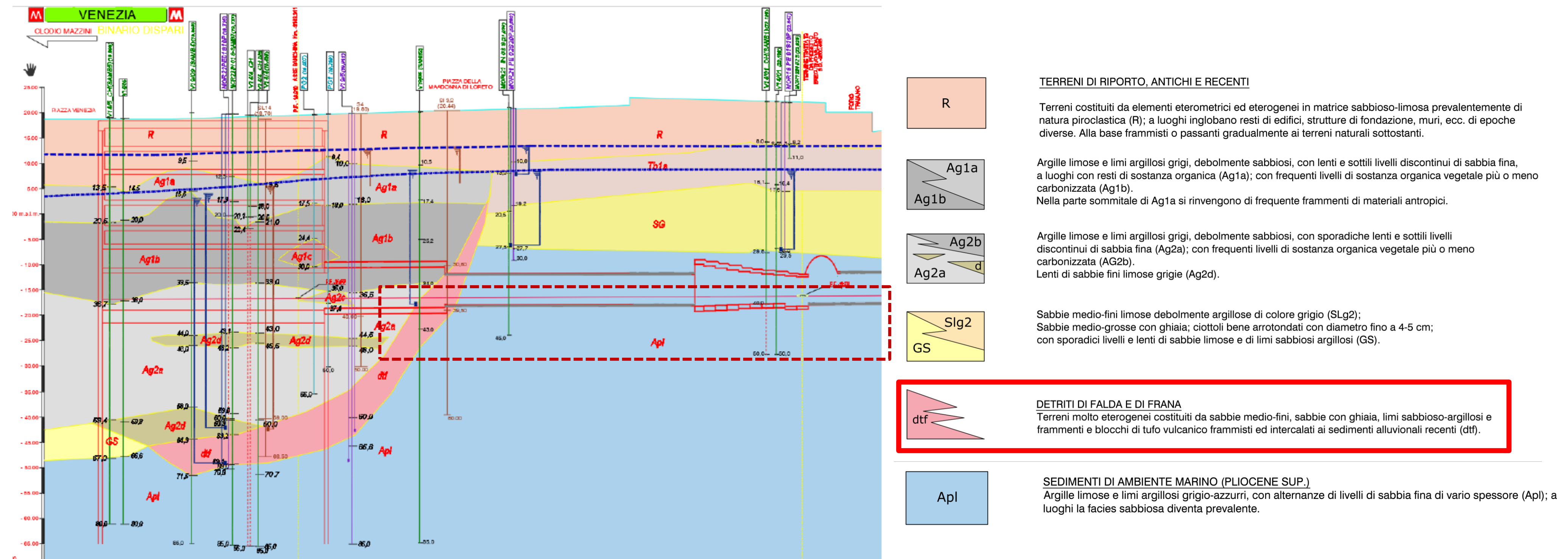


Le gallerie con scavo in tradizionale



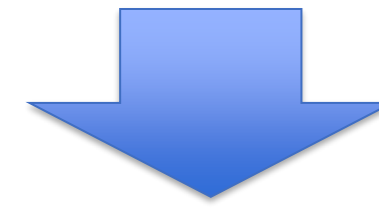
Le gallerie con scavo in tradizionale

- La stratigrafia interessata dagli scavi delle gallerie di banchina è caratterizzata dalla presenza di limi sabbiosi e limi argillosi appartenenti al litotipo Ag2a e dalla presenza del litotipo molto eterogeneo dei DTF;
- La stratigrafia interessata dagli scavi delle gallerie della connessione ferroviaria è caratterizzata dalla presenza di argille plioceniche per l'intera sezione che puntualmente, in calotta, va ad interagire con lo strato molto permeabile delle sabbie e ghiaie

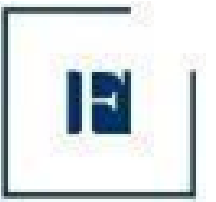
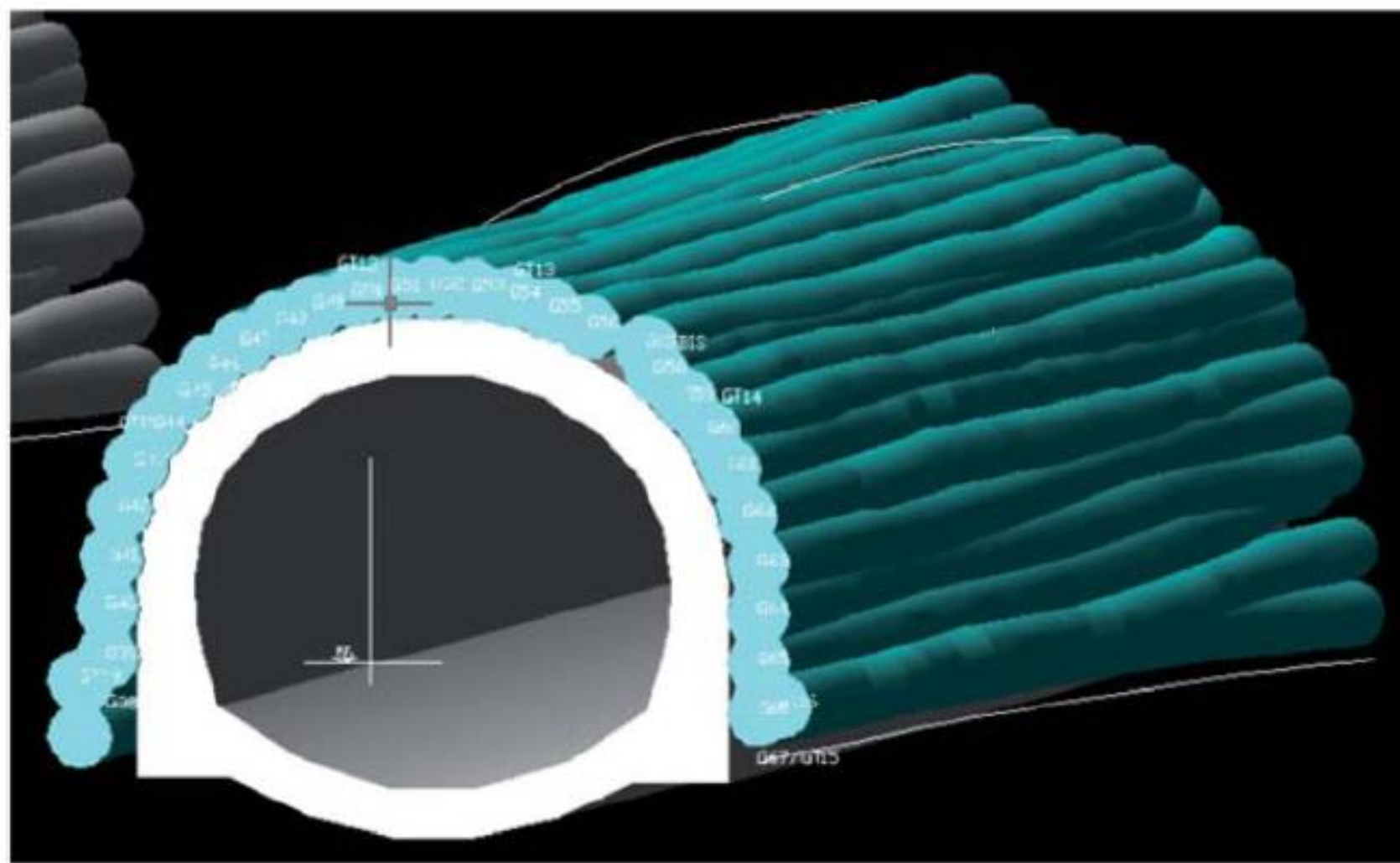


Le gallerie con scavo in tradizionale

- La necessità di realizzare due gallerie con un battente idraulico di circa 20 m;
- L'impossibilità di effettuare consolidamenti dall'alto che interferirebbero con lo strato archeologico;
- La natura dei terreni da scavare caratterizzati da elevate permeabilità
- La necessità di limitare i movimenti di falda al fine di evitare eventuali risentimenti al contorno dello scavo vista la presenza di numerose pre-esistenze monumentali.

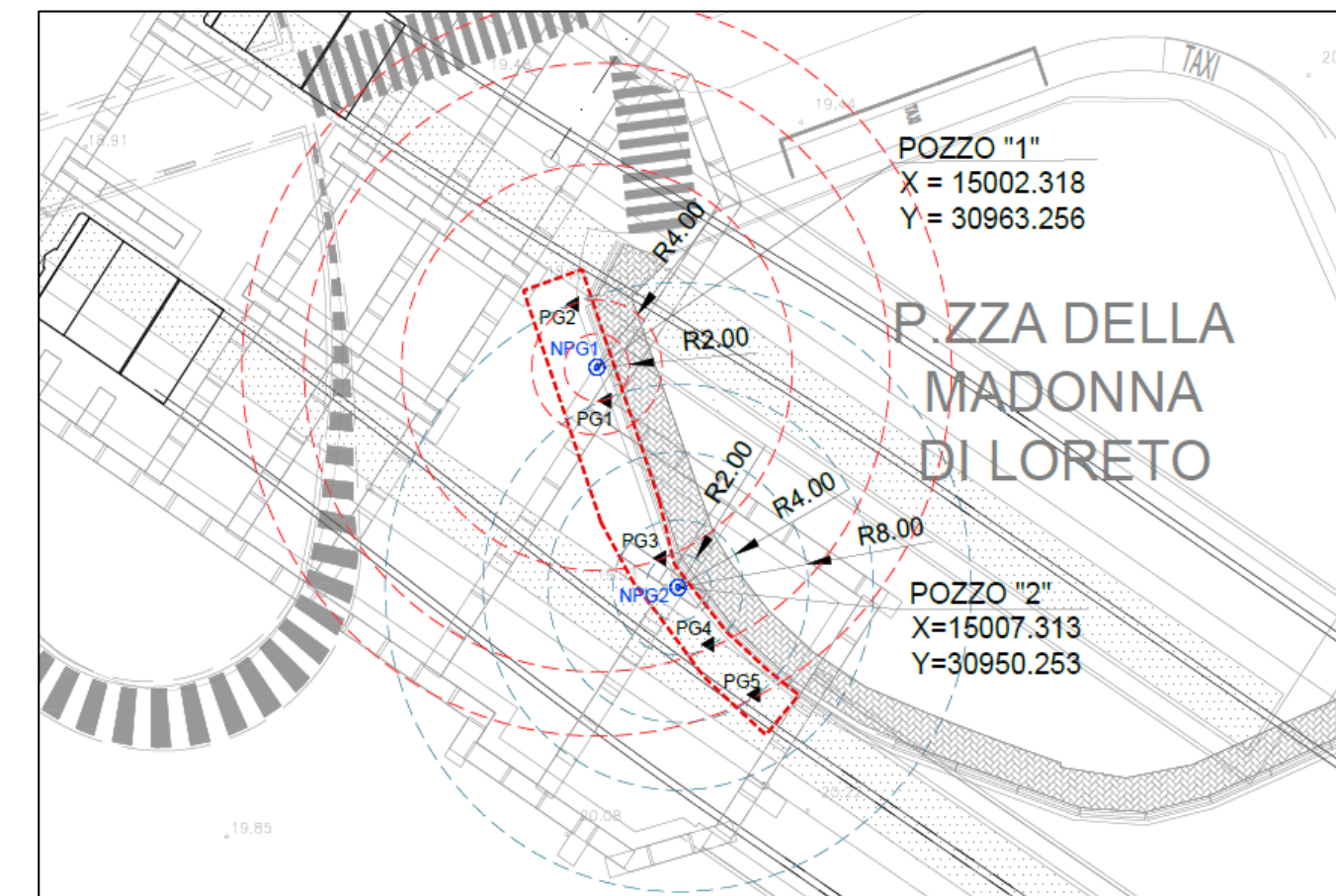
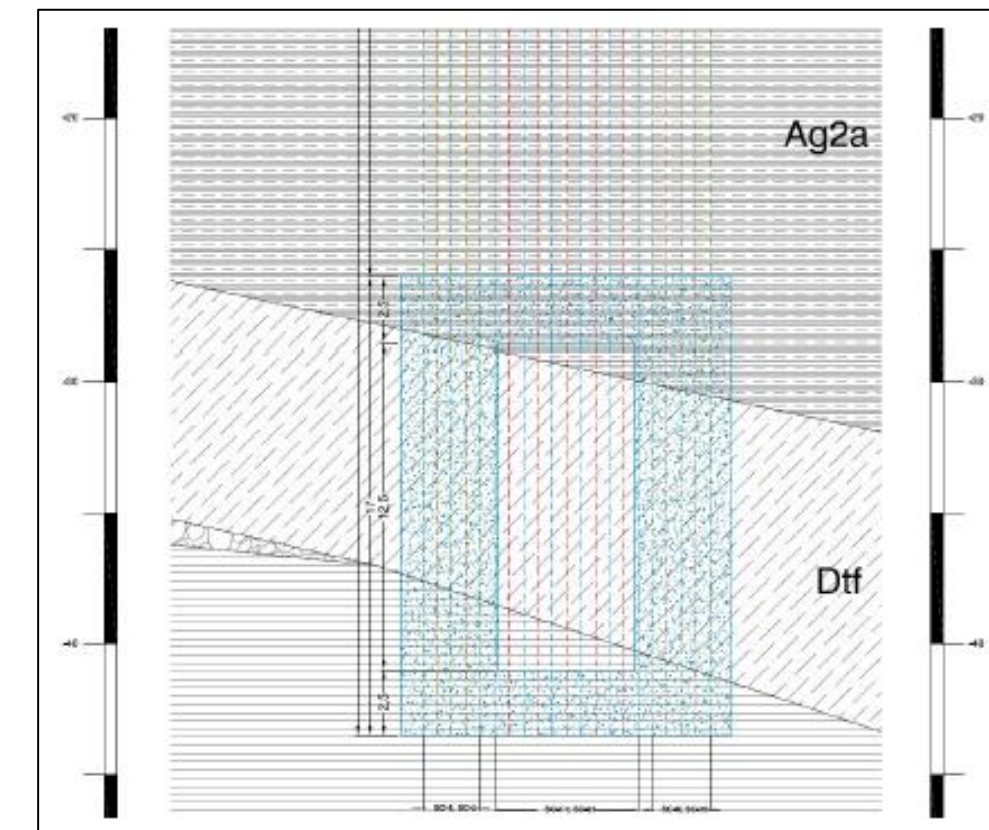
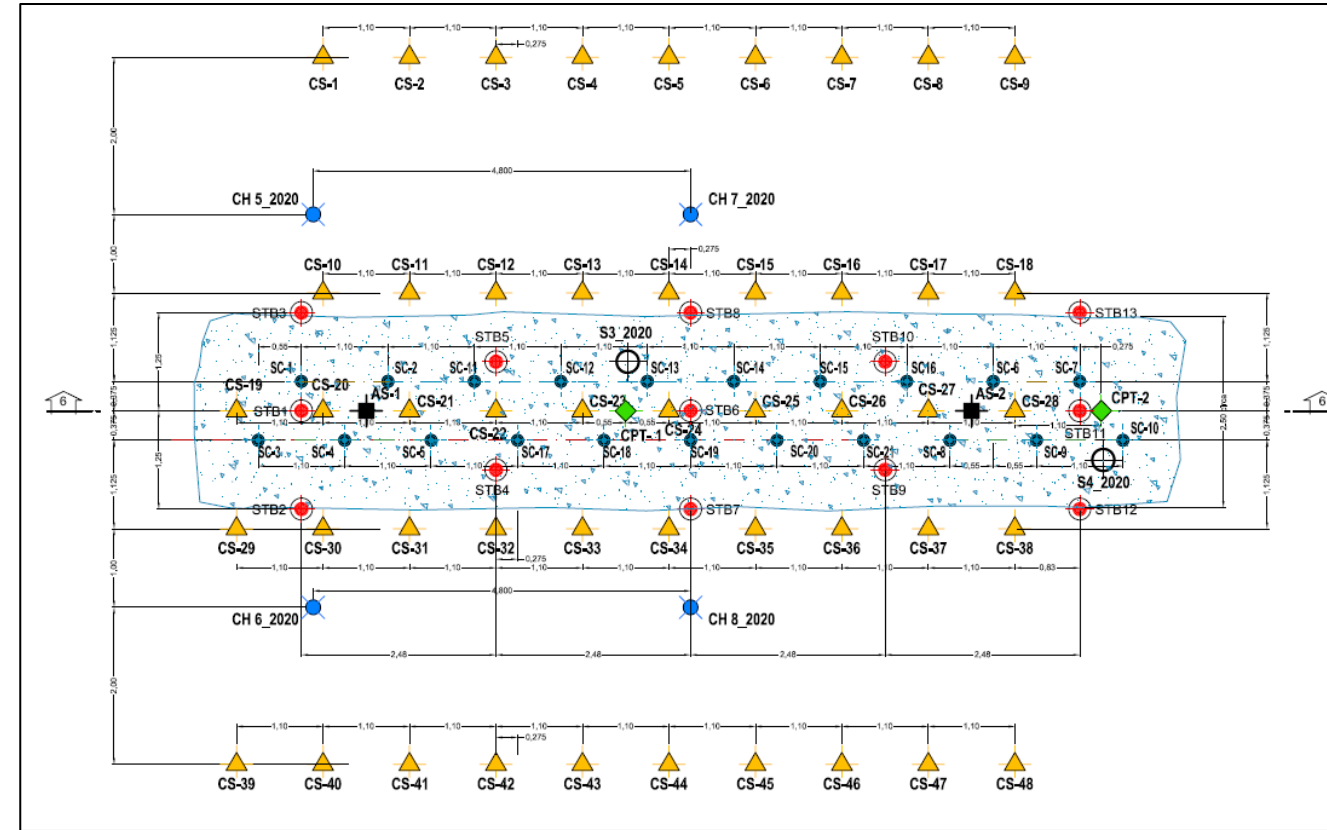
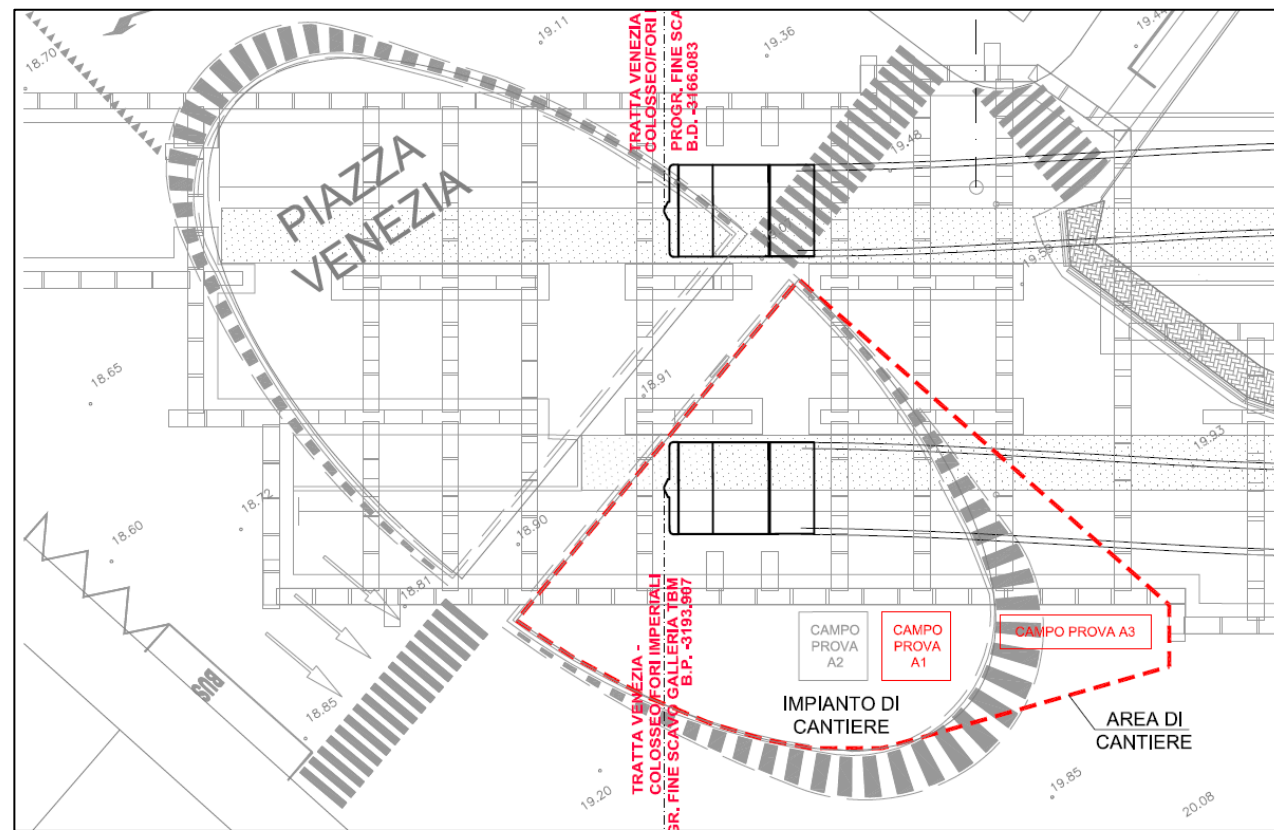


Il **metodo di congelamento artificiale dei terreni** che è una **tecnica di impermeabilizzazione e/o consolidamento contemporaneo per lo scavo sottofalda di terreni sciolti o rocce fratturate**. Tale tecnica consiste nel **congelare l'acqua all'interno di un volume di terreno, facendo circolare un liquido a bassa temperatura, che provvede all'estrazione del calore e alla dissipazione dello stesso all'esterno**.



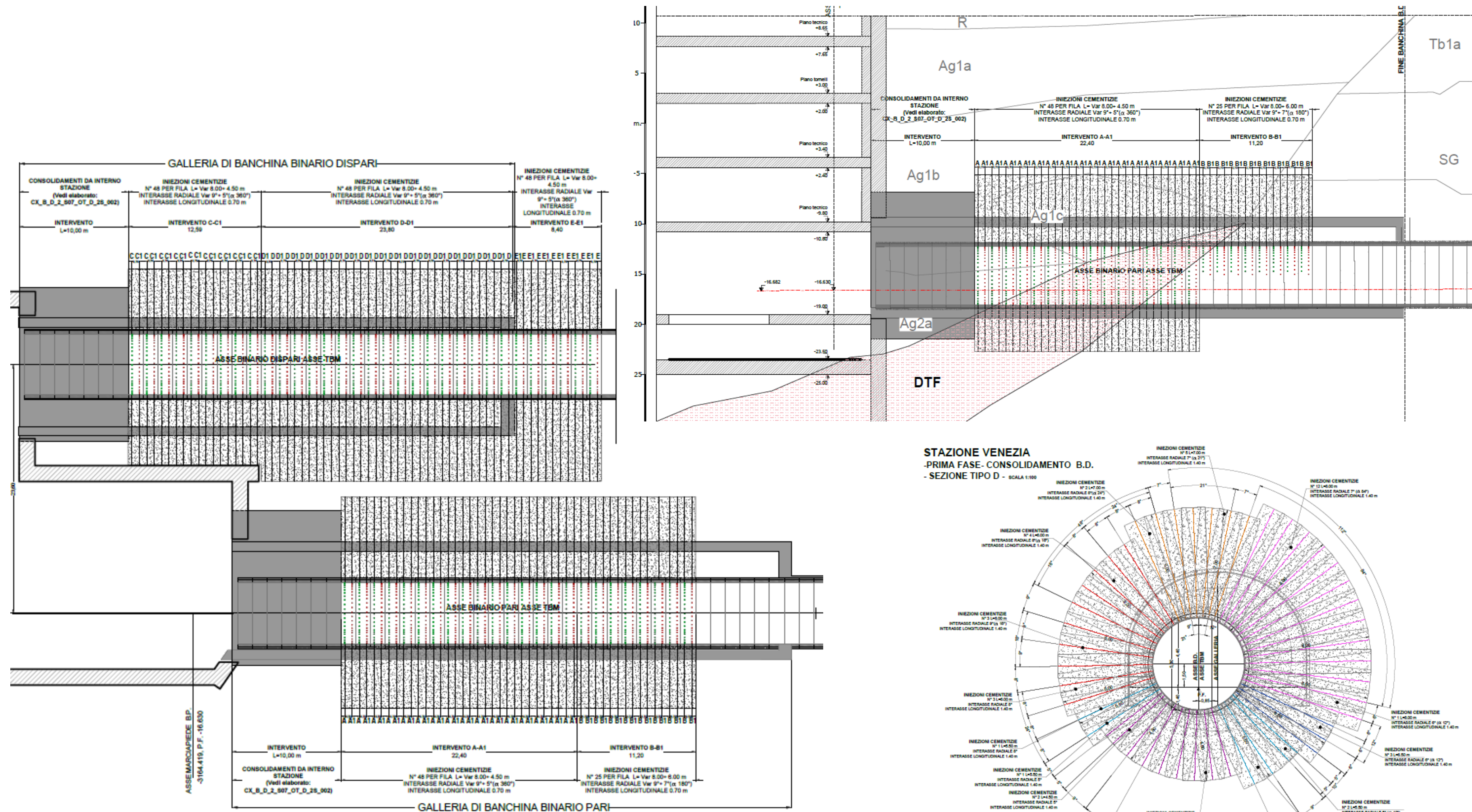
Le gallerie con scavo in tradizionale

I **campi prova** eseguiti nel primo semestre del 2020 presso l'area di piazza Venezia oltre alle **prove di velocità dell'acqua di falda** hanno permesso la verifica dell'**efficienza del congelamento** come consolidamento del terreno arrivando alla definizione della **più idonea successione di iniezioni preventive** da mettere in campo in funzione della natura dei terreni da scavare al fine di ridurre la permeabilità e omogeneizzarne l'inerzia termica.



Le gallerie con scavo in tradizionale

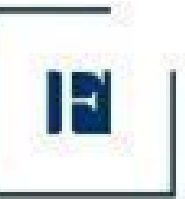
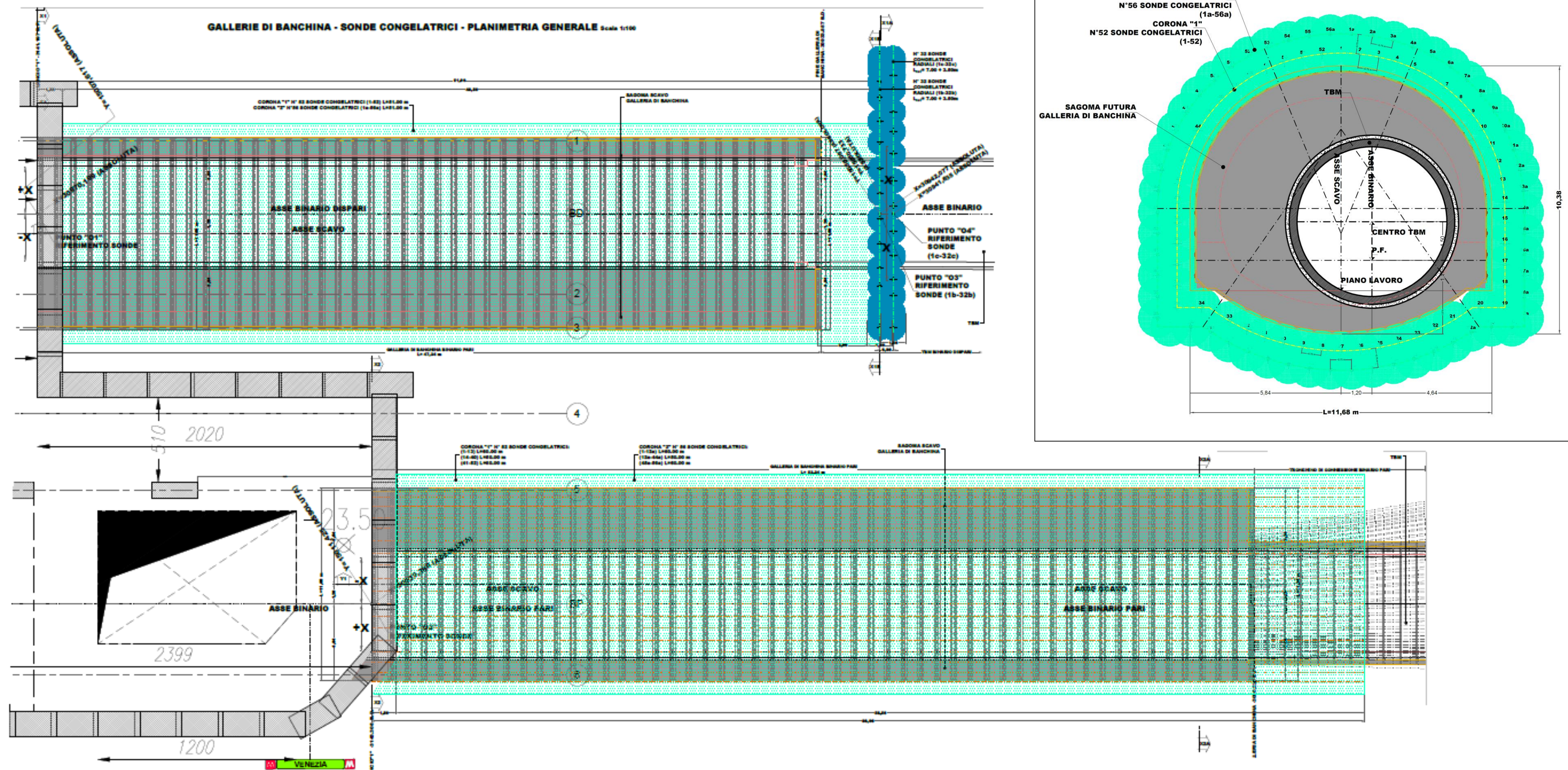
Iniezioni cementizie di pre-trattamento del terreno – Gallerie di banchina:



Le gallerie con scavo in tradizionale

Congelamento – Gallerie di banchina

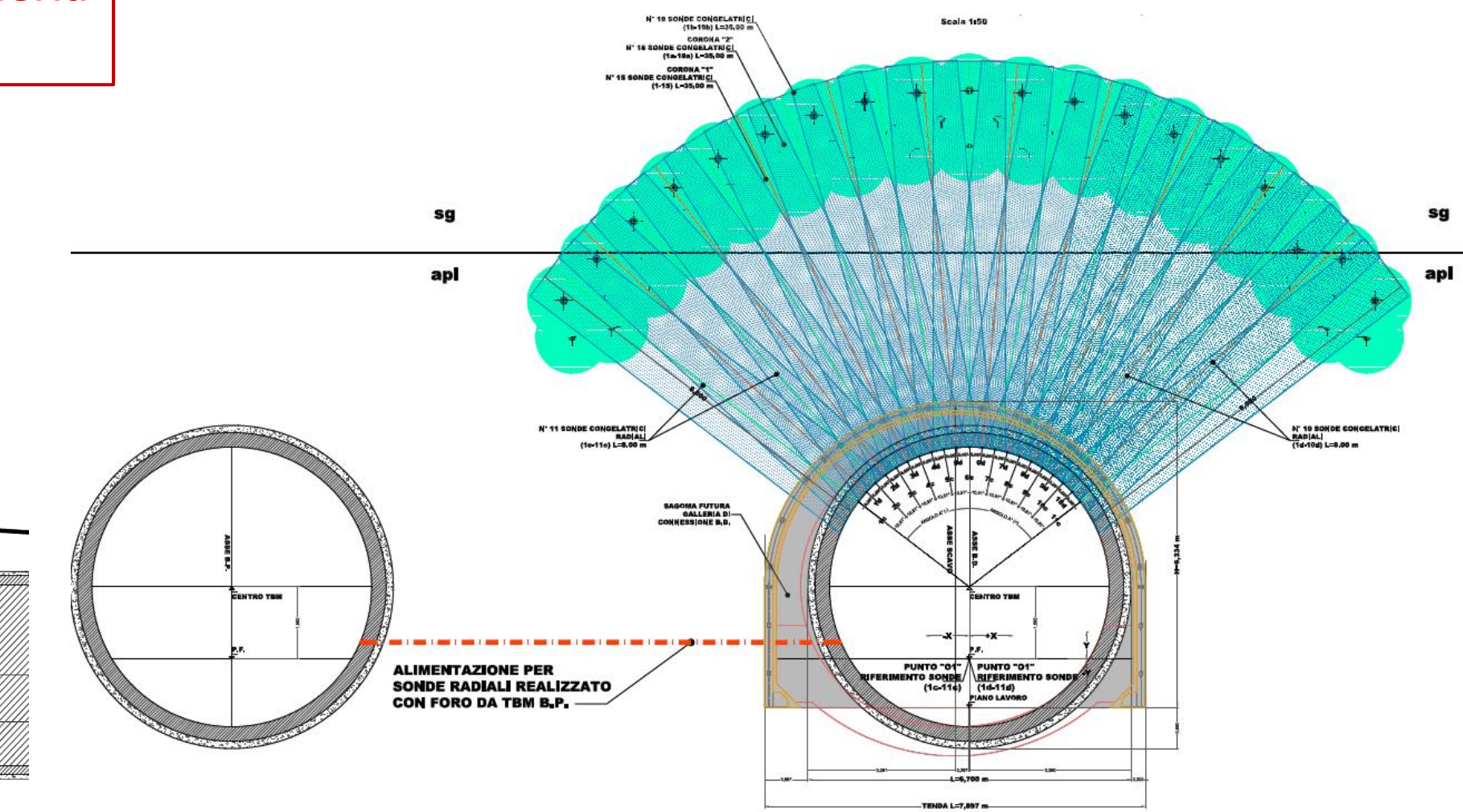
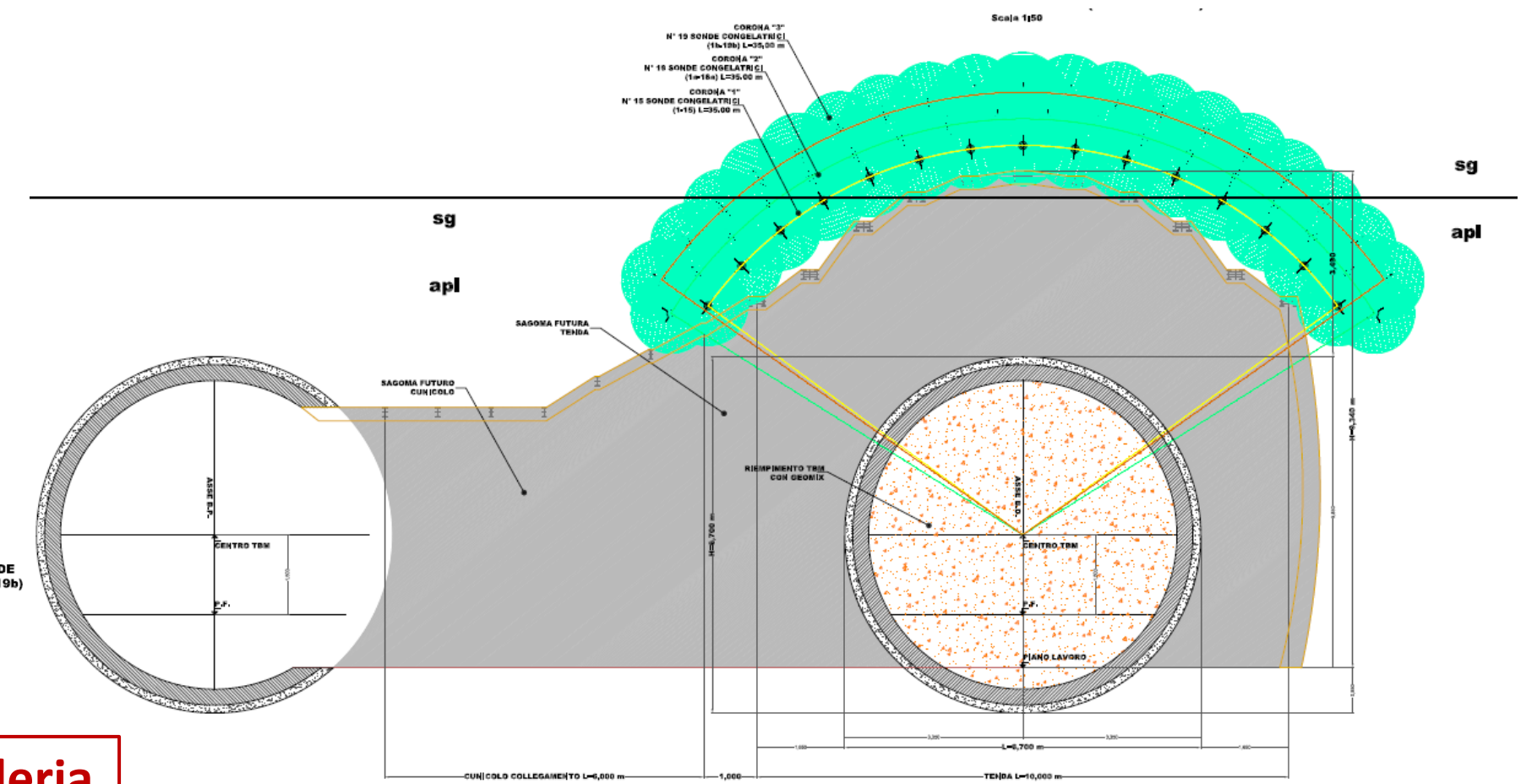
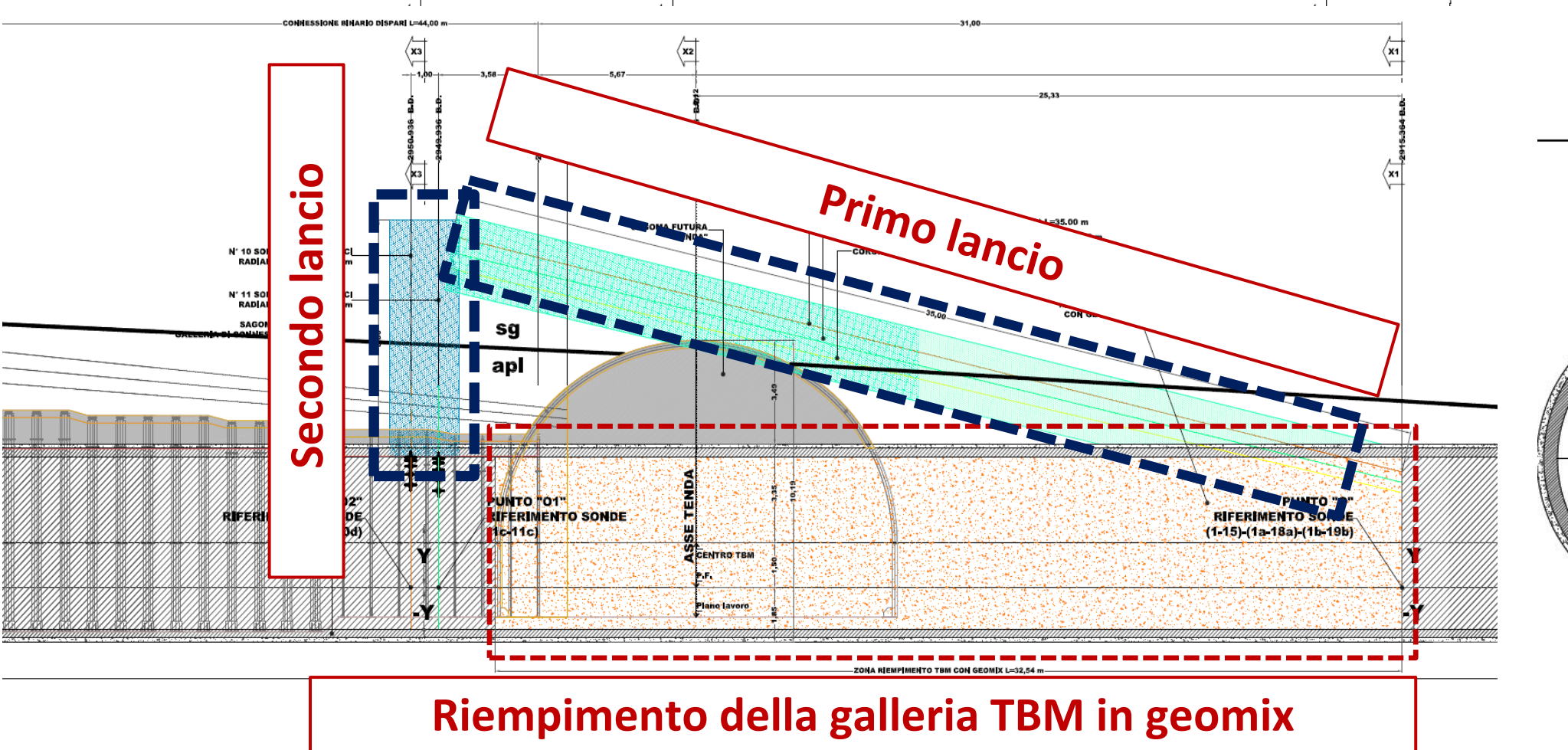
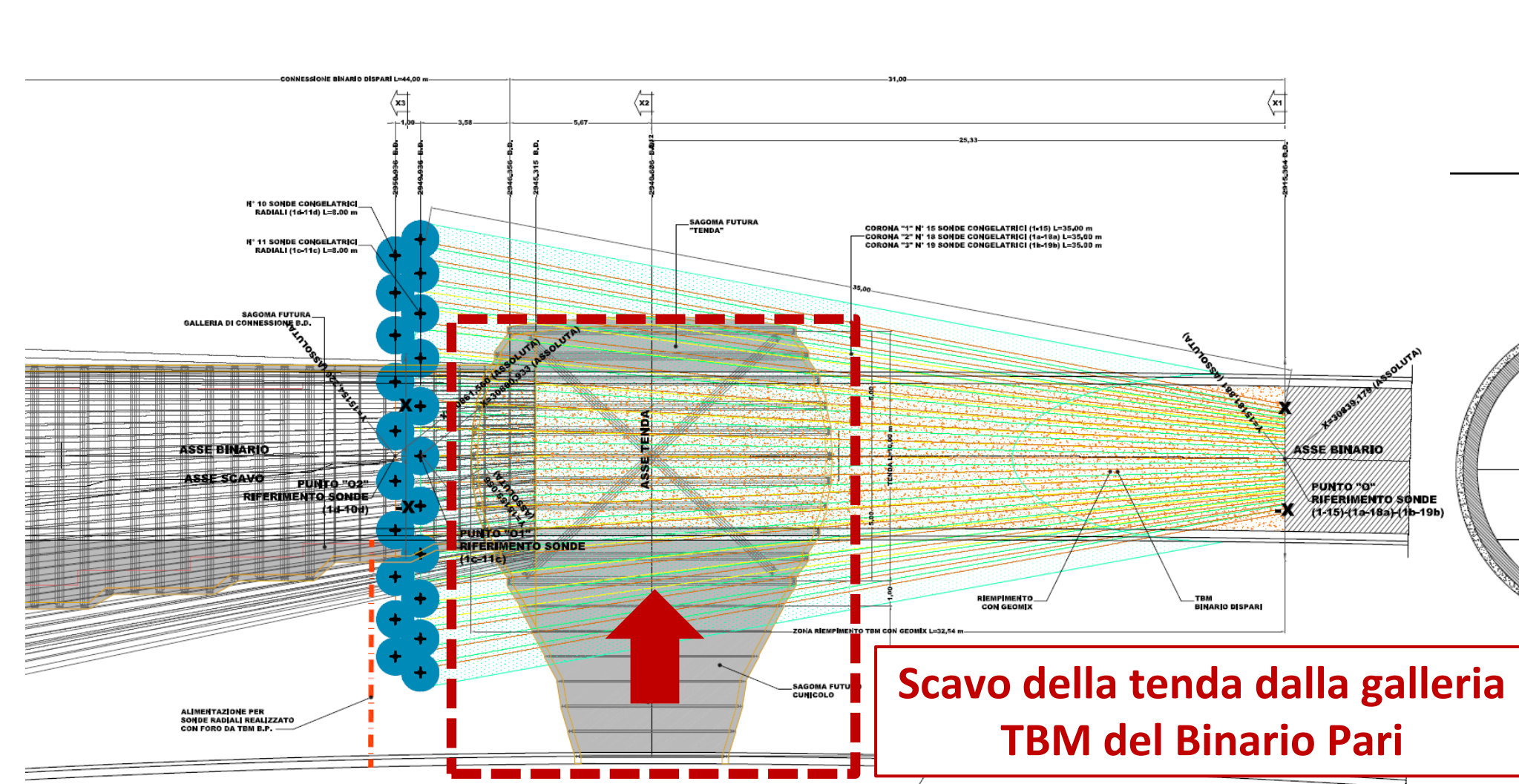
Le gallerie di banchina sono caratterizzate da n. 108 perforazioni cadauna di lunghezza pari a circa 60 m con uno spessore del terreno da congelare ad una temperatura $\leq 10^{\circ}$ C di 1,5 m.



Le gallerie con scavo in tradizionale

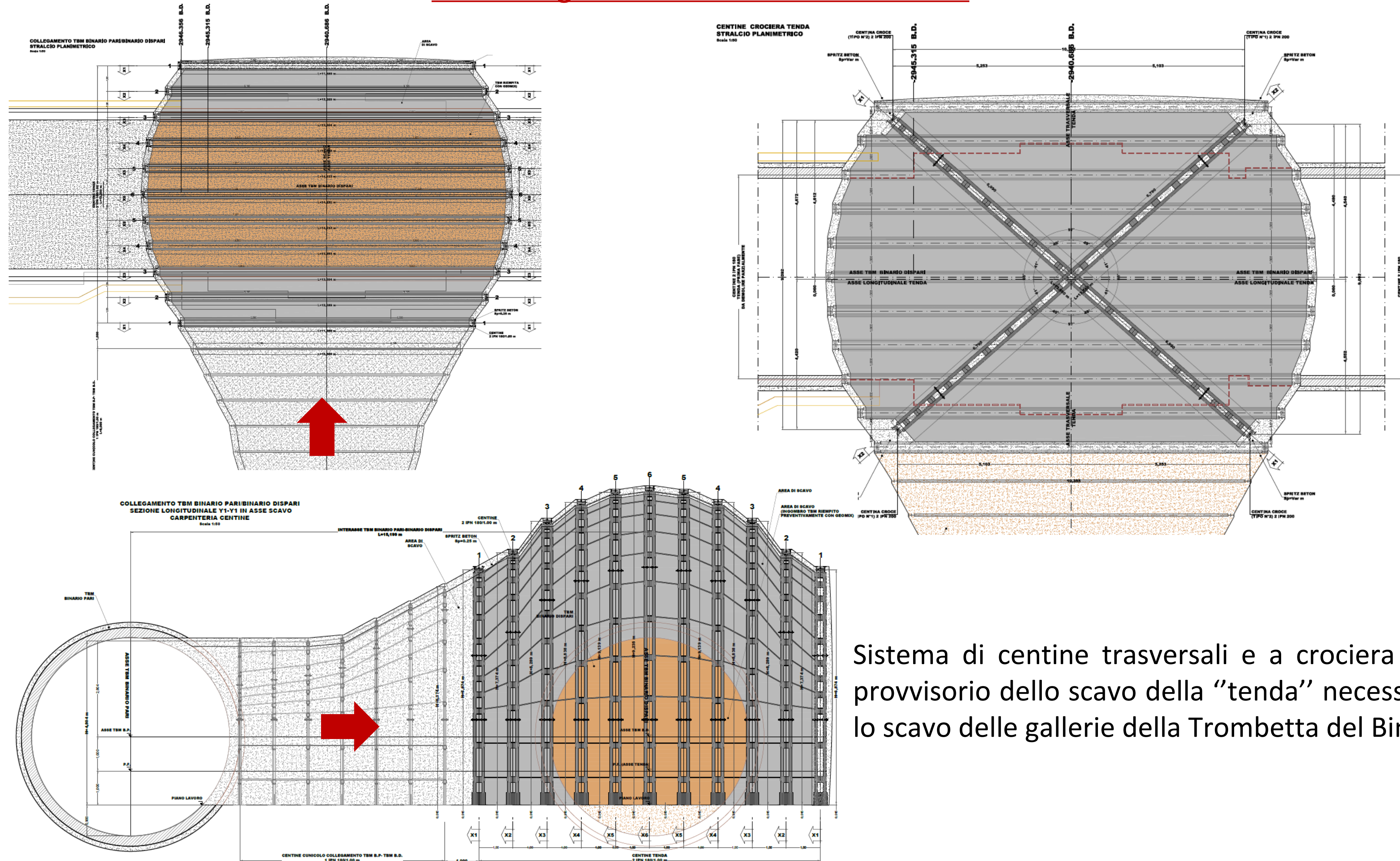
Congelamento – «Tenda»

Il **primo lancio** è caratterizzato da n. **52 perforazioni** di lunghezza 35 m per un volume di terreno congelato pari a 1208 m³. Il **secondo lancio** relativo alle sonde radiali è caratterizzato da n. **21 perforazioni** di lunghezza 8 m per un volume di terreno congelato pari a 275 m³



Le gallerie con scavo in tradizionale

Centine – gallerie di connessione: «Tenda»



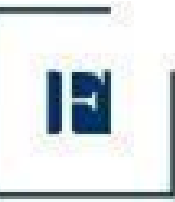
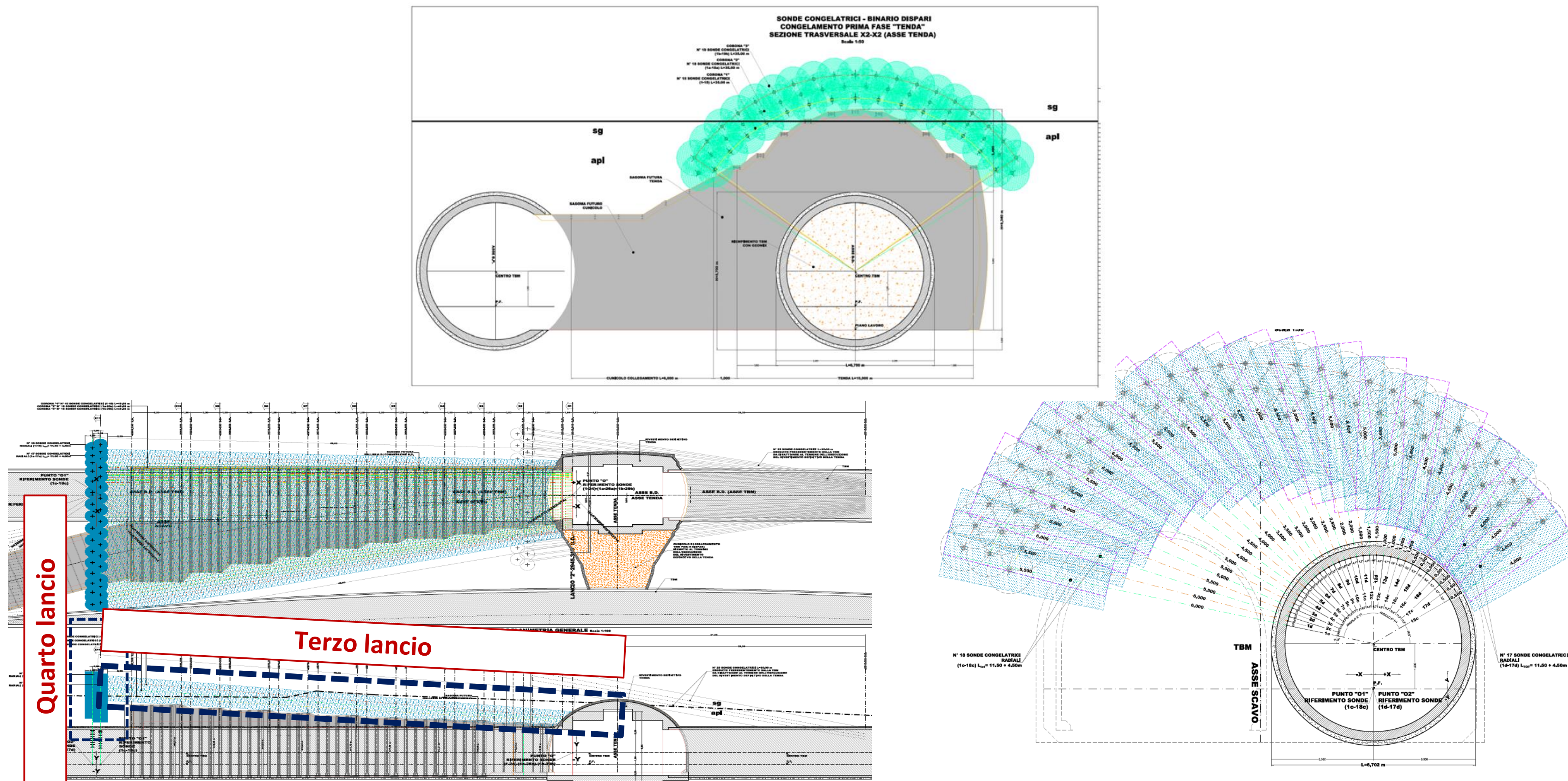
Sistema di centine trasversali e a crociera per il sostegno provvisorio dello scavo della "tenda" necessario per iniziare lo scavo delle gallerie della Trombetta del Binario Pari.



Le gallerie con scavo in tradizionale

Congelamento – Trombetta Binario Dispari

Il **terzo lancio** è caratterizzato da n. **79 perforazioni** di lunghezza 50 m per un volume di terreno congelato pari a 2200 m³. Il quarto lancio è caratterizzato da n. **79 perforazioni** di lunghezza 60 m per un volume di terreno congelato pari a 2640 m³. In tutti andando a formare uno spessore del muro di ghiaccio ad una temperatura $\leq 10^{\circ}$ C di 1,5 – 2,5 m



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



GEEG
GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL
ENGINEERING GROUP

L'interazione con le pre-esistenze monumentali



Metro C
La storia
costruisce futuro

L'interazione con le pre-esistenze monumentali

La tratta interagisce con il tessuto urbano del centro storico di Roma, caratterizzato da pre-esistenze monumentali di inestimabile pregio storico, artistico e culturale.



Chiesa di Santa Maria di Loreto



Basilica di San Marco



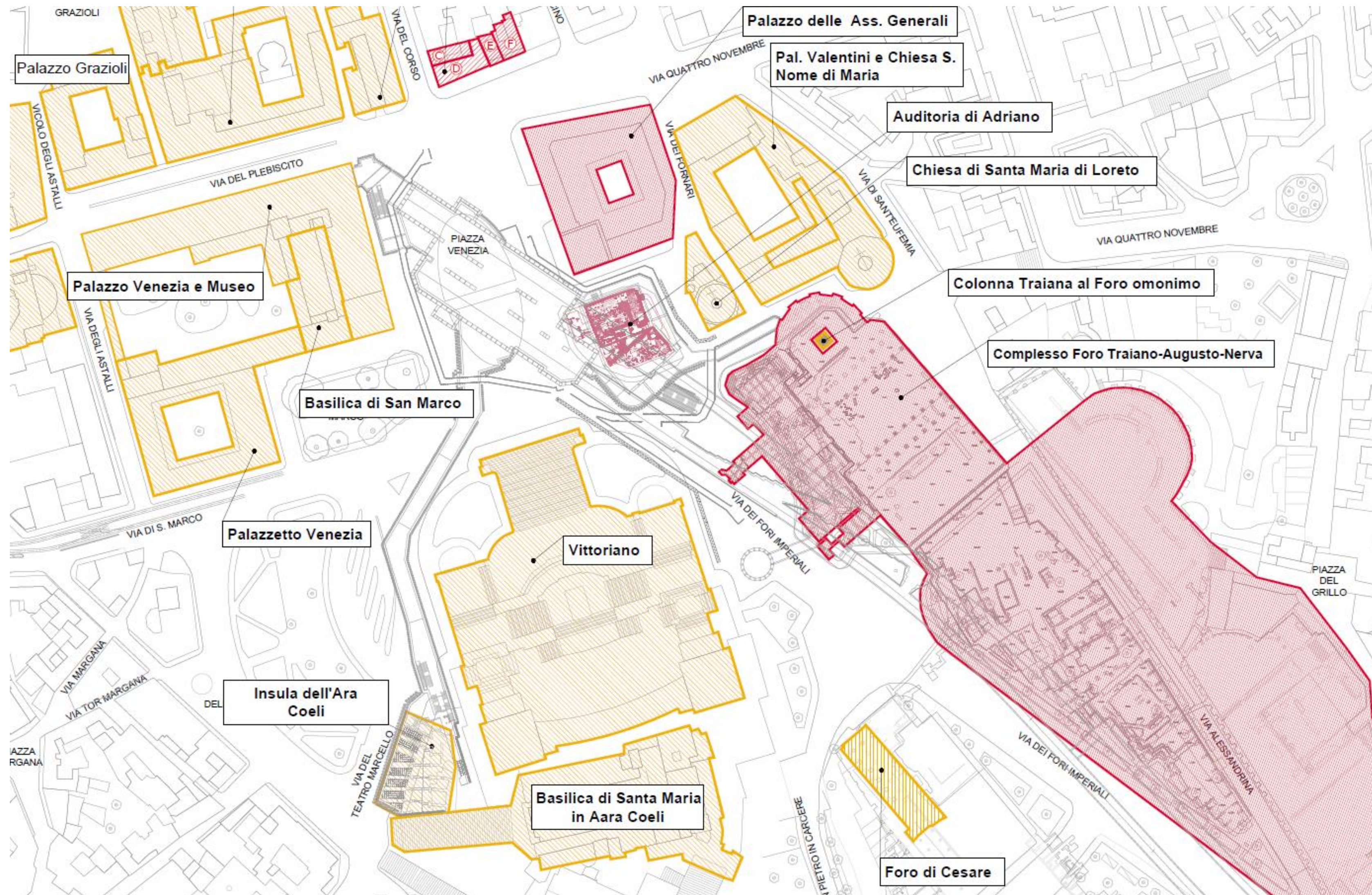
Vittoriano



Palazzo Venezia

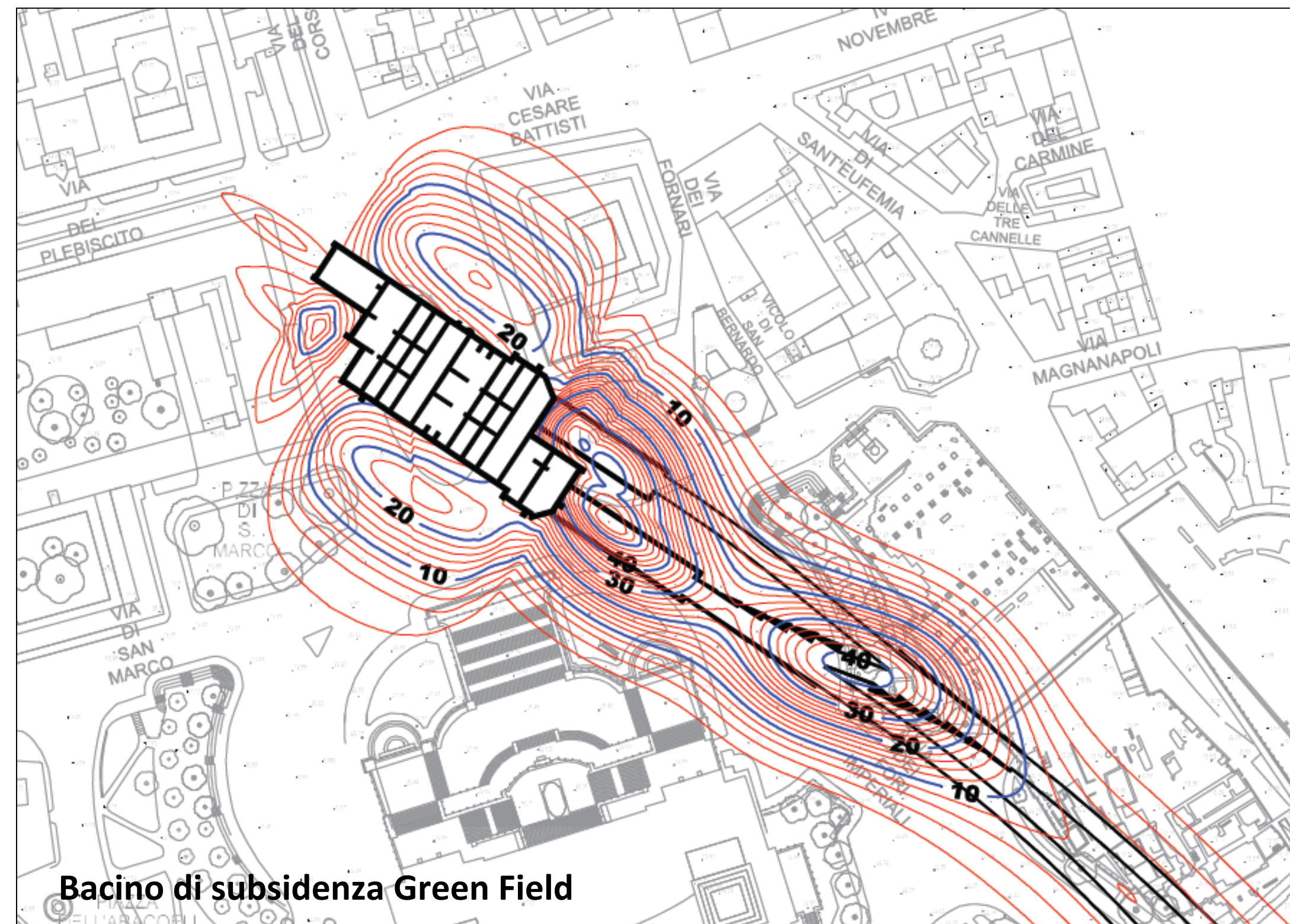


L'interazione con le pre-esistenze monumentali



L'interazione con le pre-esistenze monumentali

Il contraente Generale ha stipulato una convenzione con il **Dipartimento di Ingegneria Geotecnica e Strutturale dell'Università di Roma "La Sapienza"** al fine di assicurare un elevato livello qualitativo nello studio delle complesse problematiche di interazione tra la costruzione della linea e il patrimonio storico, artistico e monumentale.

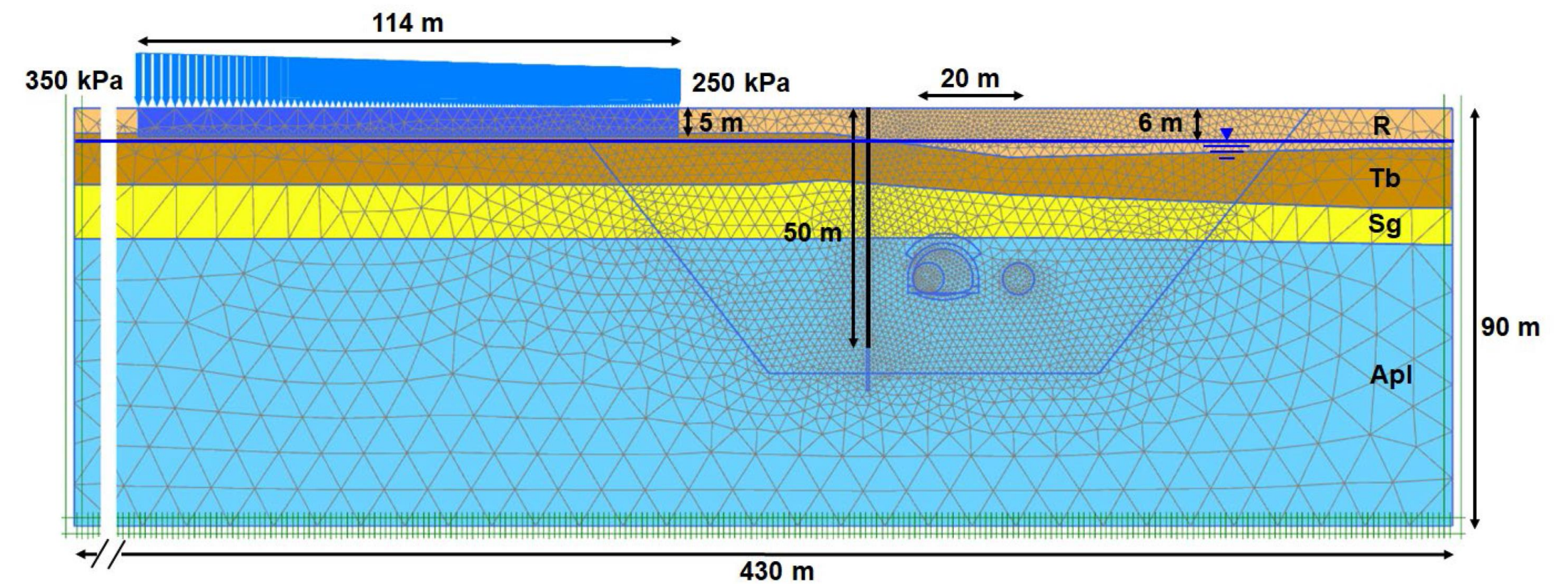
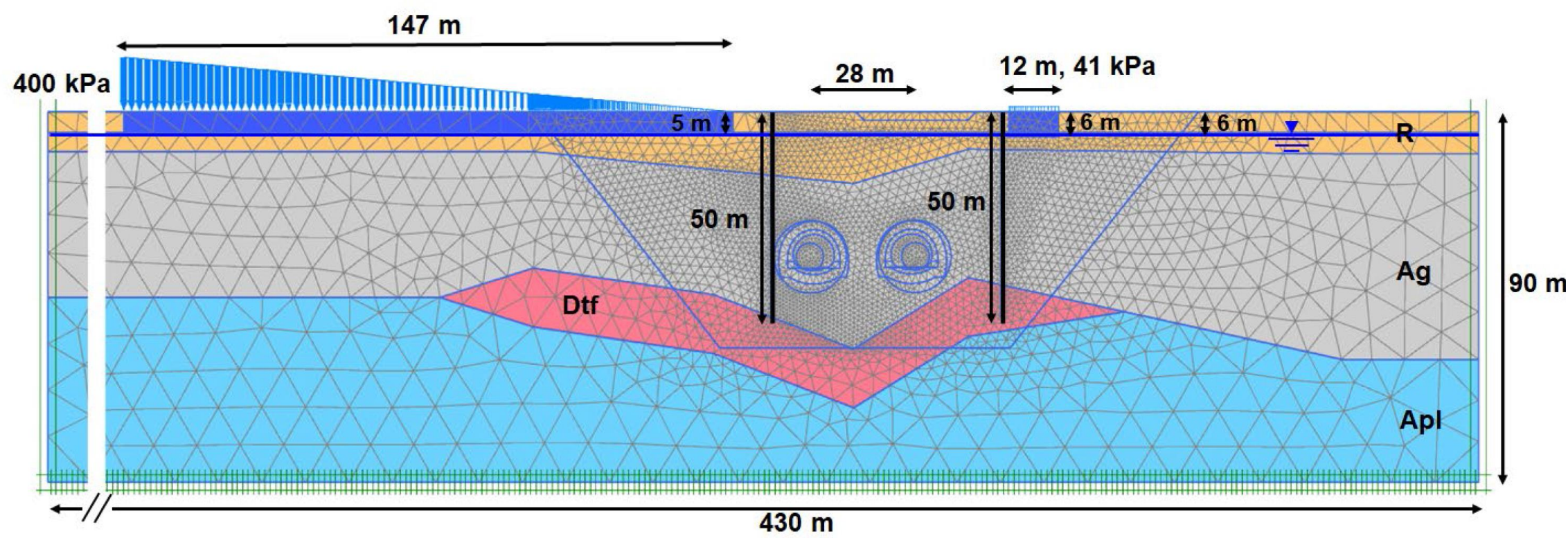
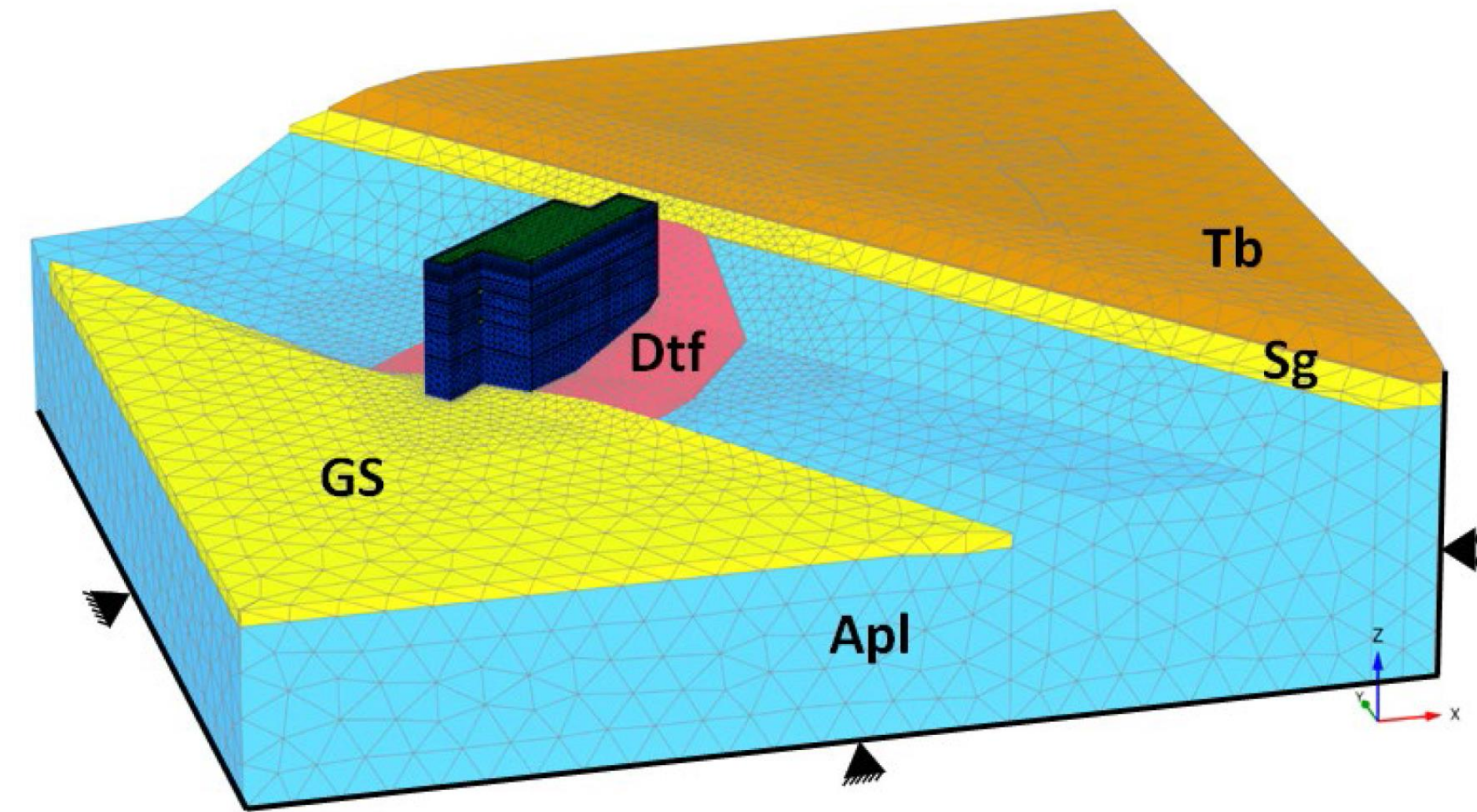
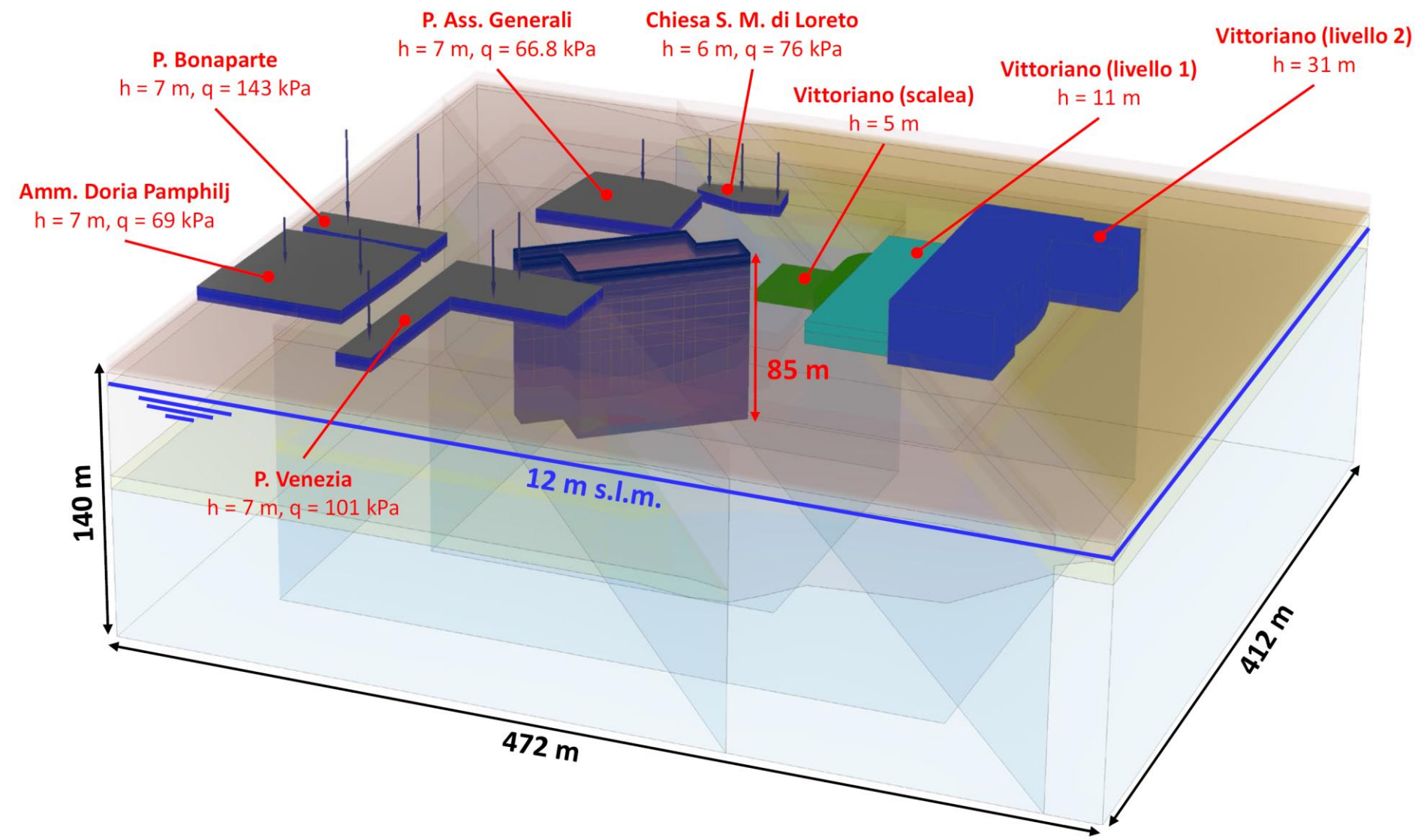


L'obiettivo delle complesse analisi d'interazione terreno - struttura, di Livello 1 e Livello 2 con l'impiego di modellazione geotecnica e strutturale di tipo 2D e 3D, è fornire un utile **contributo al progettista per le attività di propria competenza, attraverso la stesura di linee guida per la salvaguardia di ogni monumento.**

Ing. E. Romani - La stazione Venezia della Metropolitana di Roma Linea C, i principali aspetti progettuali e costruttivi



L'interazione con le pre-esistenze monumentali

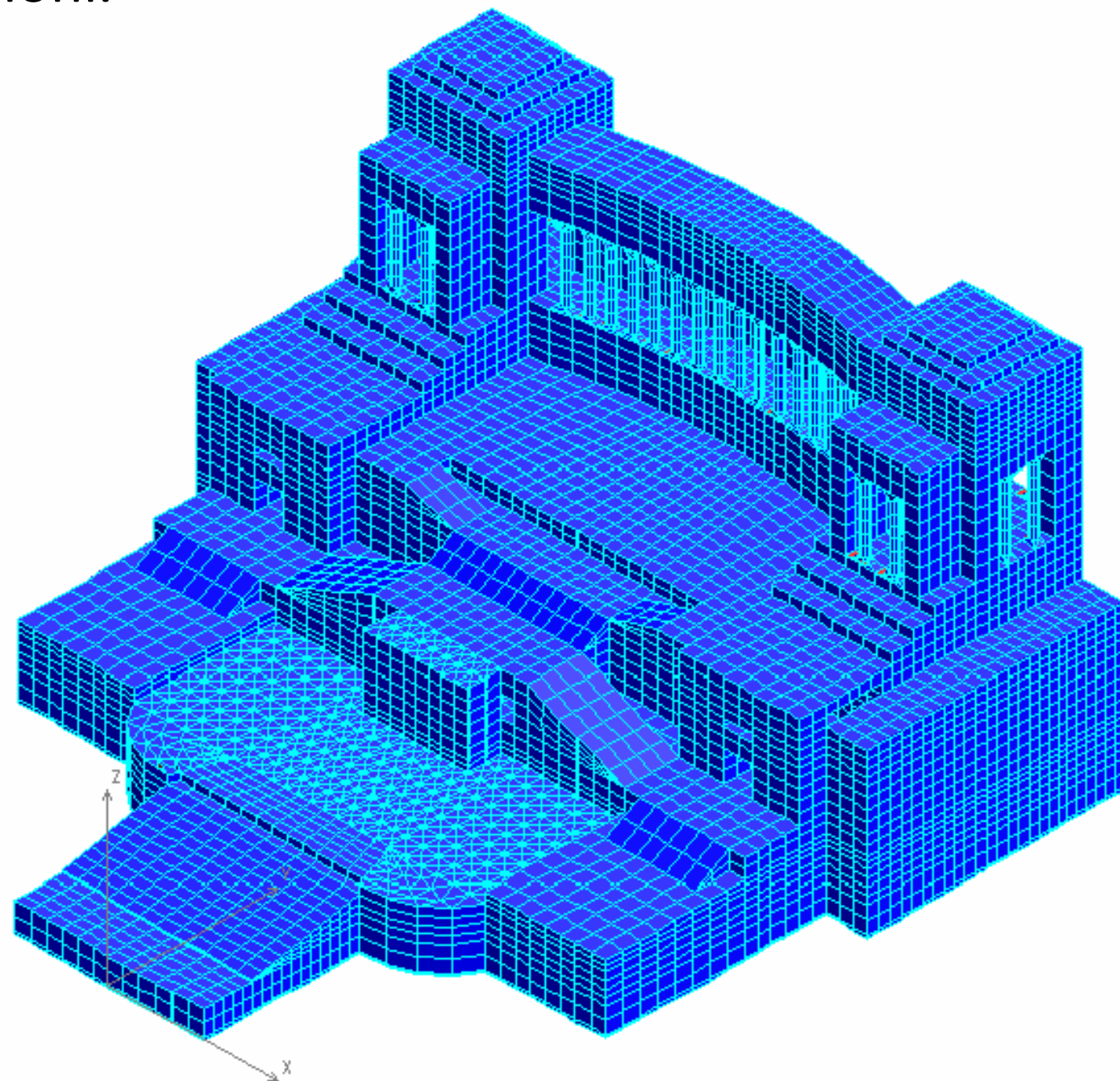


L'interazione con le pre-esistenze monumentali

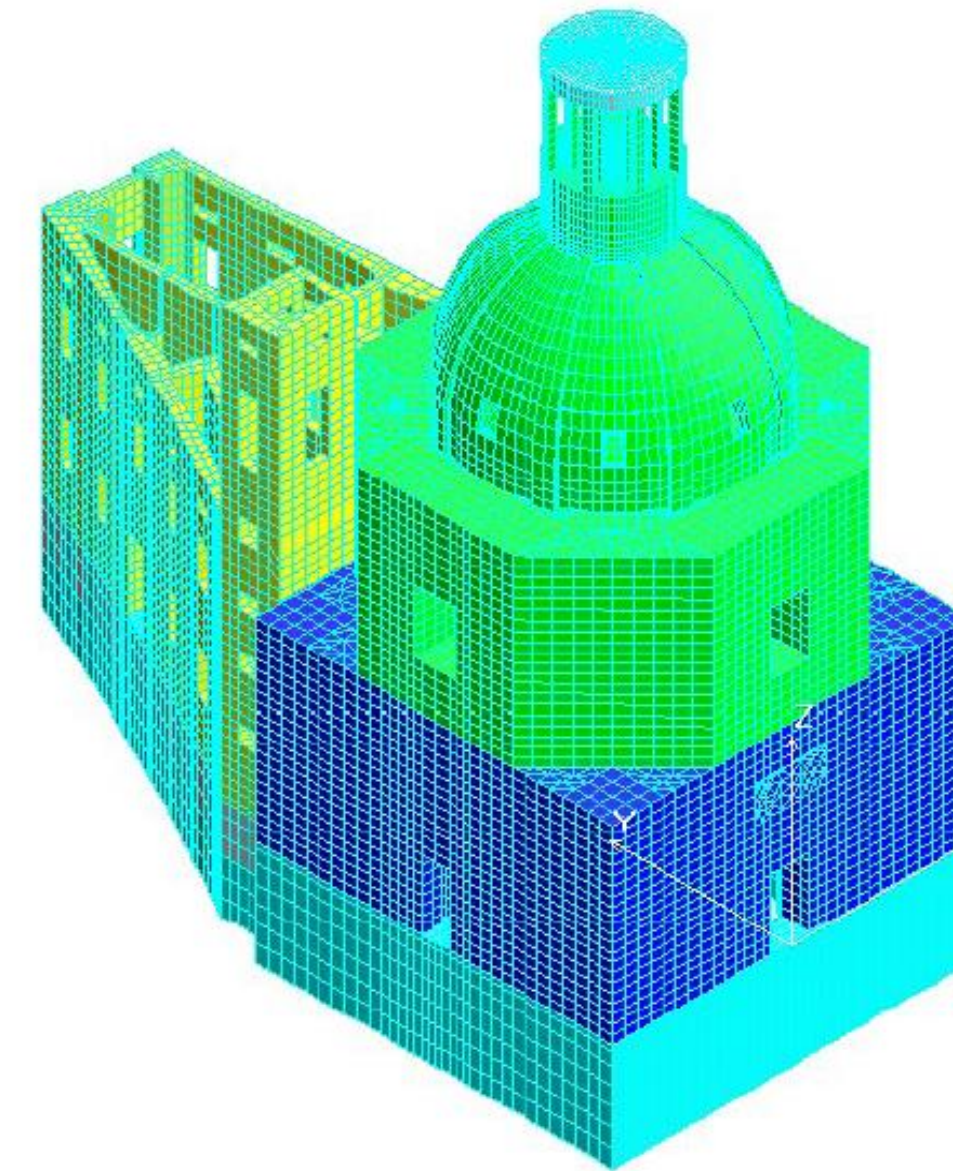
Vittoriano

Linee guida:

- Realizzazione di **un'opera di presidio costituita da una paratia di pali accostati** per lo smorzamento del potenziale bacino di subsidenza indotto dallo scavo della stazione, della galleria di banchina e della connessione pari - dispari;
- **Interventi conservativi** diffusi di risarcitura delle lesioni.



Chiesa di Santa Maria di Loreto



Linee guida:

- Realizzazione di **un'opera di presidio costituita da una paratia di pali accostati** per lo smorzamento del potenziale bacino di subsidenza indotto dallo scavo della stazione e della galleria di banchina;
- Interventi di **cerchiaggio delle murature del tamburo**;
- Interventi di **consolidamento della volta e dei setti radiali**;
- **Interventi conservativi** diffusi di risarcitura delle lesioni.

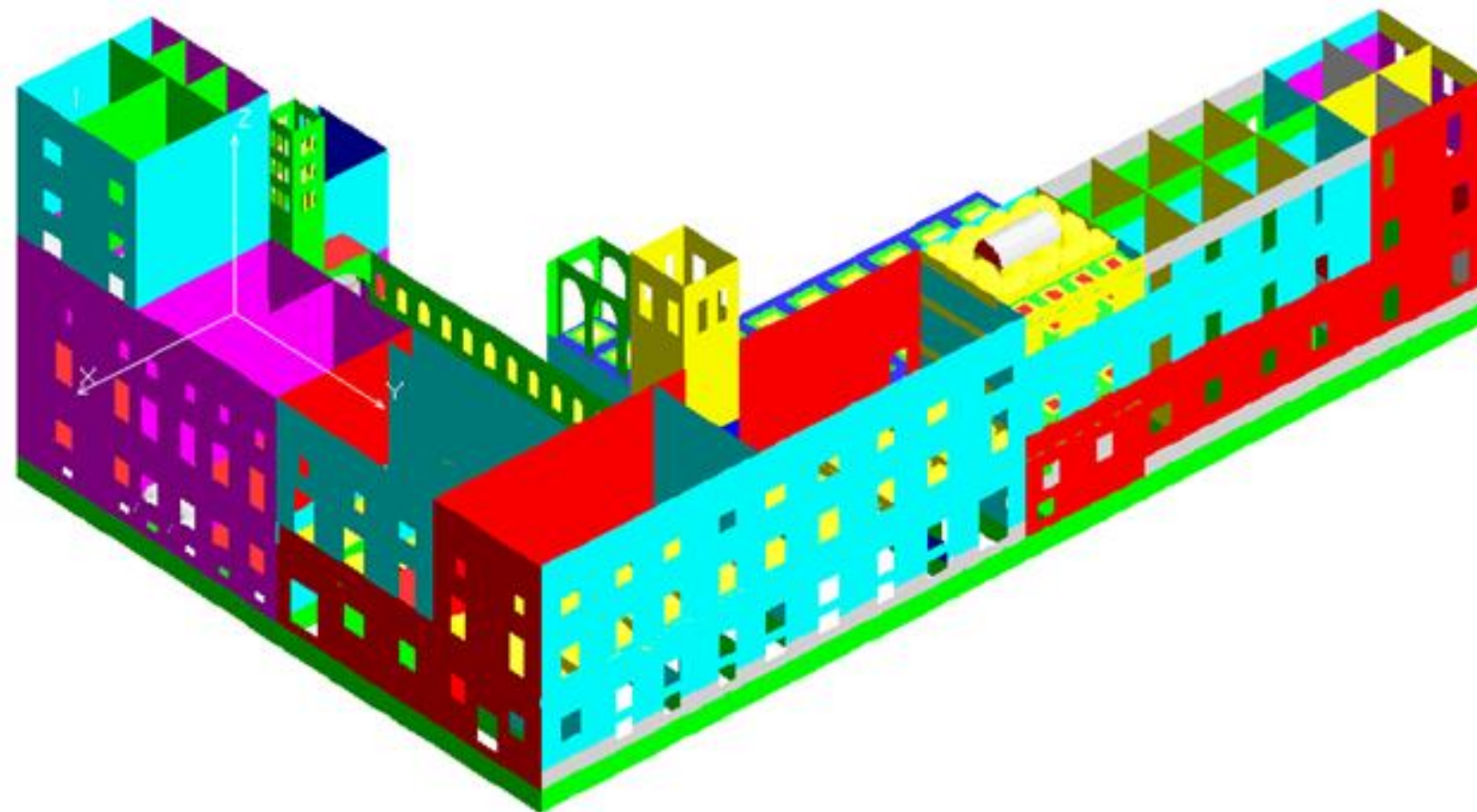


L'interazione con le pre-esistenze monumentali

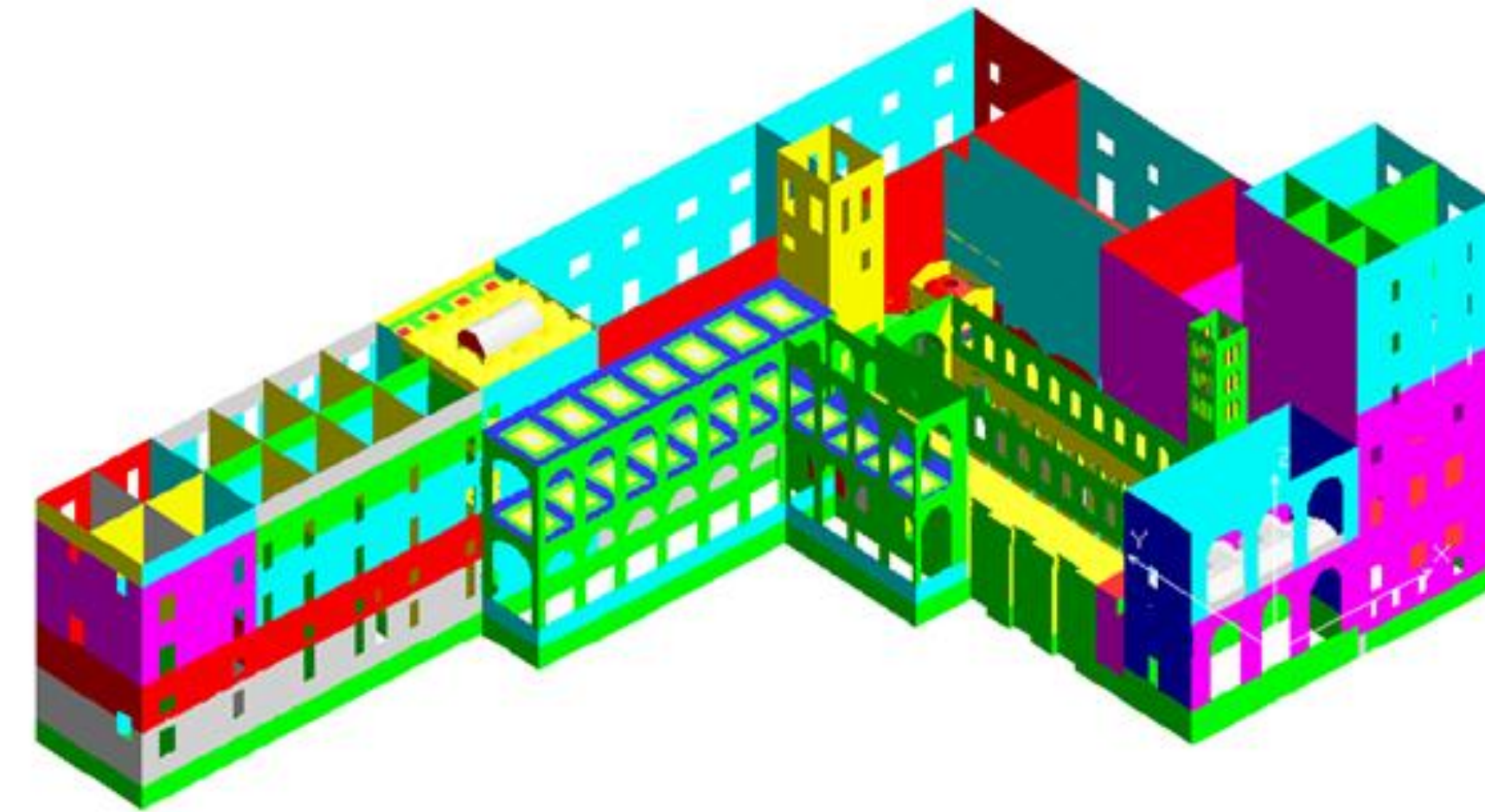
Palazzo Venezia

Linee Guida:

- Realizzazione di **diaframmi «cross-wall»** per la riduzione del potenziale bacino di subsidenza indotto dallo scavo della stazione;
- Cuciture armate di **rinforzo delle murature** per garantire la connessione;
- **Tirantature metalliche**;
- **Consolidamento** dei nodi e delle sedi di appoggio delle **capriate del tetto**;
- **Interventi conservativi** diffusi di risarcitura delle lesioni.



Basilica di San Marco

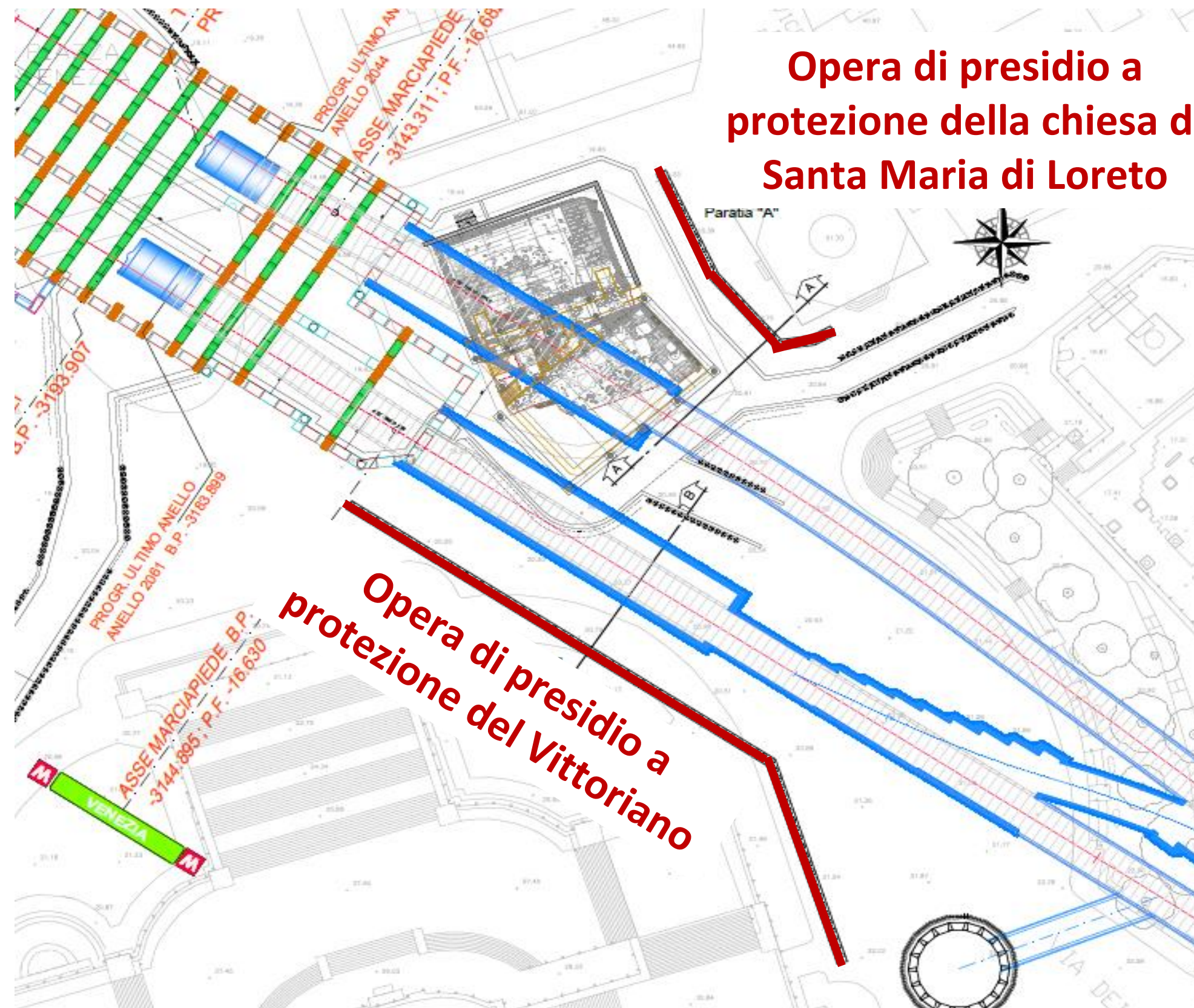


Linee Guida:

- Realizzazione di **diaframmi «cross-wall»** per la riduzione del potenziale bacino di subsidenza indotto dallo scavo della stazione;
- **Cerchiatura delle colonne** circolari in muratura;
- **Consolidamento** dei nodi e delle sedi di appoggio delle **capriate del tetto**;
- Consolidamento della **volta dell'abside**;
- **Interventi conservativi** diffusi di risarcitura delle lesioni.

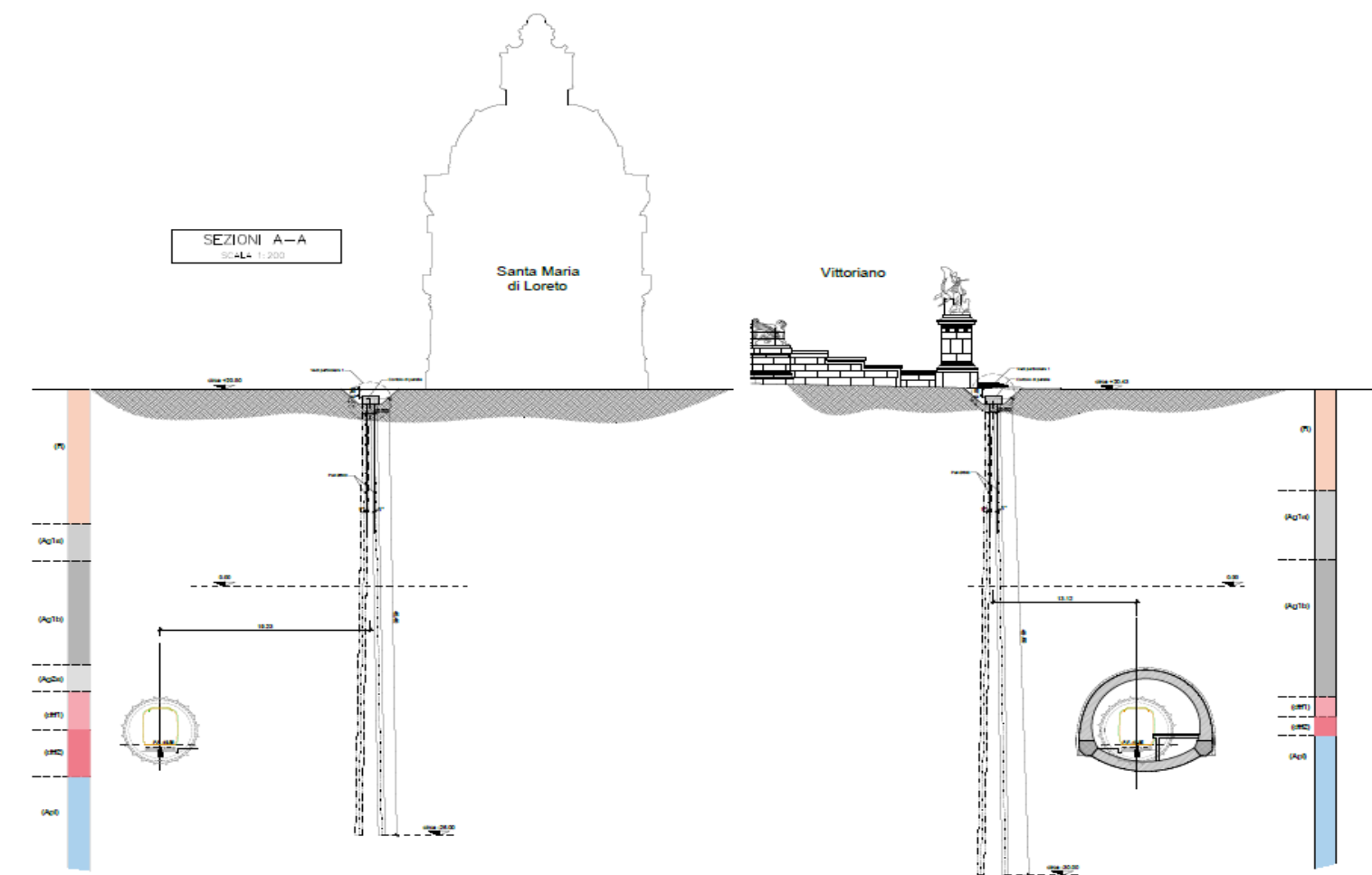
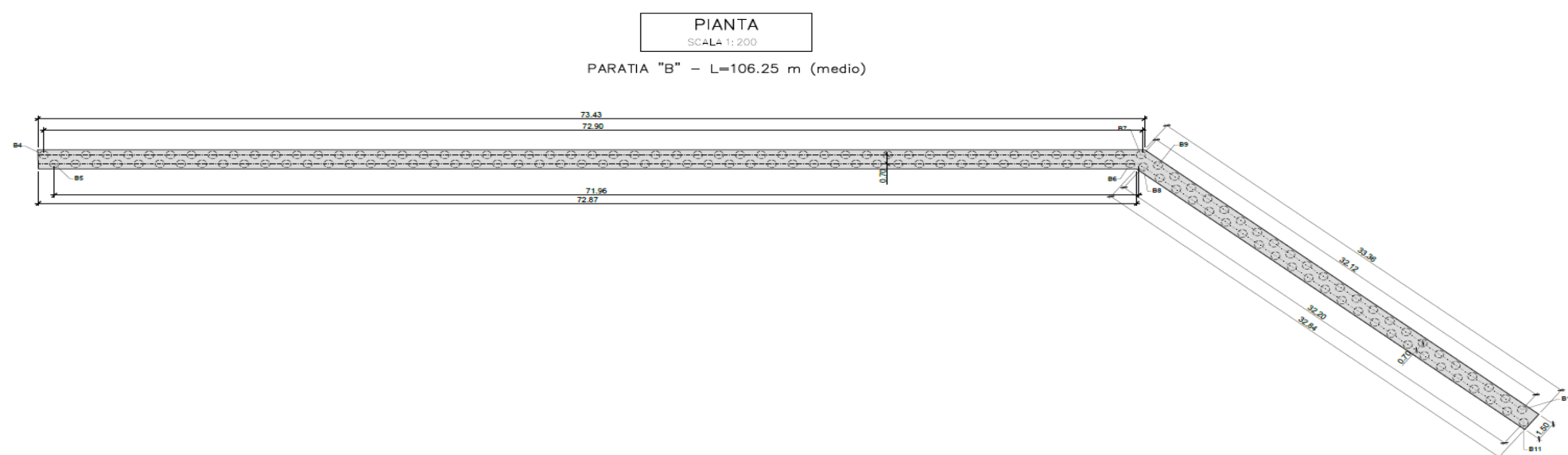


Le opere di presidio



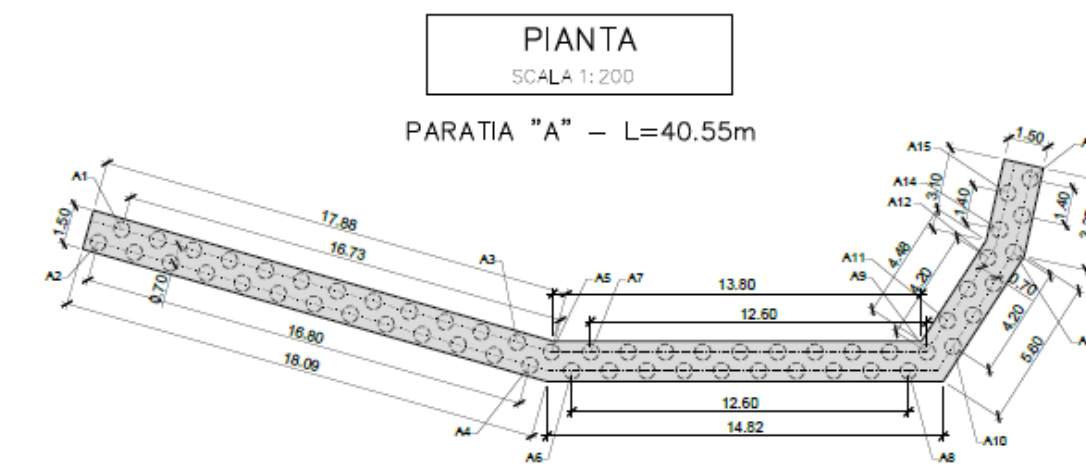
Opera di presidio a protezione della chiesa di Santa Maria di Loreto

Opera di presidio a protezione del Vittoriano

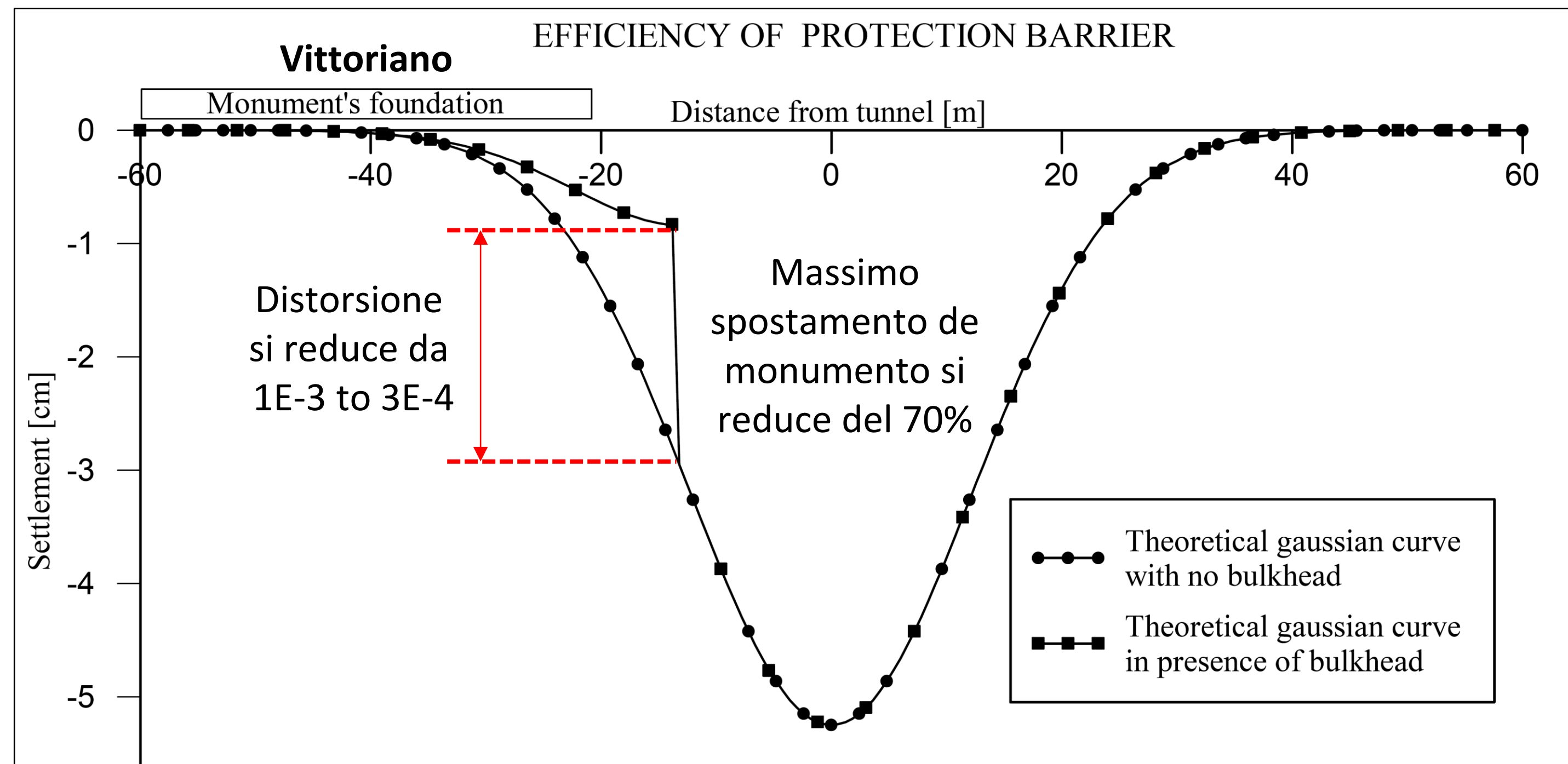
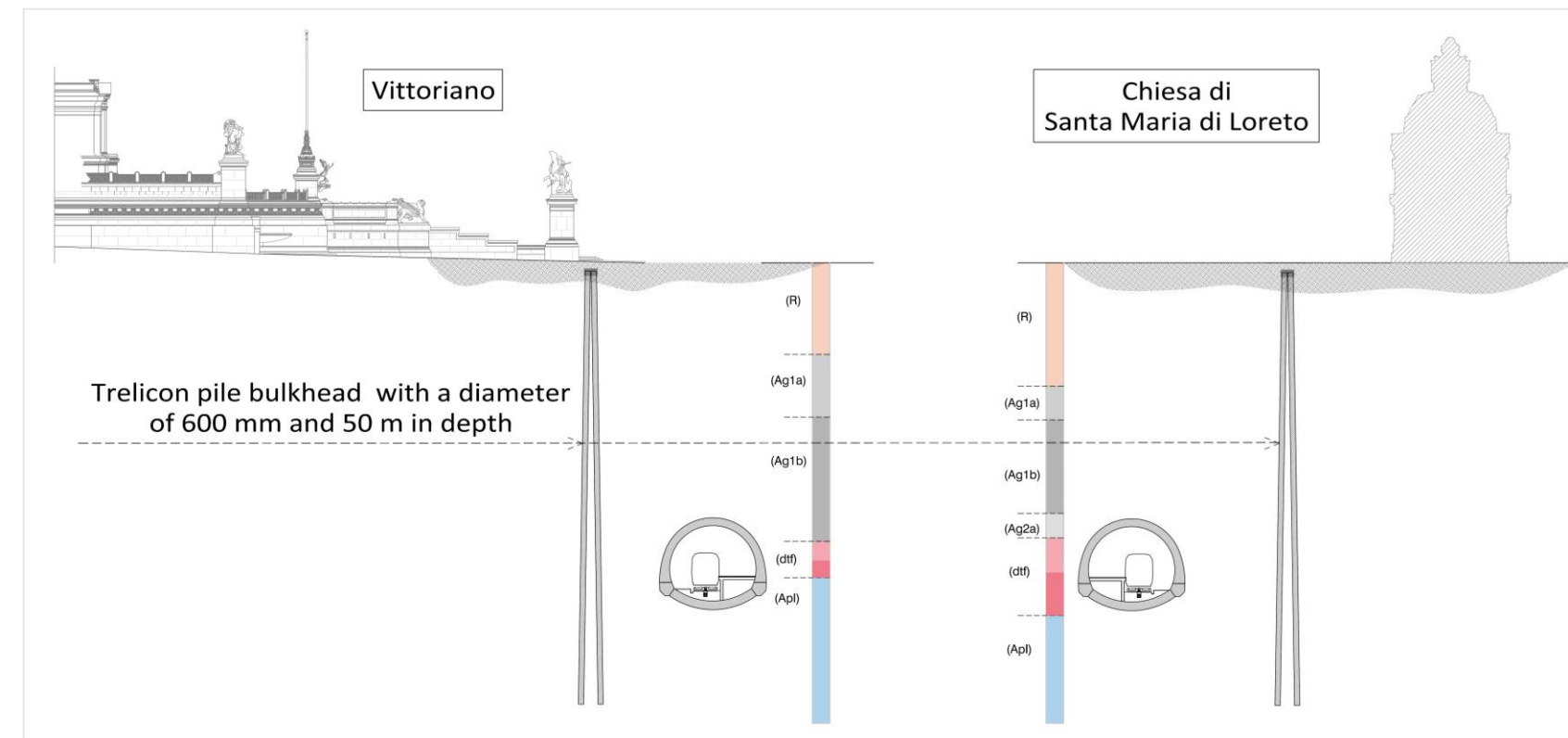


Le opere di presidio sono costituite da paratie di pali accostati a quinconce aventi un diametro \varnothing 600 e lunghezza pari a circa 45 – 50 m da p.c.

L'opera di presidio a protezione del Vittoriano ha uno sviluppo planimetrico di circa 100 m mentre quella a protezione della chiesa di Santa Maria di Loreto circa 50 m.



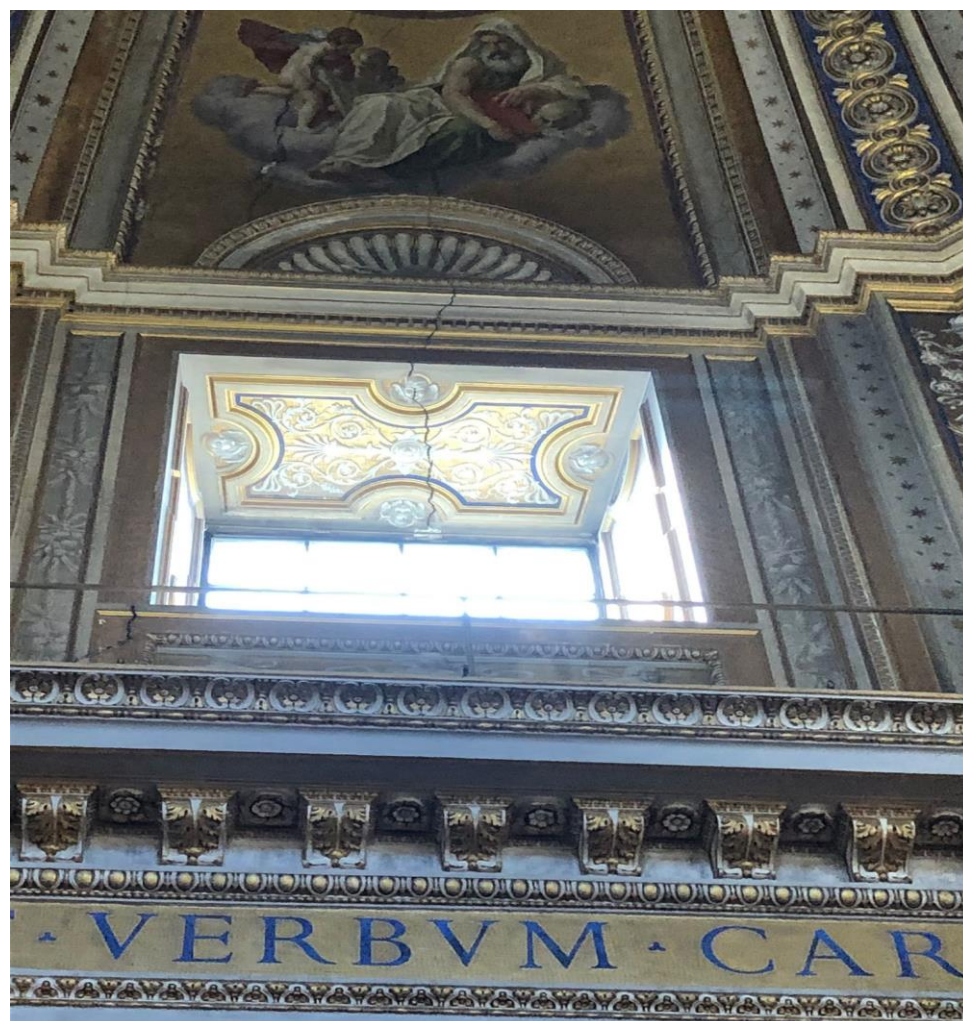
Le opere di presidio



La Chiesa di Santa Maria di Loreto



Spanciamento della parete



Lesione sub verticale apertura



Lesione sub verticale tamburo interno

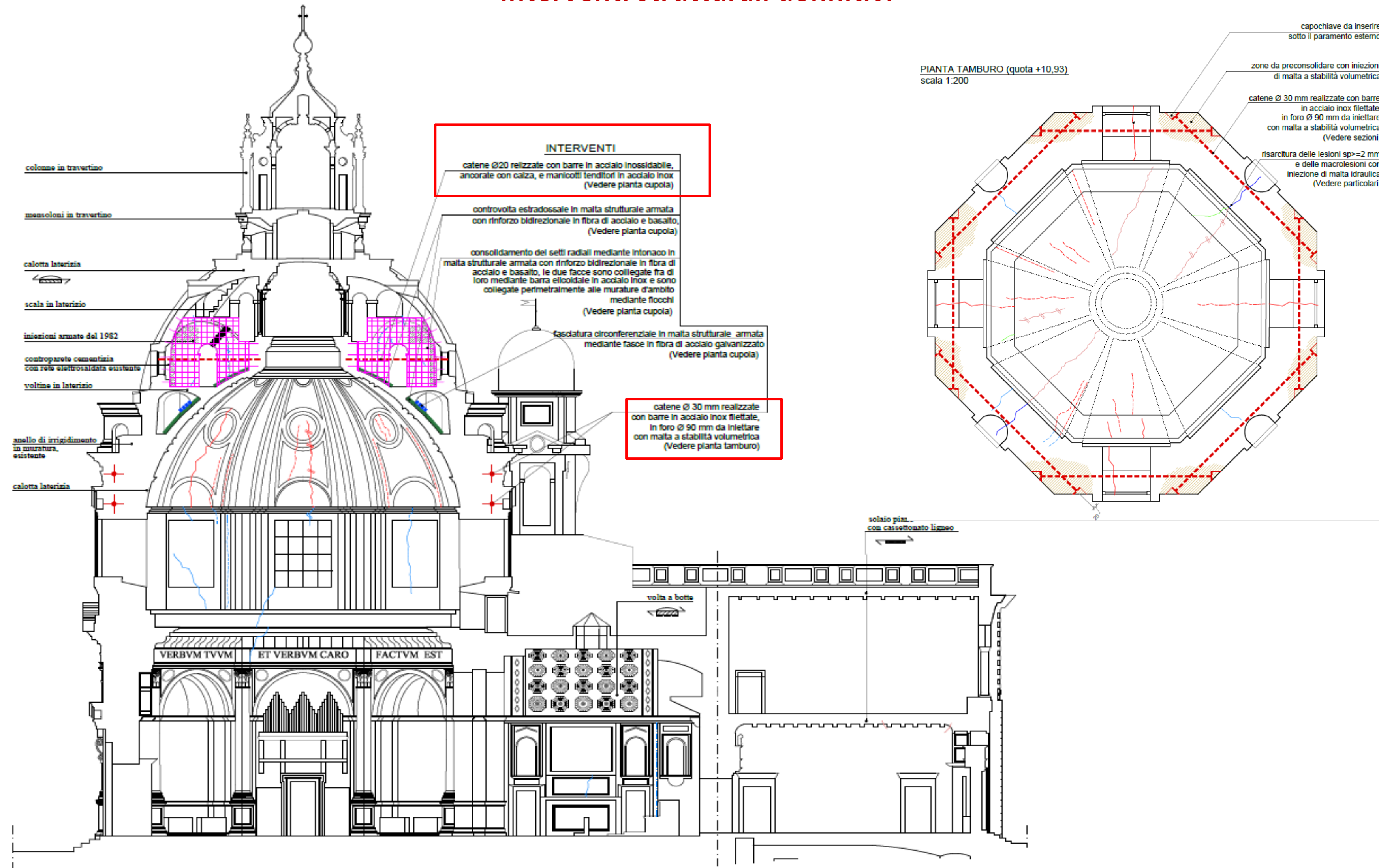


Lesione verticale tamburo interno



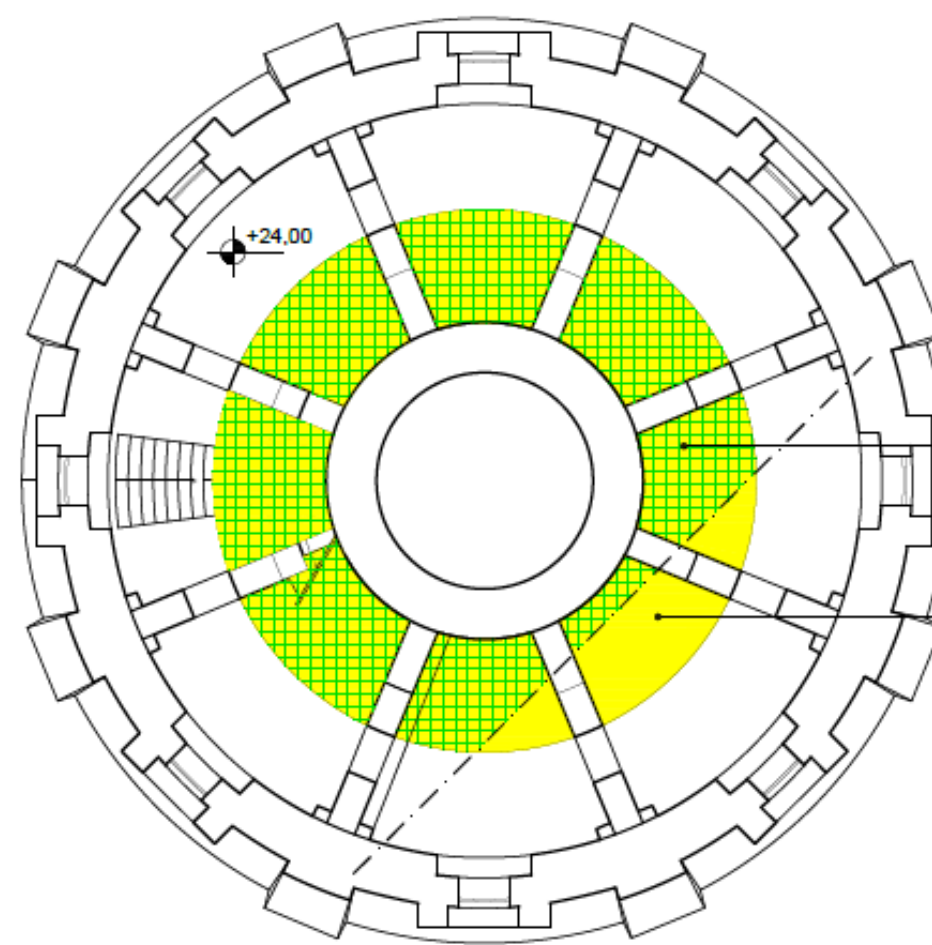
La Chiesa di Santa Maria di Loreto

Interventi strutturali definitivi



La Chiesa di Santa Maria di Loreto

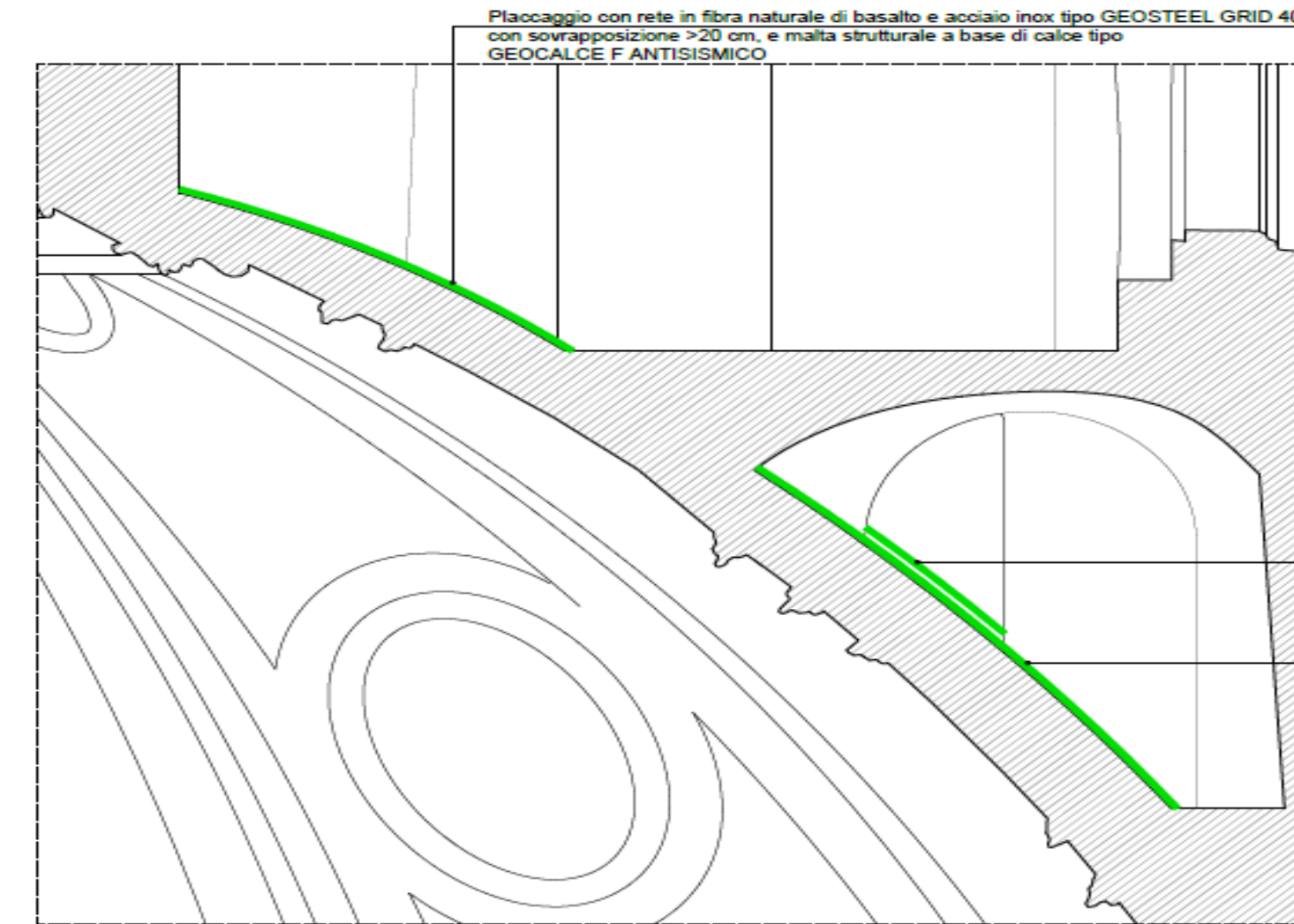
Interventi strutturali definitivi



Placcaggio con rete in fibra naturale di basalto e acciaio inox tipo GEOSTEEL GRID 400, con sovrapposizione >20 cm, e malta a base di calce tipo GEOCALCE F ANTISISMICO

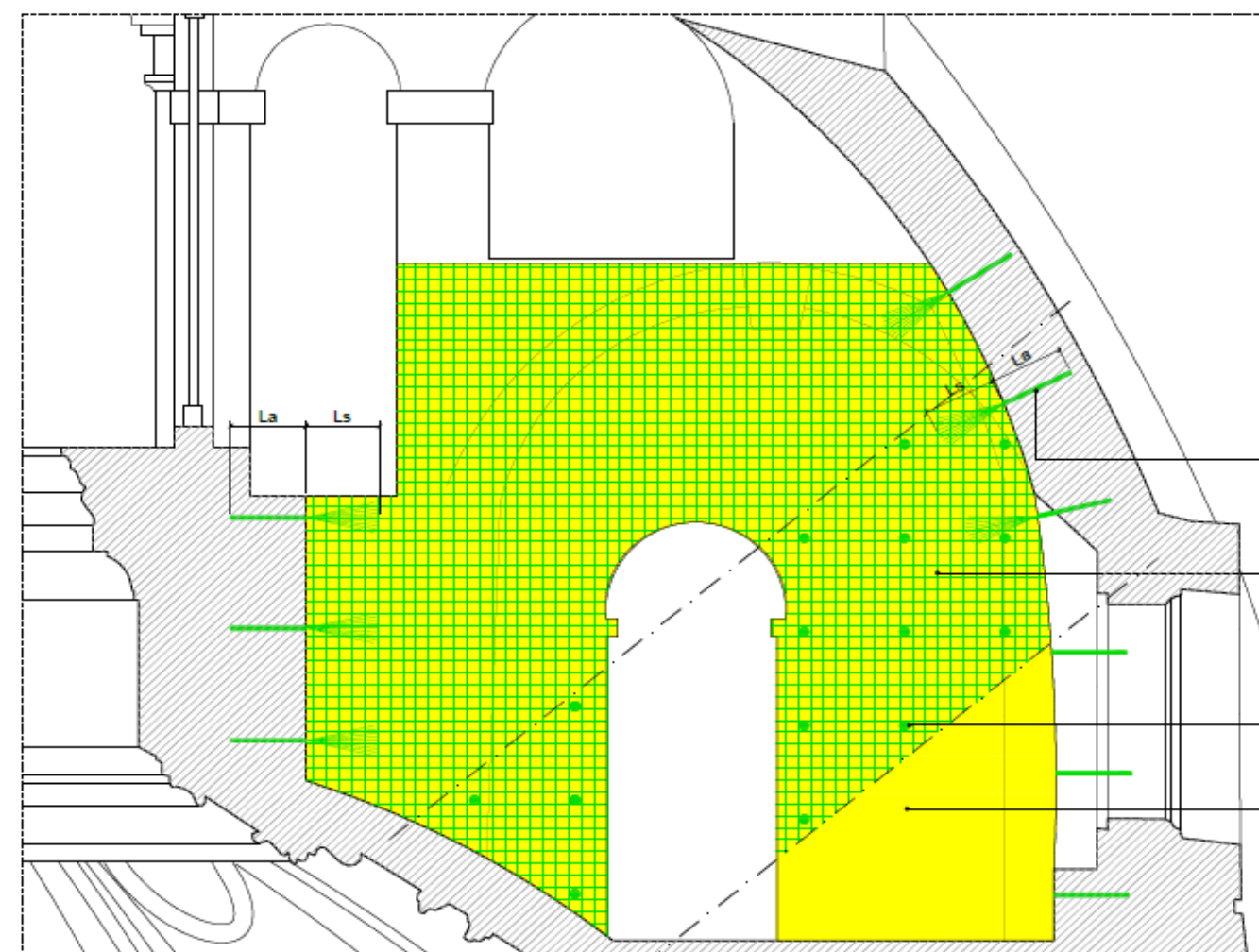
Rasatura finale protettiva con malta tipo GEOCALCE F ANTISISMICO (spessore medio 2-5 mm), per inglobare il rinforzo e chiudere eventuali vuoti

PIANTA A QUOTA +24.00 m



SEZIONE TRASVERSALE DELLA CUPOLA
Scala 1:20

CON RINFORZO BIDIREZIONALE IN FIBRA DI ACCIAIO E BASALTO E MALTA STRUTTURALE A BASE CALCE
scala 1:20



Fasi operative:

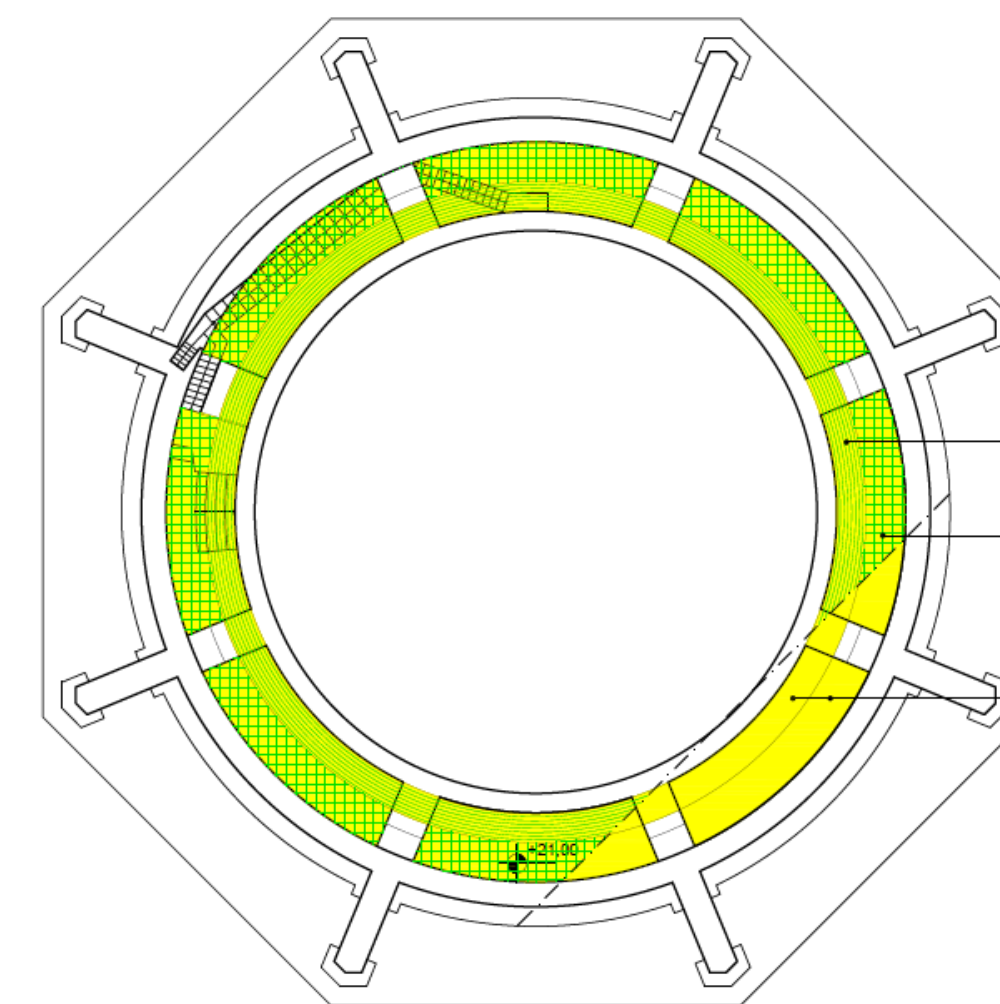
- Preparazione del substrato: pulizia della superficie del maschio murario, eventuale regolarizzazione della superficie con GEOCALCE F ANTISISMICO;
- Stesura sul supporto di uno spessore medio di 3-5 mm di malta a base di calce tipo GEOCALCE F ANTISISMICO per applicare ed inglobare la rete di rinforzo;
- Applicazione di rete in fibra naturale di basalto e acciaio inox tipo GEOSTEEL GRID 400 sull'estadosso della cupola, con sovrapposizione >20 cm;
- Applicazione di barre elicoidali tipo STEEL DRYFIX 10 inserite a secco per cuocere il setto murario;
- Applicazione di connettori meccanici a fiocco tipo GEOSTEEL G600;
- Rasatura finale protettiva con malta tipo GEOCALCE F ANTISISMICO (spessore medio 2-5 mm), per inglobare il rinforzo e chiudere eventuali vuoti. È necessario garantire la contemporanea maturazione dello strato iniziale e di quello finale che va quindi applicato quando il precedente è ancora umido.

Connettori meccanici a fiocco tipo GEOSTEEL G600
Lunghezza di sovrapposizione $L_s = 50$ cm
Lunghezza di ancoraggio $L_a = 50$ cm

Placcaggio con rete in fibra naturale di basalto e acciaio inox tipo GEOSTEEL GRID 400, con sovrapposizione >20 cm, e malta strutturale a base di calce tipo GEOCALCE F ANTISISMICO

Barre elicoidali tipo STEEL DRYFIX 10 inserite a secco per cuocere il setto murario, interasse 50x50 cm

Rasatura finale protettiva con malta tipo GEOCALCE F ANTISISMICO (spessore medio 2-5 mm), per inglobare il rinforzo e chiudere eventuali vuoti



Fasciatura circonferenziale con tessuto in fibra di acciaio galvanizzato tipo GEOSTEEL G600 e malta a base di calce tipo GEOCALCE F ANTISISMICO

Placcaggio con rete in fibra naturale di basalto e acciaio inox tipo GEOSTEEL GRID 400, con sovrapposizione >20 cm, e malta a base di calce tipo GEOCALCE F ANTISISMICO

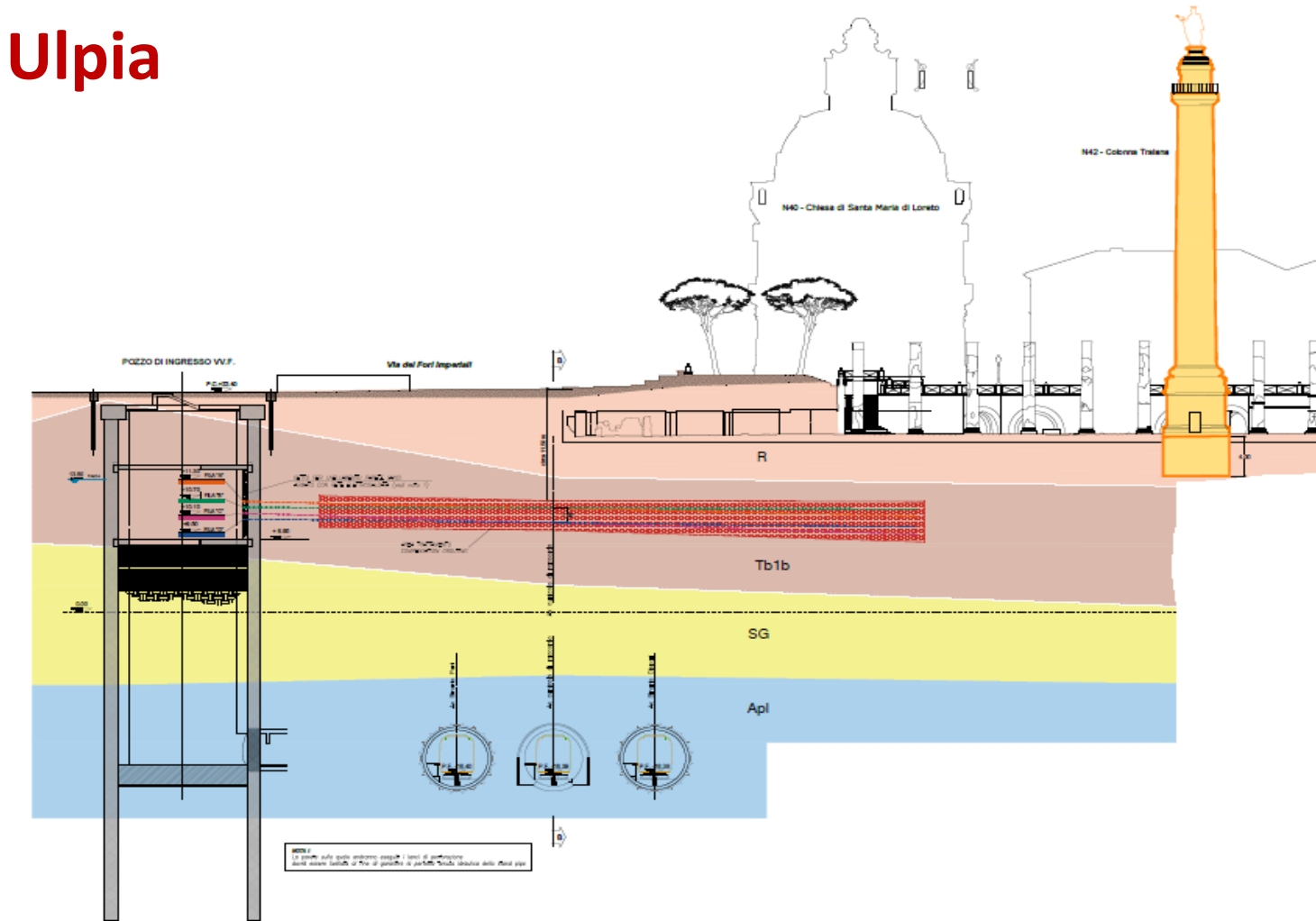
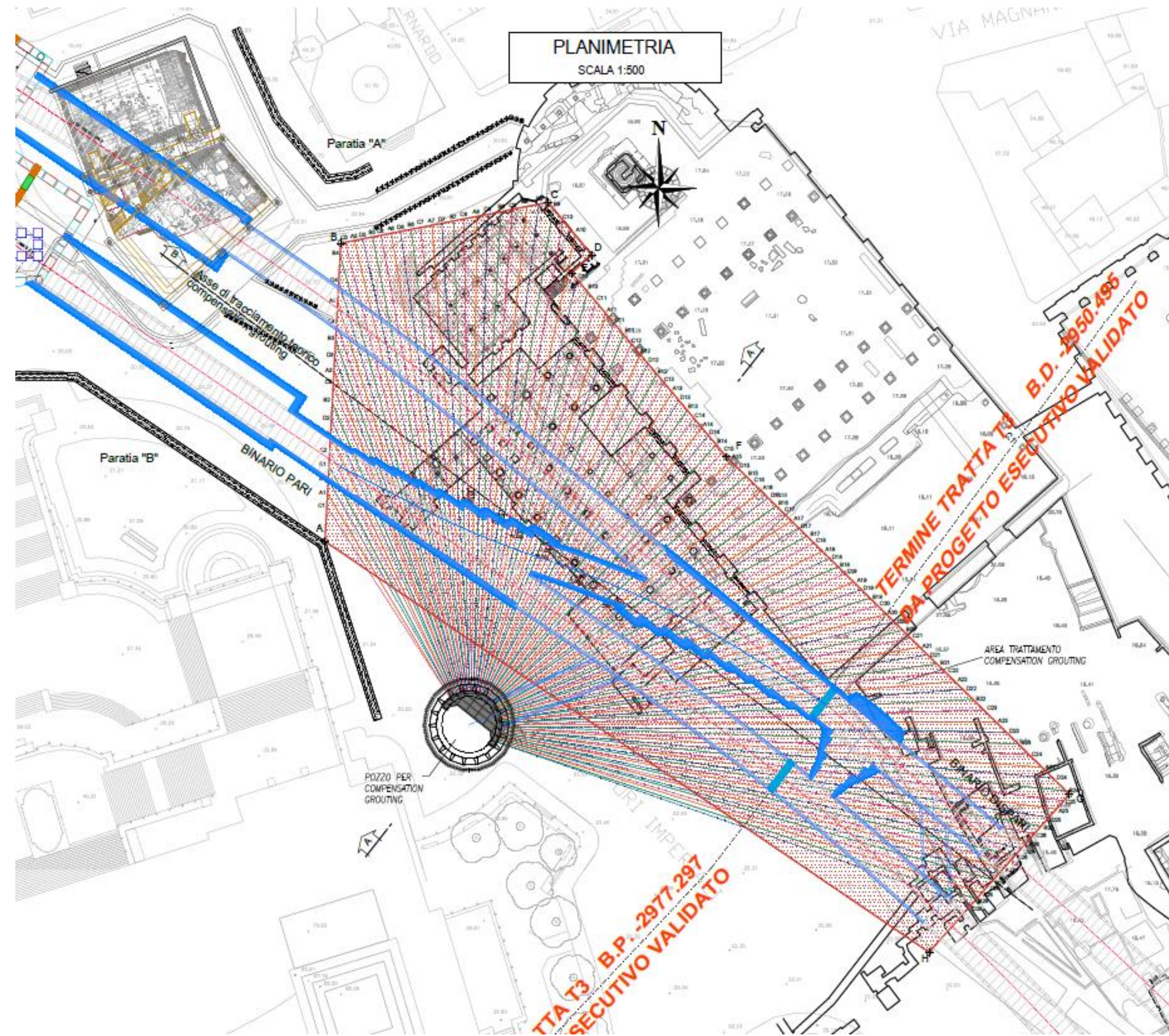
Rasatura finale protettiva con malta tipo GEOCALCE F ANTISISMICO (spessore medio 2-5 mm), per inglobare il rinforzo e chiudere eventuali vuoti

PIANTA A QUOTA +21.00 m



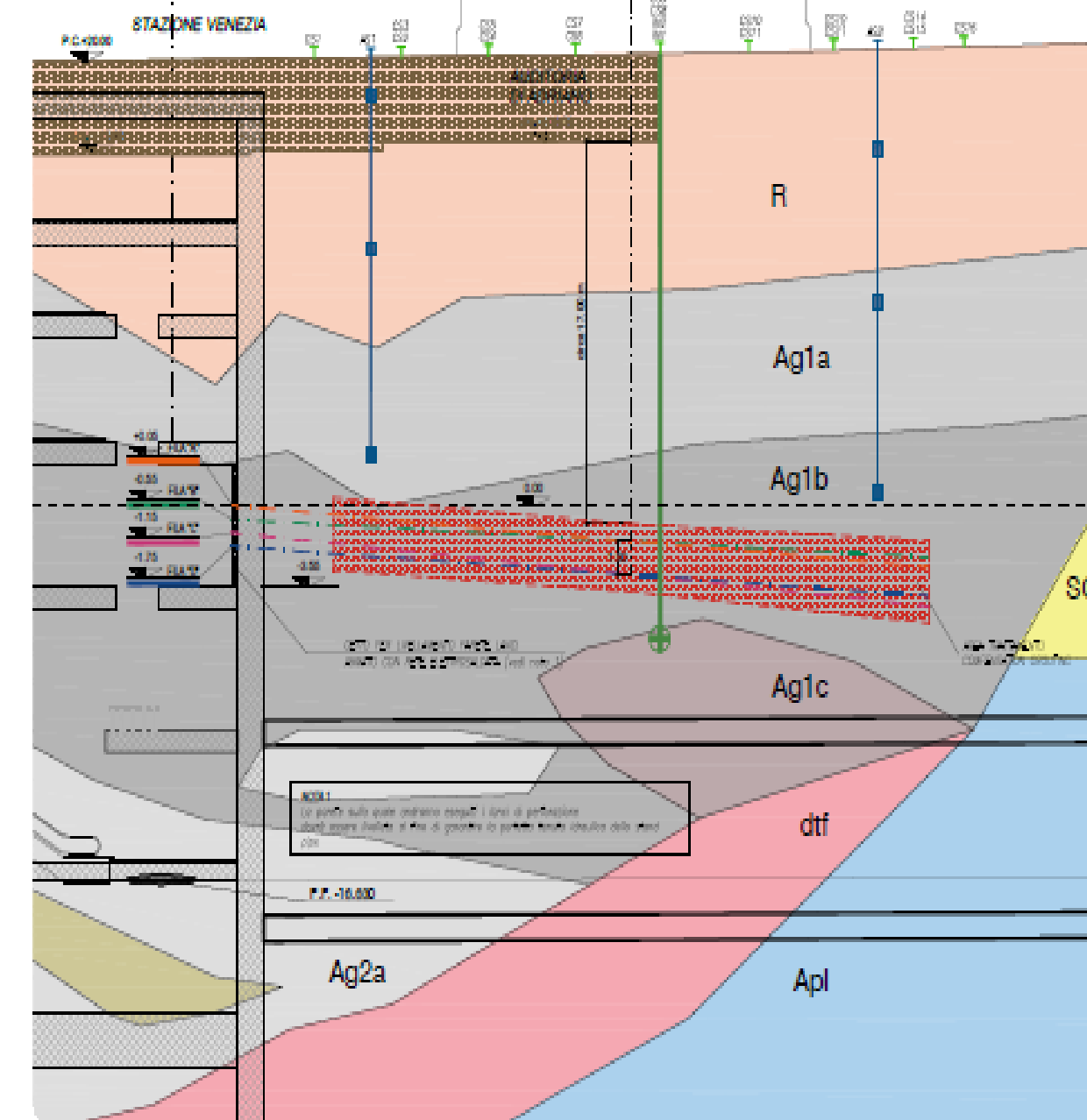
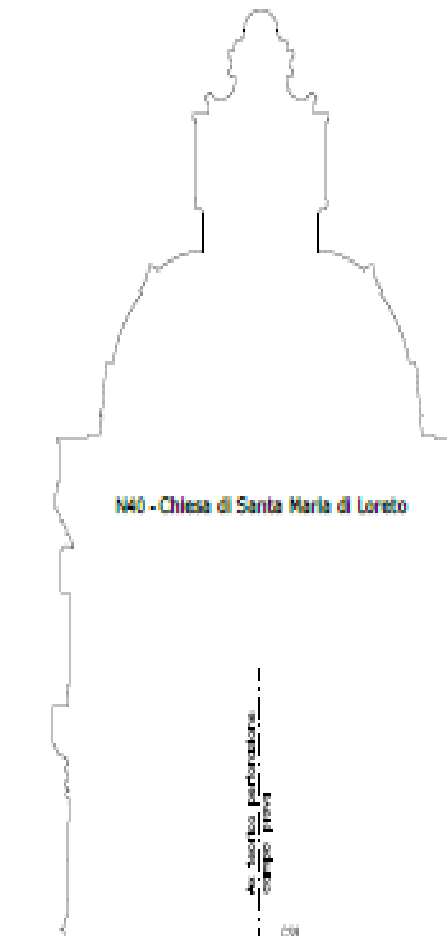
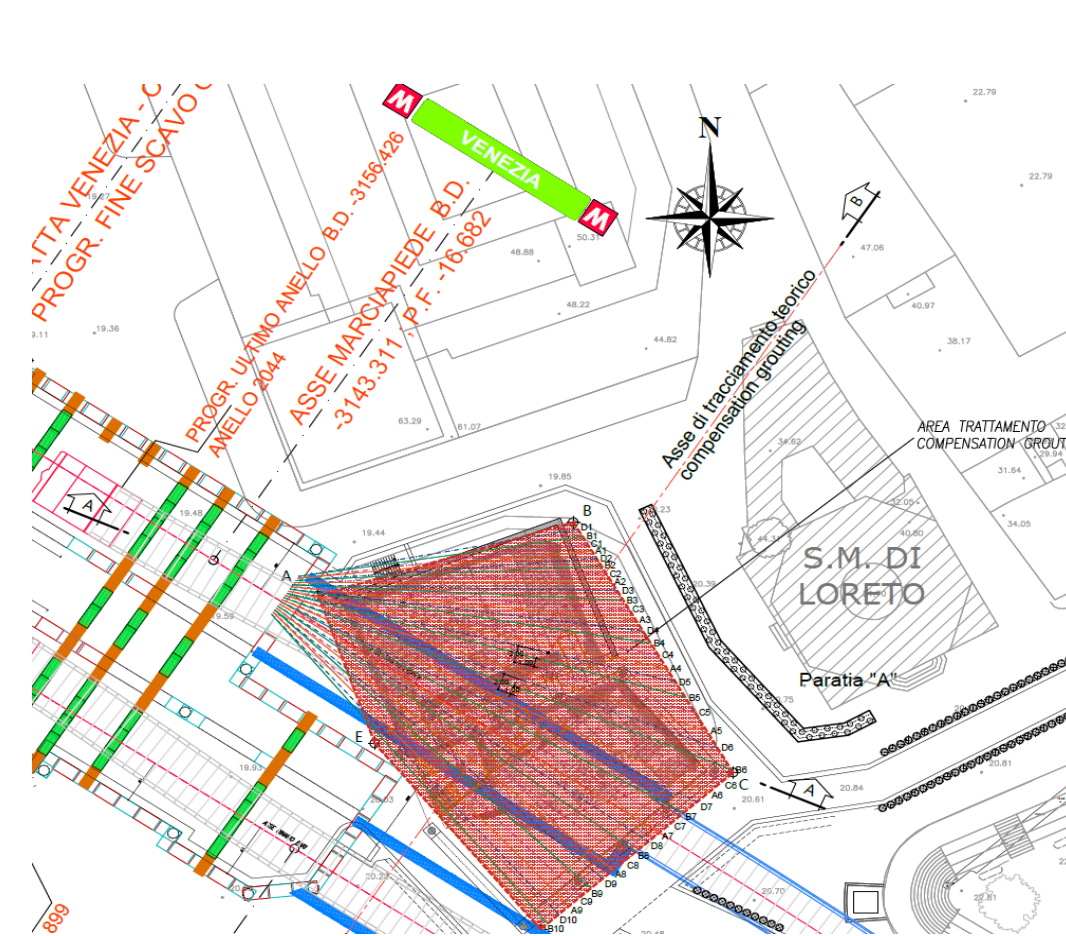
Il Compensation Grouting

Foro di Traiano: Basilica Ulpia



Il Compensation Grouting

Auditoria di Adriano



Ing. E. Romani - La stazione Venezia della Metropolitana di Roma Linea C, i principali aspetti progettuali e costruttivi



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



GEEG
GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL
ENGINEERING GROUP

Avanzamento dei lavori



Metro C
La storia
costruisce futuro



Ing. E. Romani - La stazione Venezia della Metropolitana di Roma Linea C, i principali aspetti progettuali e costruttivi

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



GEEG
GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL
ENGINEERING GROUP

Grazie per l'attenzione



Metro C
La storia
costruisce futuro