

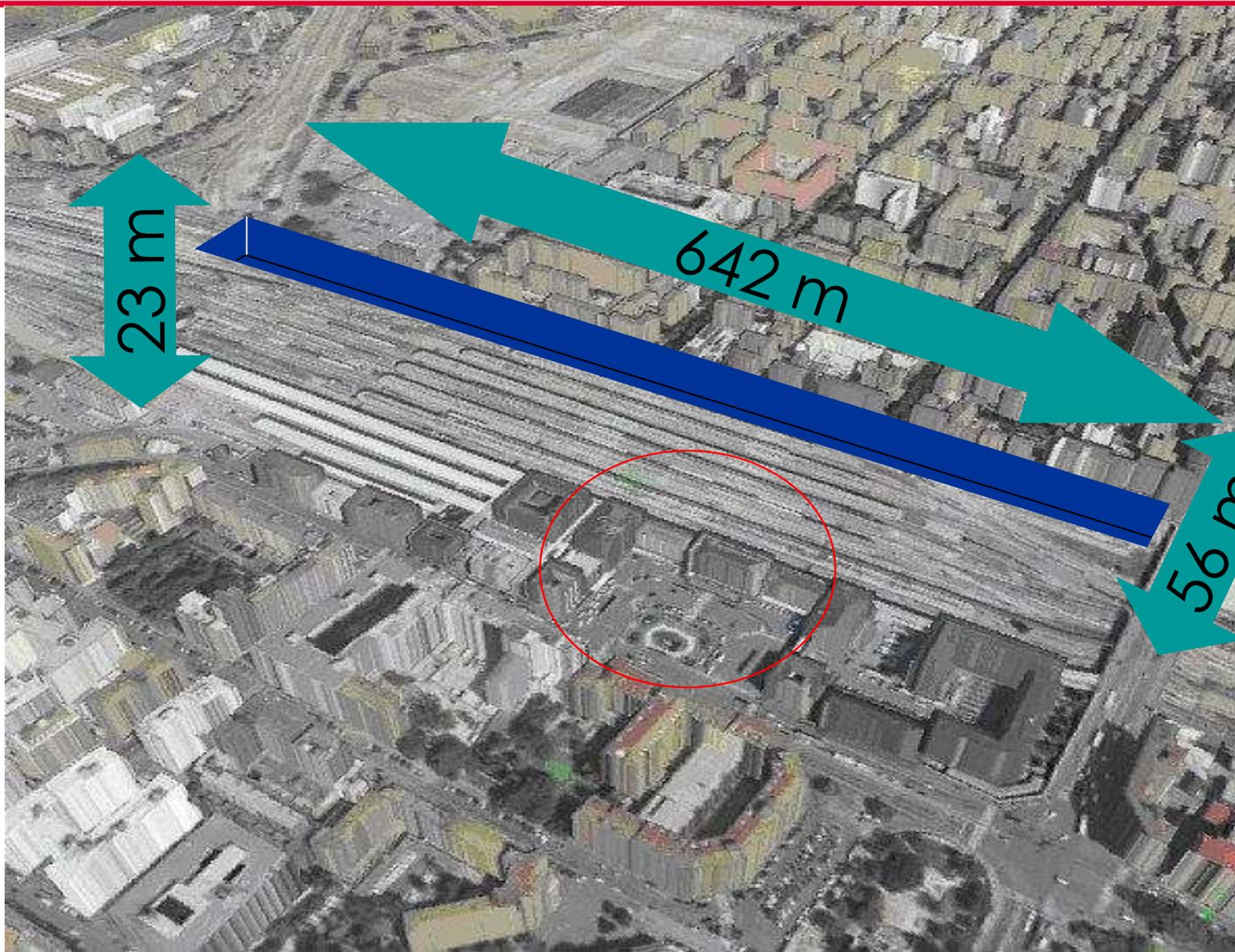


La stazione AV-AC di Bologna

Milano, 23 maggio 2013

F. Sacchi, L. Utzeri, S. Ciufegni

La Stazione AV di Bologna



Dimensioni del Camerone:

Lunghezza: 642 m

Larghezza: 56 m
- utile interna: 41 m

Profondità: 23 m

La Stazione AV di Bologna – Il contesto urbano



La Stazione AV di Bologna – Il Layout funzionale

Atrio via Carracci

In superficie

Treni regionali e metropolitani

Kiss & Ride (-7 m)

Hall AV (-15 m)

In sotterranea (-23 m)

treni AV

La Stazione AV di Bologna: il piano dei binari AV



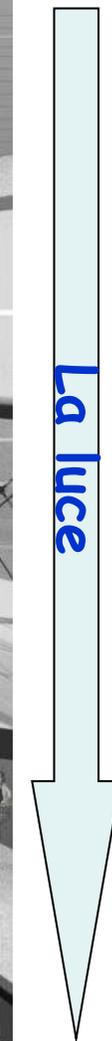
Il piano hall AV: attesa e servizi al pubblico



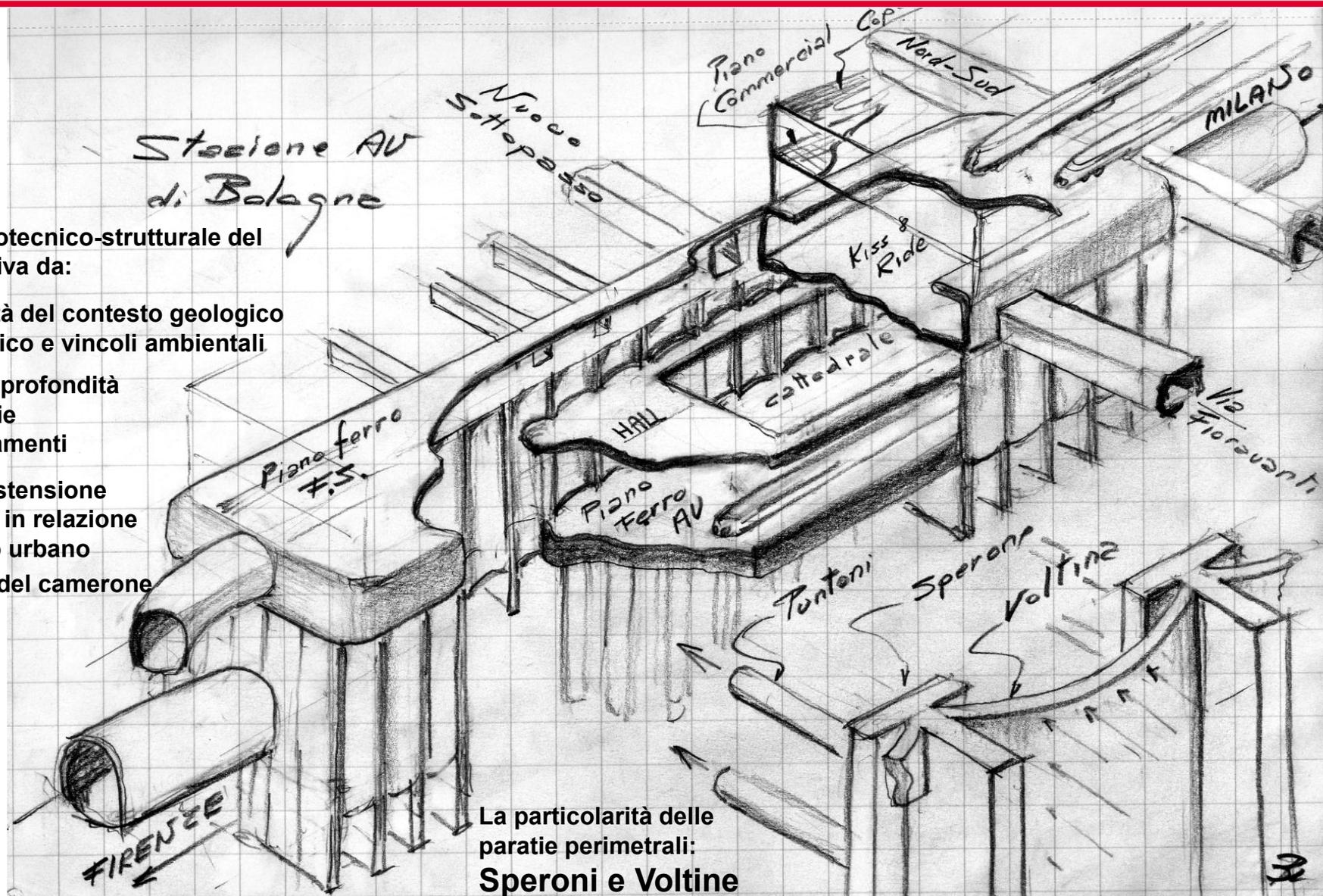
Le biglietterie

Ai binari: le scale mobili

Verticalità, la cattedrale



La Stazione AV di Bologna – Il camerone



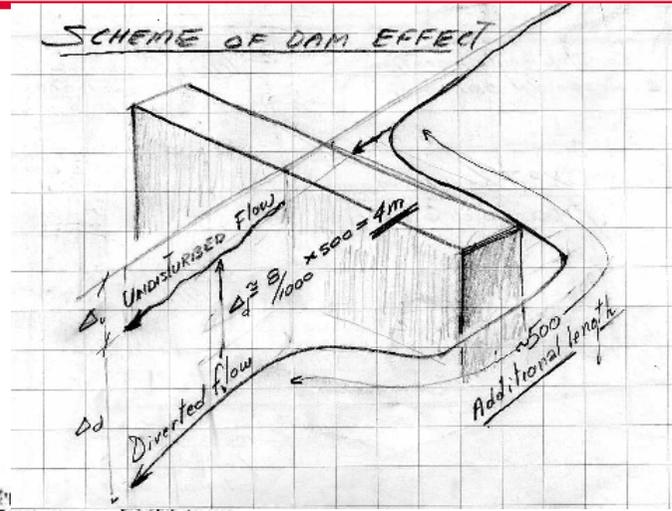
La particolarità delle paratie perimetrali:
Speroni e Voltine

L'impianto geotecnico-strutturale del camerone deriva da:

1. complessità del contesto geologico idrogeologico e vincoli ambientali
 - limiti alla profondità delle paratie
 - consolidamenti
2. notevole estensione degli scavi in relazione al contesto urbano
 - rigidità del camerone

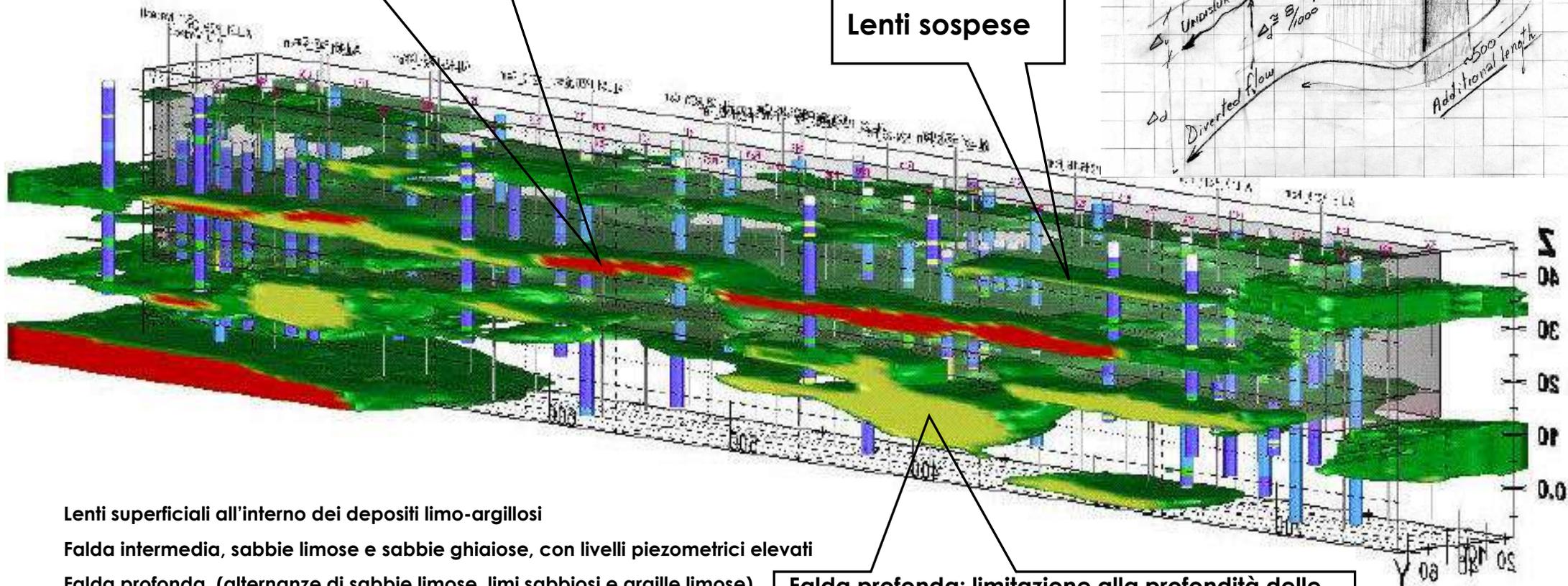
La Stazione AV di Bologna – Il contesto geologico e idrogeologico

Prevalenza di terreni limo-argillosi con presenza di livelli e strati di terreno granulare sabbioso-limosi e ghiaiosi in matrice limo-sabbiosa sede di falda



Falda intermedia: by-pass idraulico

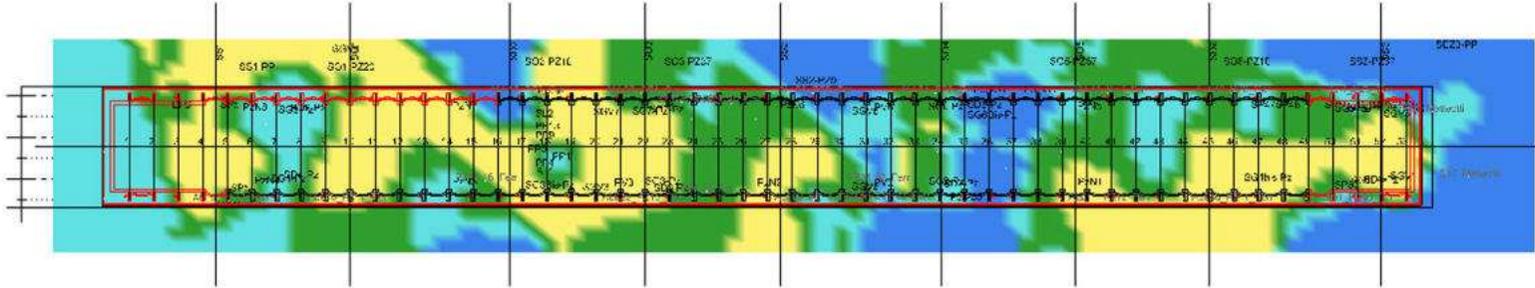
Lenti sospese



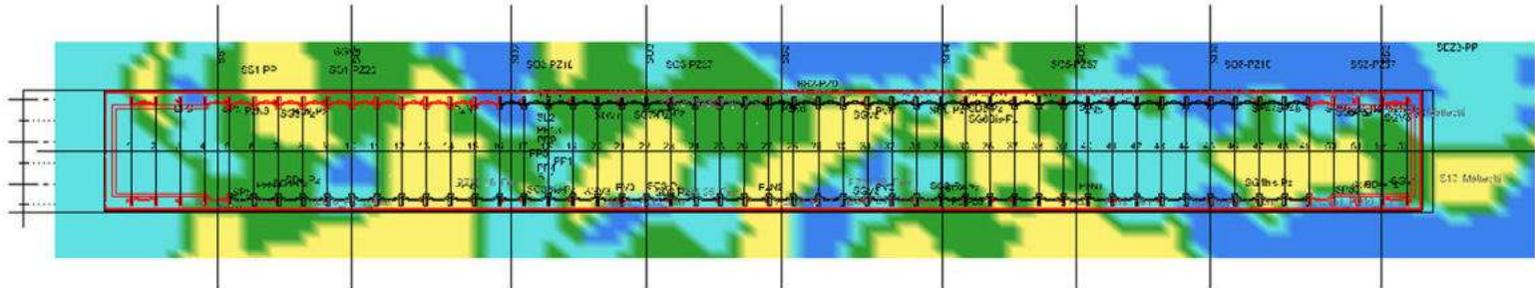
Falda profonda: limitazione alla profondità delle paratie

- Lenti superficiali all'interno dei depositi limo-argillosi
- Falda intermedia, sabbie limose e sabbie ghiaiose, con livelli piezometrici elevati
- Falda profonda, (alternanze di sabbie limose, limi sabbiosi e argille limose)
- Acquifero principale profondo (corpi sabbioso-ghiaiosi) Riserva idrica Non deve essere interferita

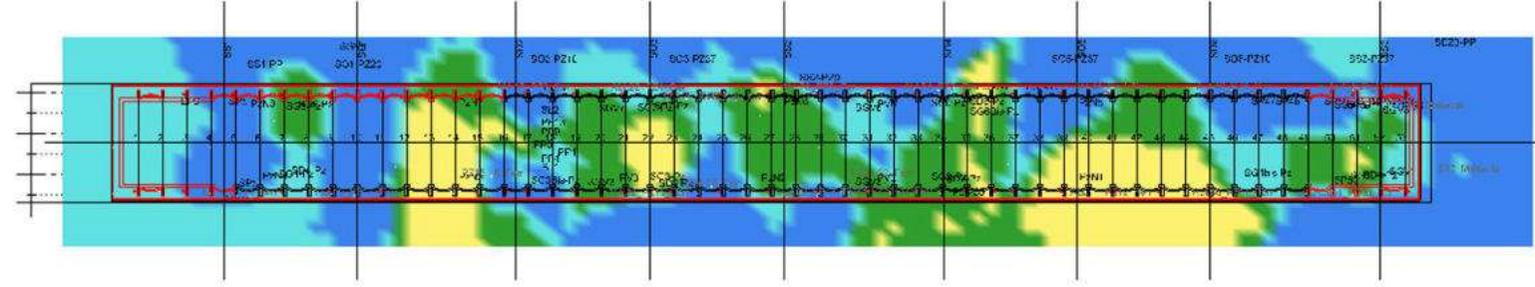
La Stazione AV di Bologna – Il contesto geologico e idrogeologico



Sezione Quota = 12.0 m s.l.m.



Sezione Quota = 14.0 m s.l.m.

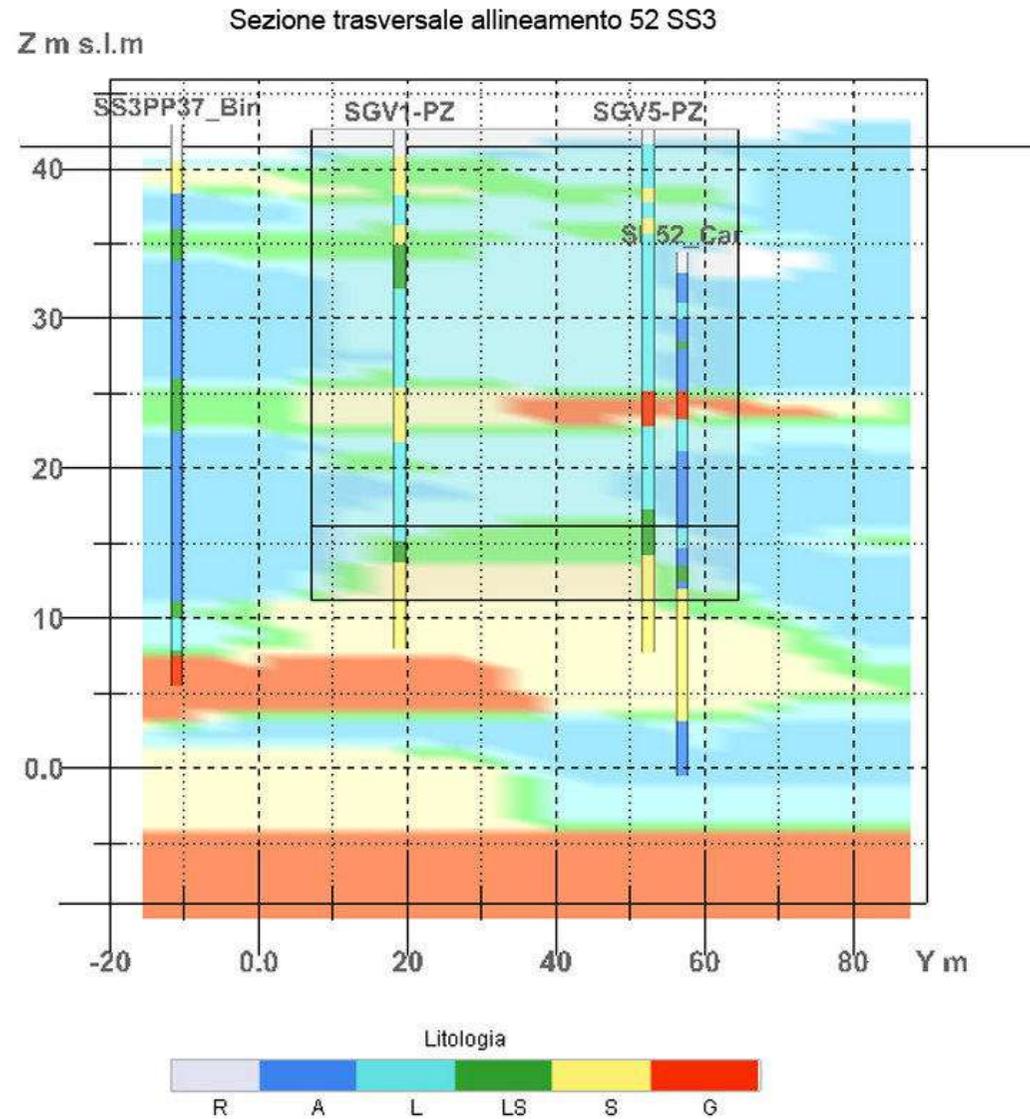


Sezione Quota = 16.0 m s.l.m.

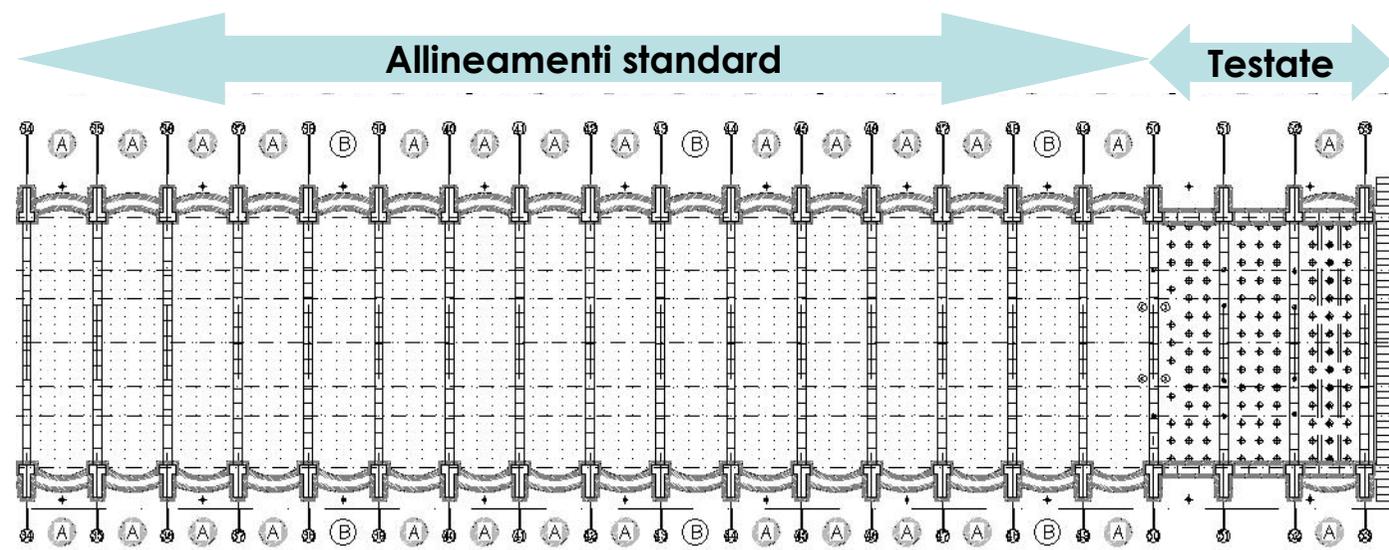
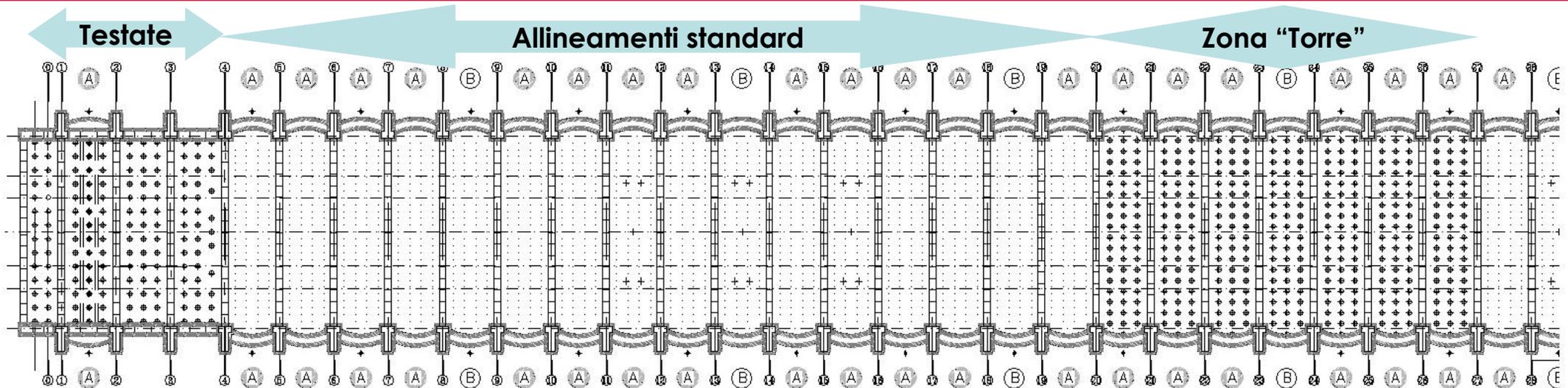
SEZIONI ORIZZONTALI



La Stazione AV di Bologna – Il contesto geologico e idrogeologico



La Stazione AV di Bologna – Le opere di sostegno e di fondazione



PARATIE PERIMETRALI

- Voltine in c.a.: funzionamento ad arco
- Speroni in c.a.: funzionamento flessionale
- Paratie in c.a. rettilinee di testata

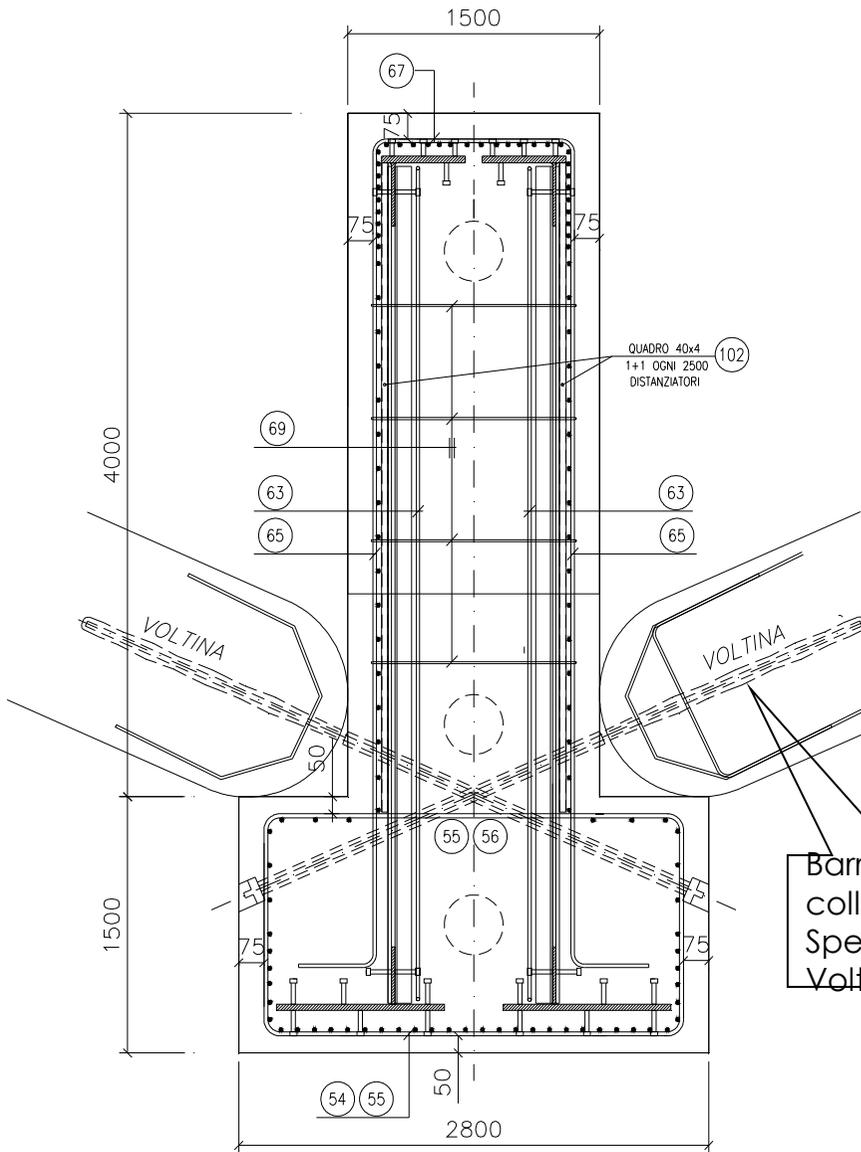
ELEMENTI DI CONTRASTO

- Travi-puntone in acciaio: contrasto degli speroni e appoggio dei solai di piano
- Diaframmi-puntone in c.a.: contrasto al piede degli speroni
- Solai in c.a. in testata

ELEMENTI DI FONDAZIONE

- Micropali (allineamenti standard) e Pali in c.a. (testata e in "zona torre"): ancoraggio del solettone di fondo in c.a

La Stazione AV di Bologna – Gli Speroni



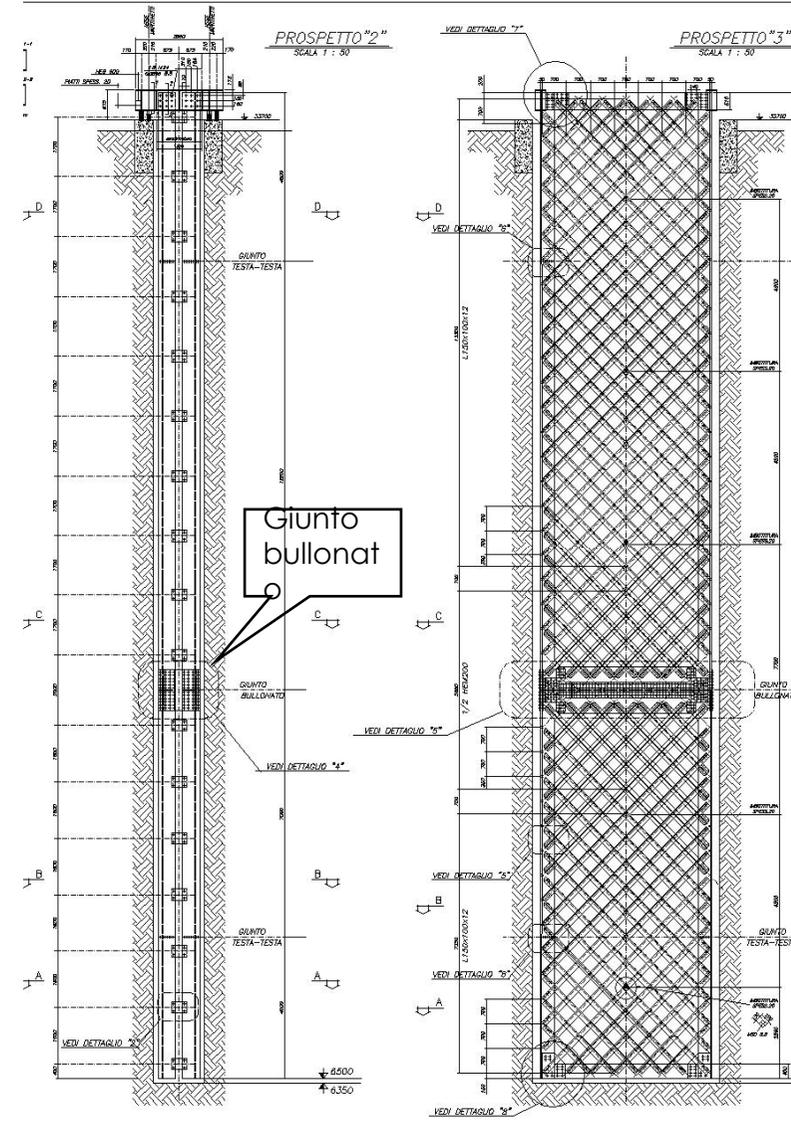
Paratia a "T" in c.a.
realizzata con 3
pannelli
 $s = 1.5\text{m}$
 $L = 2.8\text{m}$
 $H = 28\text{m}$

Armatura realizzata con
travi reticolari in
carpenteria metallica
(70t) + gabbia di
armatura lenta antiritiro

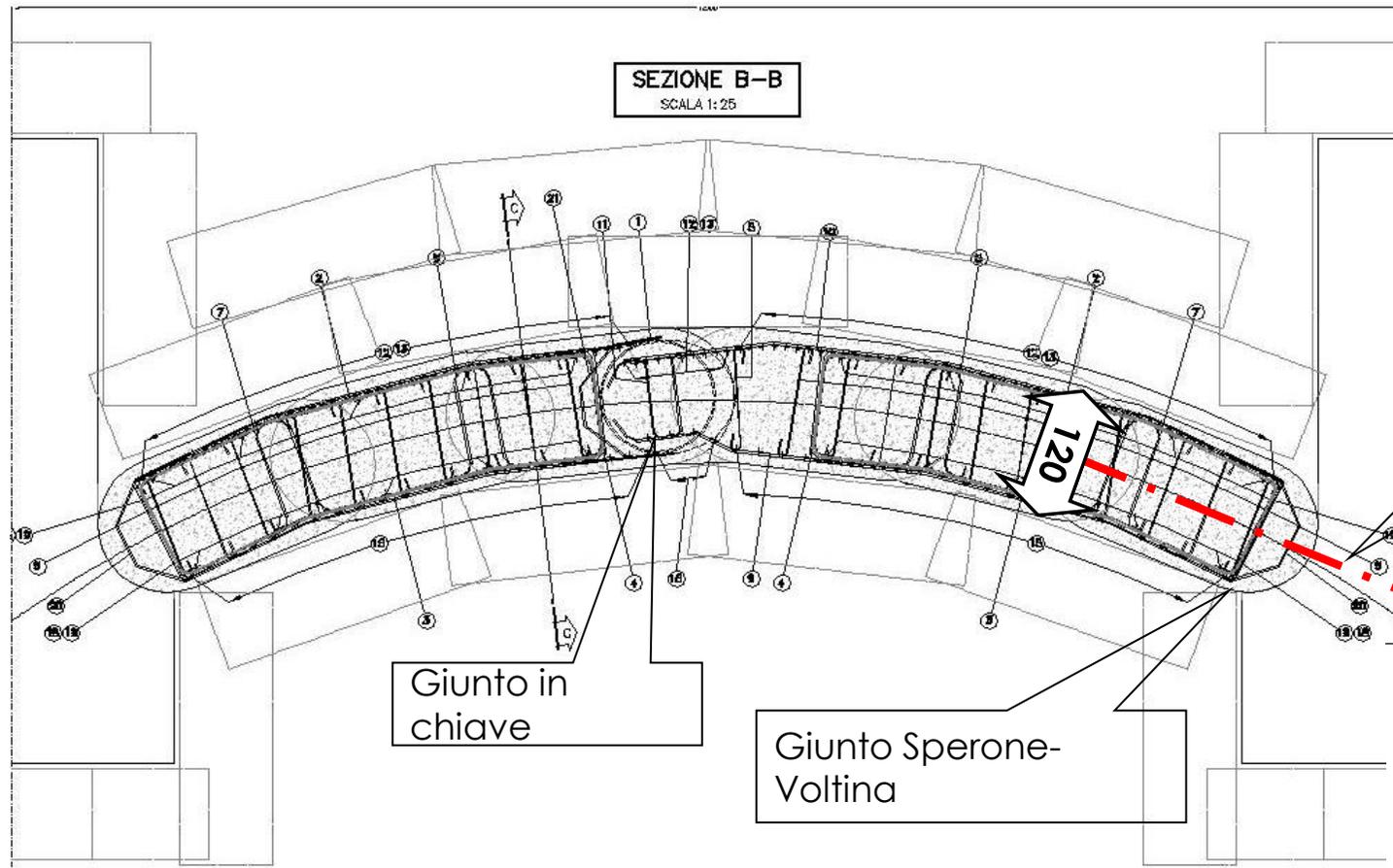
preassemblaggio in
due tronconi e
collegamento in opera
mediante giunzione
bullonata

Getto cls Rck 35 MPa

Barre di
collegamento
Sperone-
Voltina



La Stazione AV di Bologna – Le Voltine



Paratia ad arco in c.a.
realizzata con 6
pannelli
 $s = 1.2m$
 $L = 2.5m$
 $H = 23m$

Barre di collegamento
Sperone-Voltina

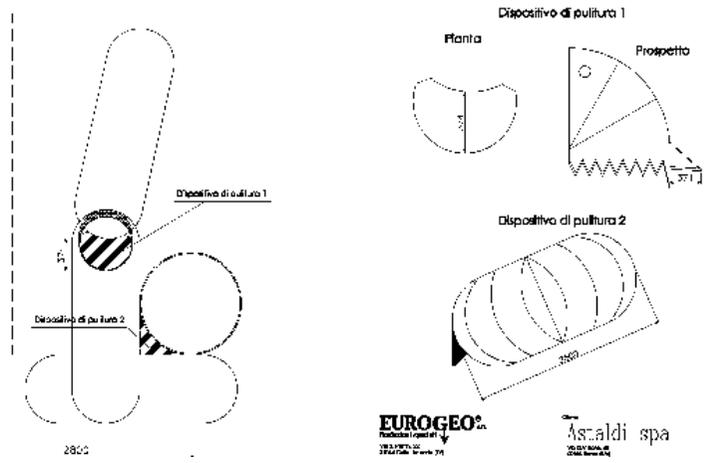
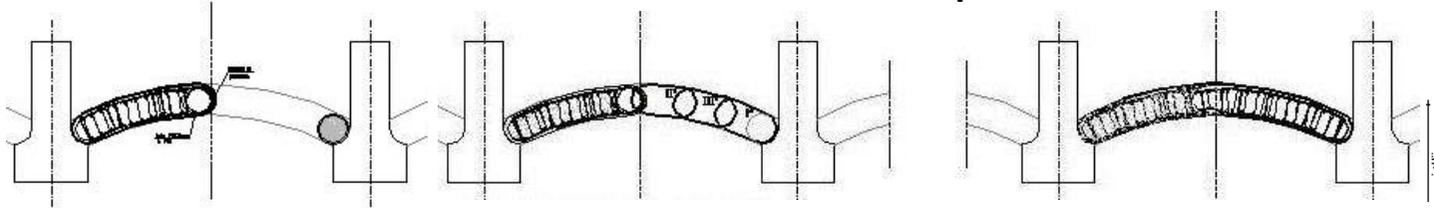
Campo prova Sperone-Voltina per
studio continuità dei giunti

Dispositivi di pulitura connessioni tra diaframmi - Soluzione C

Giunto in chiave

Giunto Sperone-Voltina

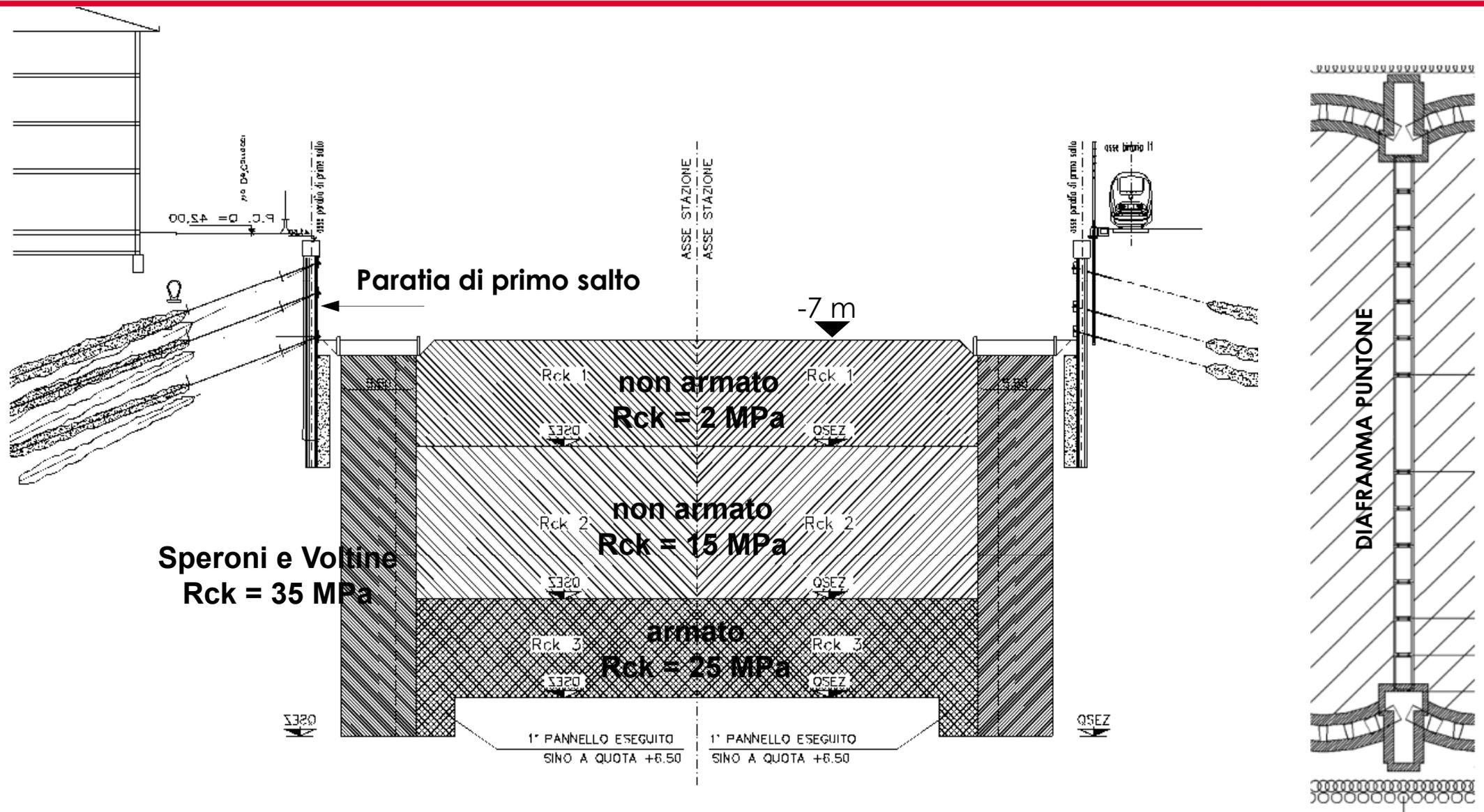
Fasi realizzative: 2 semi-voltine, 6 pannelli scavati



EUROGEO
Prodotti e servizi s.p.a.
Via S. Pietro, 22
37139 Verona, Italia

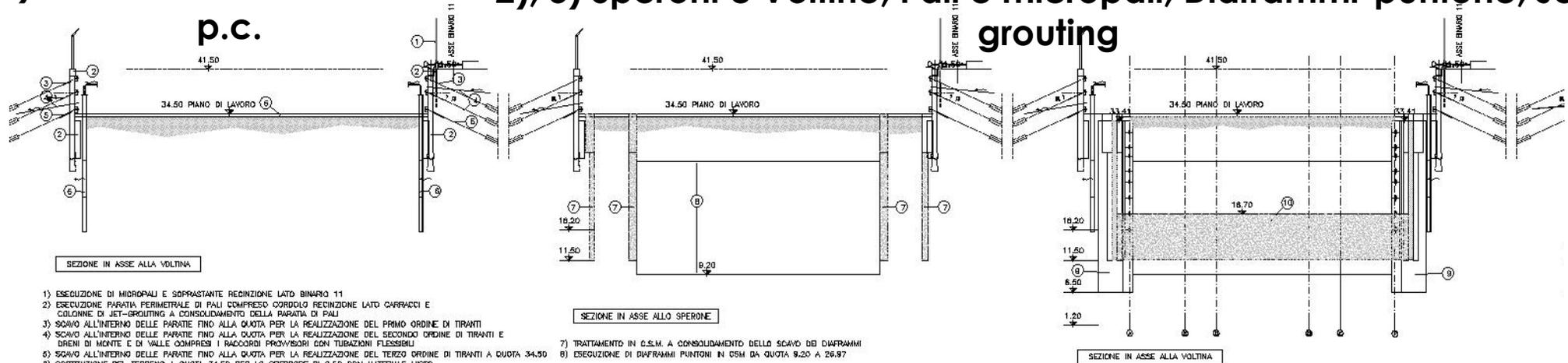
Ascaldi spa
Via S. Pietro, 22
37139 Verona, Italia

La Stazione AV di Bologna – I diaframmi-puntone



La Stazione AV di Bologna – Fasi di scavo “bottom up” (standard)

1) Piano di lavoro a -7m da p.c. 2), 3) Speroni e Voltine, Pali e micropali, Diaframmi-puntone, Jet-grouting

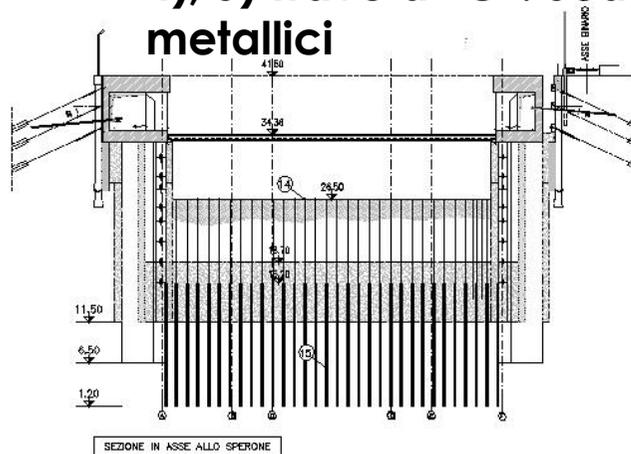


- 1) ESECUZIONE DI MICROPALI E SOPRASTANTE RECINZIONE LATO BINARIO 11
 2) ESECUZIONE PARATA PERIMETRALE DI PALI COMPRESO CODILO RECINZIONE LATO CARRACCI E COLONNE DI JET-GROUTING A CONSOLIDAMENTO DELLA PARATA DI PALI
 3) SCAVO ALL'INTERNO DELLE PARATE FINO ALLA QUOTA PER LA REALIZZAZIONE DEL PRIMO ORDINE DI TIRANTI
 4) SCAVO ALL'INTERNO DELLE PARATE FINO ALLA QUOTA PER LA REALIZZAZIONE DEL SECONDO ORDINE DI TIRANTI E GREMI DI MORTA E DI VALLE COMPRESI I RACCORDI PROVVISORI CON TUBAZIONI FLESSIBILI
 5) SCAVO ALL'INTERNO DELLE PARATE FINO ALLA QUOTA PER LA REALIZZAZIONE DEL TERZO ORDINE DI TIRANTI A QUOTA 34.50
 6) SOSTITUZIONE DEL TERRENO A QUOTA 34.50 PER LO SPESORE DI 0.50 CON MATERIALE MISTO CEMENTATO AL FINE DI REALIZZARE UN PIANO DI LAVORO OMogeneO E STABILE A QUOTA 34.50 COMPRESI UNA SERIE DI ELEMENTI ATTI A GARANTIRE LA MOVIMENTAZIONE E L'ANCORAGGIO IN SICUREZZA DI MACCHINARI VARI E REALIZZAZIONE DI POZZI BY-PASS PER LA FALDA INTERMEDIA COMPRESO COLLEGAMENTO PROVVISORIO CON PONTE E TUBI FLESSIBILI A QUOTA 34.50

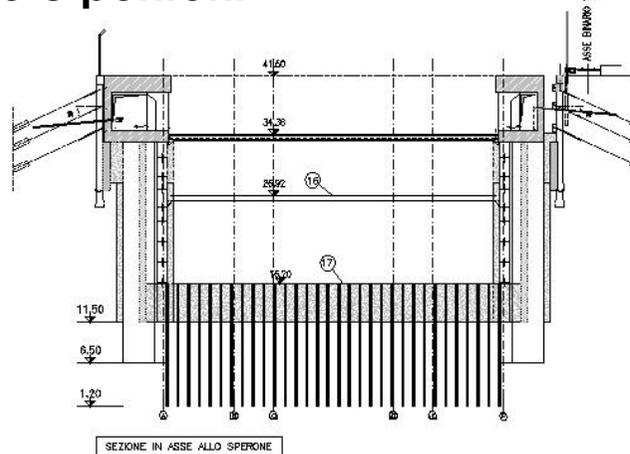
- 7) TRATTAMENTO IN C.S.M. A CONSOLIDAMENTO DELLO SCAVO DEI DIAFRAMMI
 8) ESECUZIONE DI DIAFRAMMI PUNTONI IN CSM DA QUOTA 9.20 A 26.97

- 9) ESECUZIONE DELLE VOLTINE E DEGLI SPERONI (GETTO FINO A QUOTA 33.41), SUCCESSIVO RIPIEMMENTO DEI VOLUMI NON GETTATI
 10) TRATTAMENTO DEL TERRENO CON COLONNE DI JET-GROUTING PER REALIZZAZIONE TAPPONE DI FONDO DA QUOTA 18.70 A 11.20

4), 5) Trave a “C”. Scavo e puntoni metallici

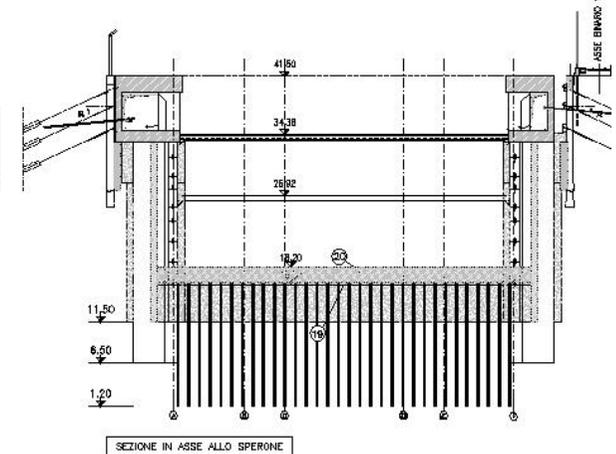


- 14) SCAVO FINO A QUOTA 28.50
 15) ESECUZIONE DEI MICROPALI Ø250 L=15.00 TRA LE QUOTE 18.20 E 1.20



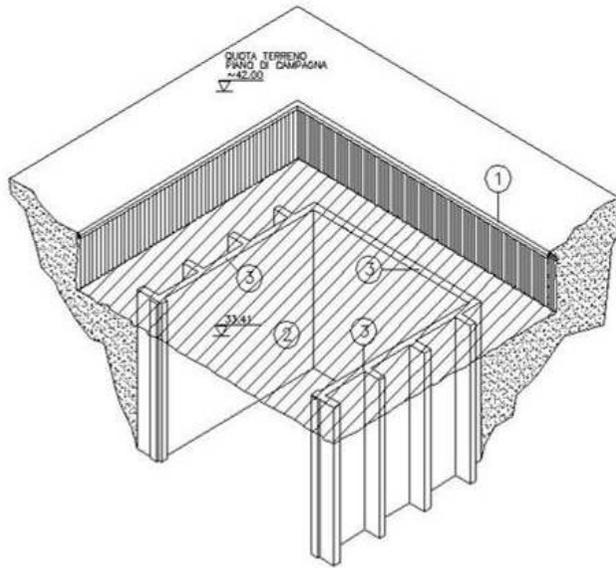
- 16) ESECUZIONE DEL PUNTONO A QUOTA 28.92
 17) SCAVO FINO A QUOTA 18.20 COMPRESA LA DEMOLIZIONE DELLA QUOTA PARTE DI TAPPO DI FONDO

6) Solettone di fondo ed elevazioni

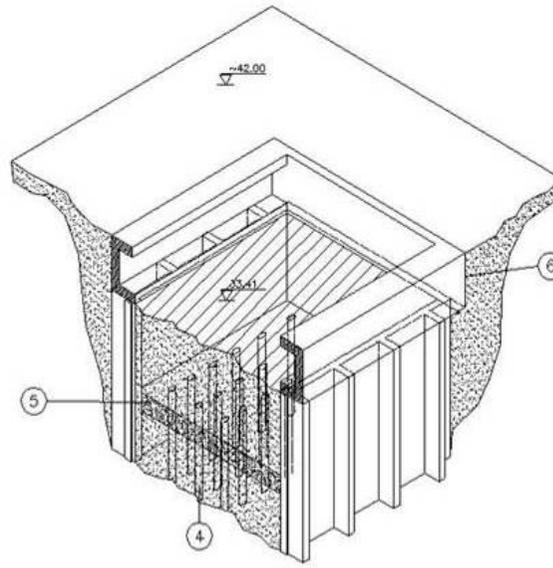


- 18) SCAVO FINO A QUOTA 15.80 COMPRESA LA DEMOLIZIONE DELLA QUOTA PARTE DI TAPPO DI FONDO
 19) ESECUZIONE DEL MAGRONE DI FONDAZIONE PIU' STRATO DI SABBIA Sp_bot=0.40m
 20) ESECUZIONE DEL SOLETTONE DI FONDAZIONE Sp=4m DA QUOTA 16.20

La Stazione AV di Bologna – Le testate

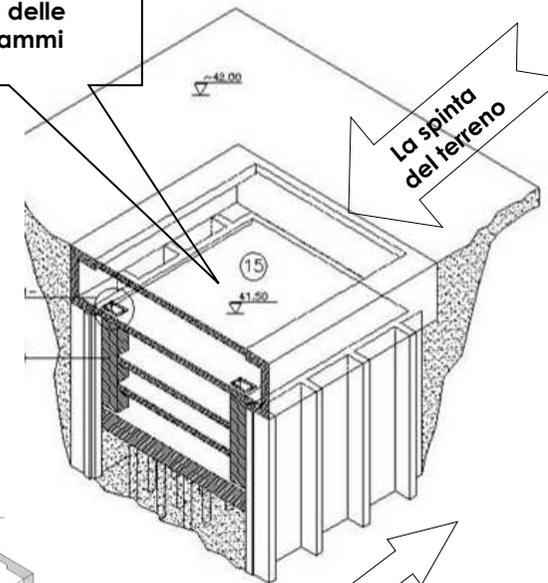


- 1) REALIZZAZIONE PARATE PERIMETRALI DI PALI
- 2) SCAVO ALL'INTERNO DELLE PARATE FINO A QUOTA 37.50 E SUCCESSIVA SOSTITUZIONE DEL TERRENO CON MATERIALE MISTO CEMENTATO PER UNA ALTEZZA DI 1m AL FINE DI REALIZZARE UN PIANO DI LAVORO OMOGENEO E STABILE A QUOTA 37.50 DOVRANNO ESSERE PREVISTI SUL PIANO DI LAVORO UNA SERIE DI ELEMENTI ATTI A GARANTIRE LA MOVIMENTAZIONE E L'ANGORAGGIO IN SICUREZZA DI GRU E MACCHINE VARIE AL FINE DI ESCLUDERE QUALSIASI TIPO DI DANNEGGIAMENTO ALLE LINEE FERROVIARIE IN ESERCIZIO. ESECUZIONE COLONNE DI JET GROUTING PERIMETRALE A CONSOLIDAMENTO DEI VOLUMI DI TERRENO INTERESSATI DAL SUCCESSIVO SCAVO DEI DIAFRAMMI
- 3) REALIZZAZIONE DIAFRAMMI ALLINEAMENTI 0-4 (50-53) E DIAFRAMMI DI TESTATA CON SETTO FINO A QUOTA 33.41 E RISPANDIMENTO DEI VOLUMI NON GETTATI; SCAVO FINO A QUOTA 33.41

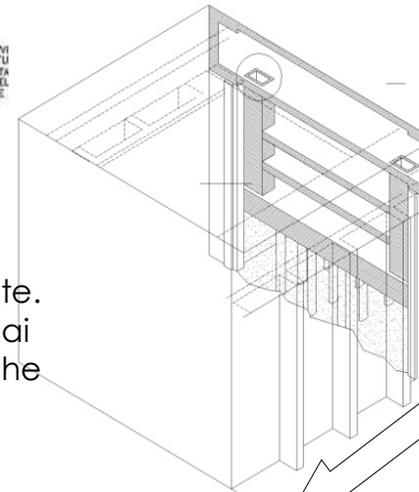


- 4) REALIZZAZIONE PALI #1000, PALI #1500 DI FONDAZIONE DEI SOSTEGNI PROVVI PALI #2000 DI FONDAZIONE DEI TUBI Ø700 INTERNI E POSA IN OPERA DEI TU
- 5) ESECUZIONE OPERE DI TRATTAMENTO DEL TERRENO DA QUOTA 16.20 A QUOTA
- 6) SCAVO DEL TERRENO ALL'INTERNO DELLA PARATA FINO A QUOTA 33.41 E DEL IN CORRISPONDENZA DEI PUNTONI; REALIZZAZIONE TRAVE DI CORONAMENTO E

I solai di piano (trasferimento delle spinte ai diaframmi laterali)



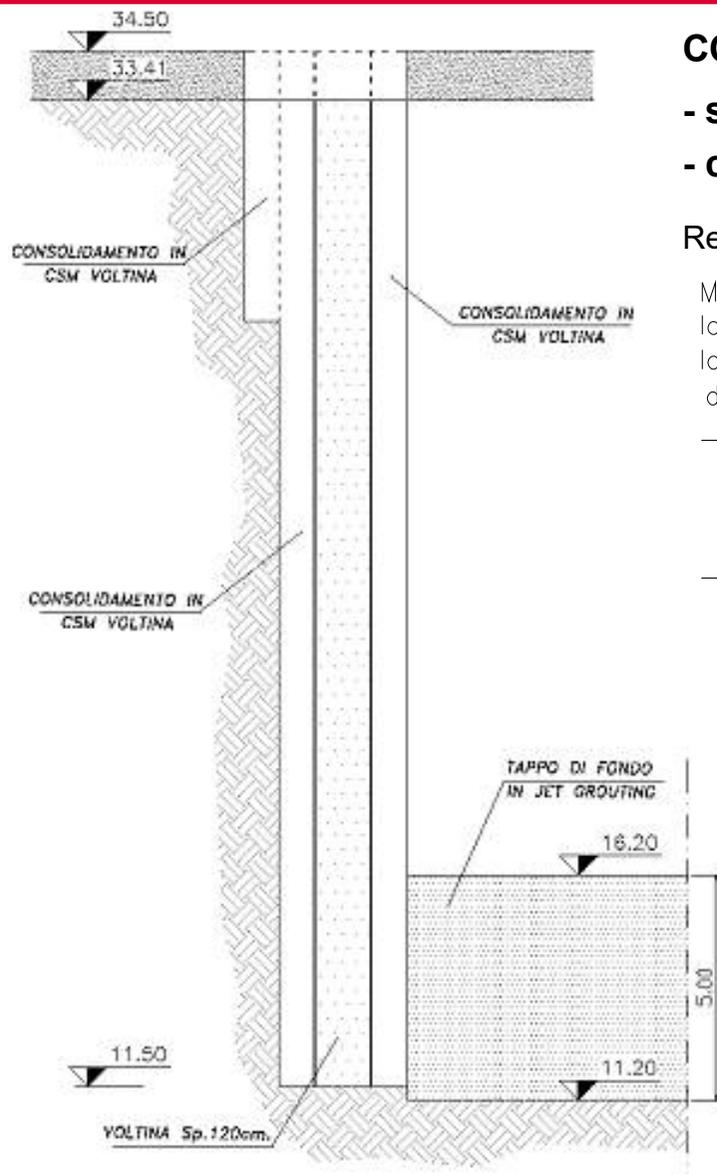
PARTIRE DA QUOTA 16.20 SI REALIZZANO IN RISALTA LE STRUTTURE RIGALI PORTANTI DEFINITIVE (SETTI E RAGLI) ALIZZAZIONE TRAVI E SOLAI A QUOTA 41.00 (QUOTA FERRO FS)



640 m

La distanza tra le testate non consente il contrasto delle spinte tra le due testate. Le spinte delle terre sulle testate vengono trasferite ai diaframmi laterali dai solai. I solai vengono realizzati in sequenza "top-down" per garantire la stabilità anche in fase transitoria.

La Stazione AV di Bologna – Il Jet-grouting



CONSOLIDAMENTO DEL TERRENO A FONDO SCAVO:

- stabilizzazione del fondo in fase esecutiva
- contrasto al piede delle paratie rettilinee di testata

Requisiti progettuali:

Maglia triangolare

lato triangolo= 1.00 m allineamenti 0-4, 50-53

lato triangolo= 1.20 m allineamenti 4-50

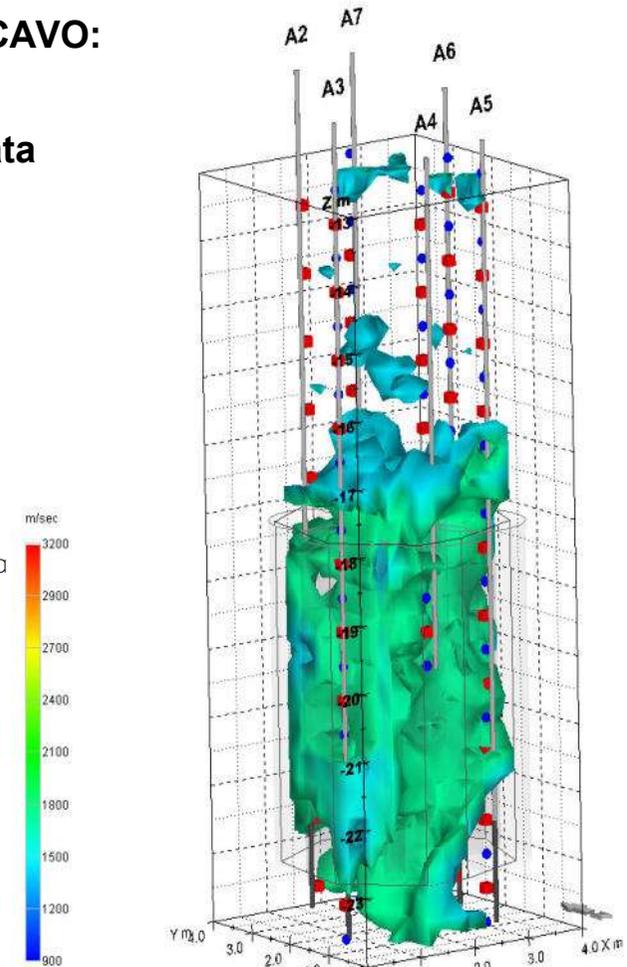
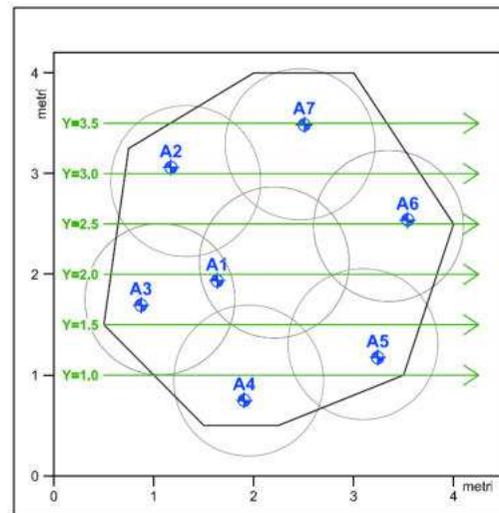
diametro colonna =1.45

- modulo elastico caratteristico a compressione:

$E' \geq 1000$ mPa allineamenti 0-4 e 50-53

$E' \geq 700$ mPa allineamenti 4-50

- valore della tensione media di compressione a rottura nella prova di compressione monoassiale
 $\sigma_c > 2$ mPa



Campo prova:

- Parametri operativi
- Φ atteso = 1,45 m

La Stazione AV di Bologna – Il By-pass della falda intermedia

Pozzo di by-pass

Pozzo di by-pass

Cunicolo di by-pass

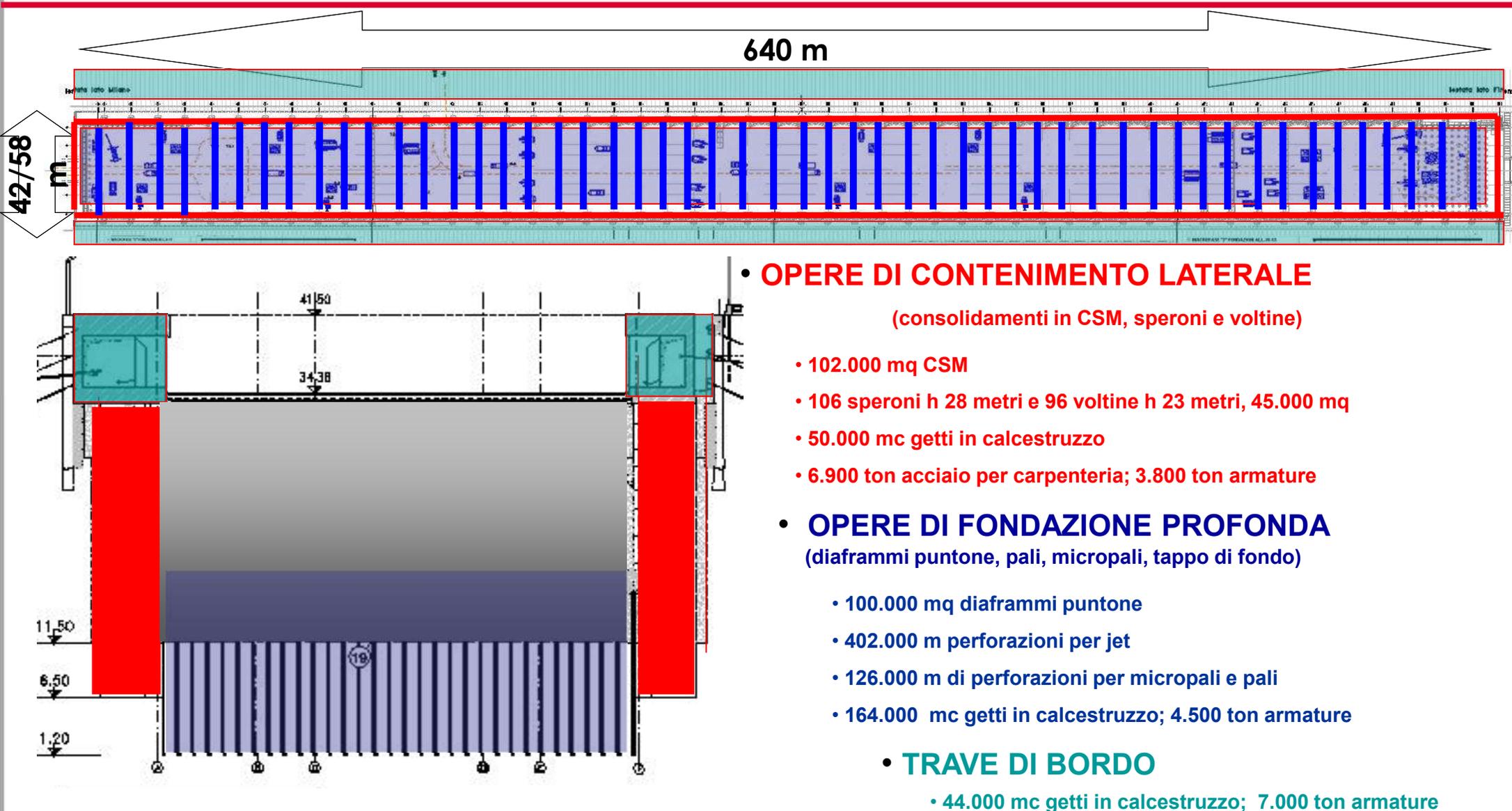
Pozzo di by-pass

SEZIONE TIPICA POZZO
SCALA 1:25

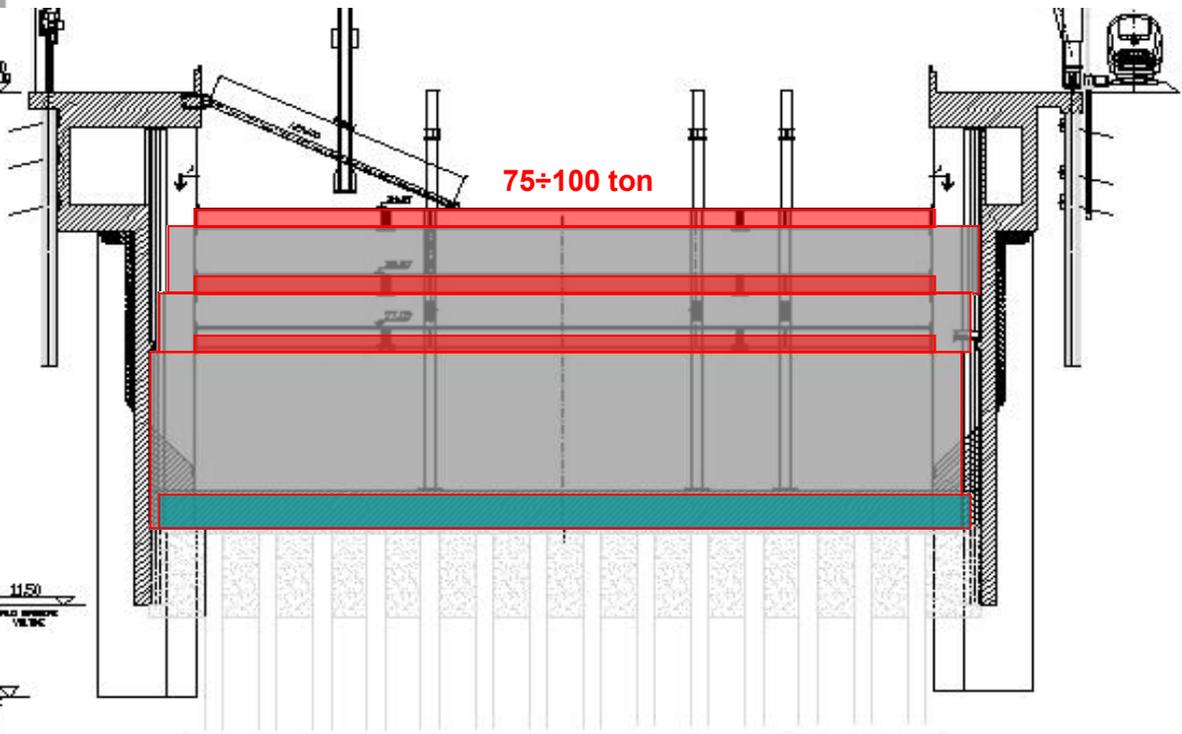


Cunicolo di by-pass
in c.a. 2.60m x 4.90m

La Stazione AV di Bologna in cifre



La Stazione AV di Bologna in cifre



CARPENTERIA METALLICA

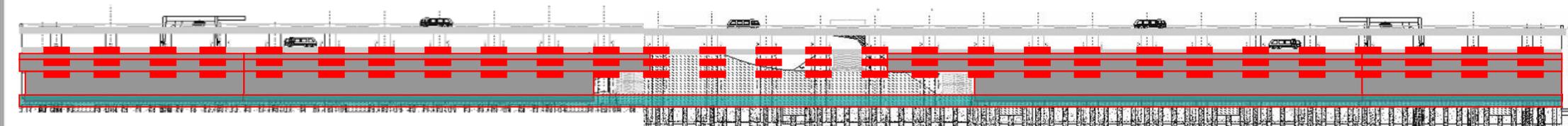
- 150 puntoni metallici: 14.000 ton

SCAVI

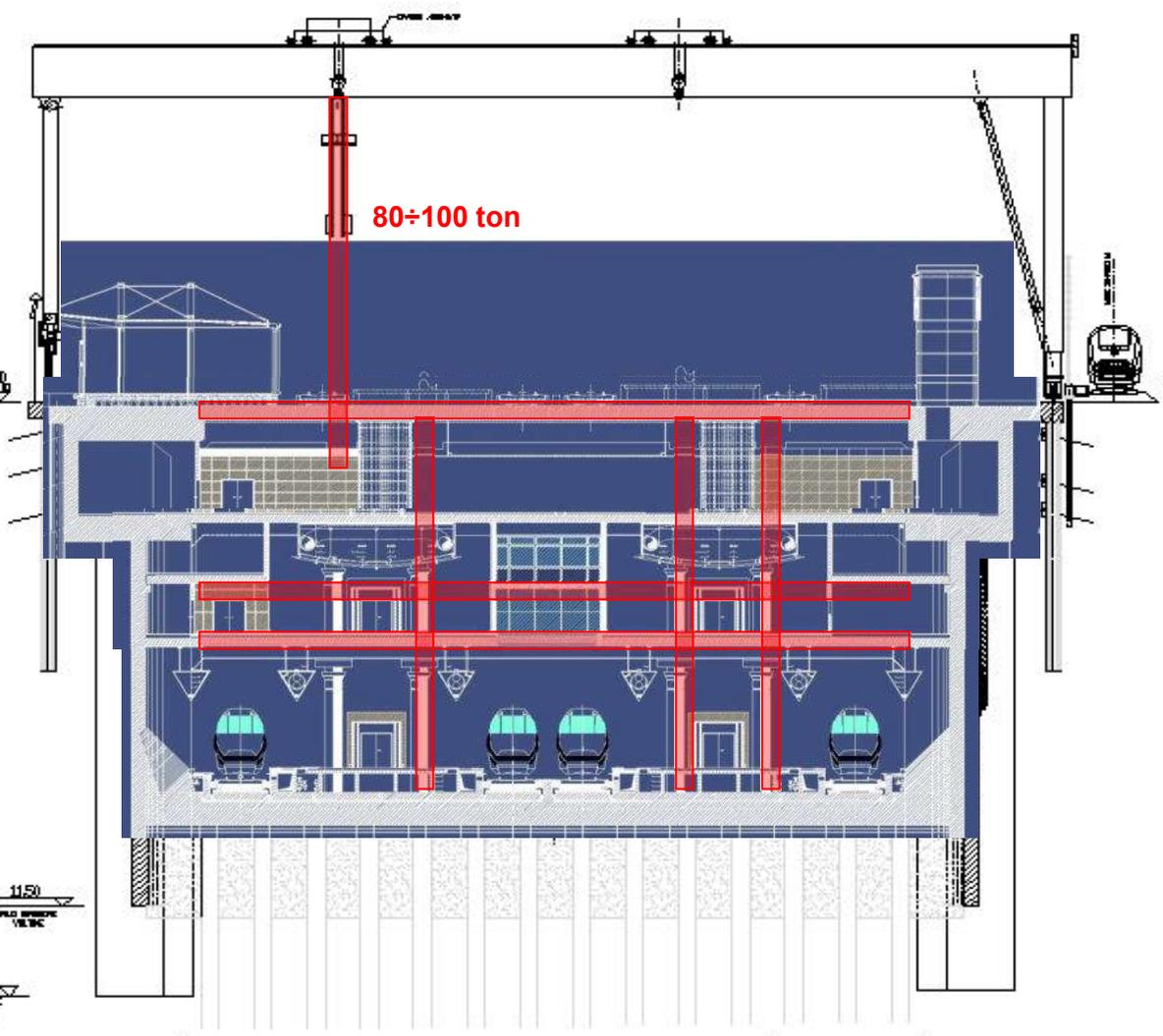
- Scavo entro paratie: 600.000 mc
- Scavo in bentonite: 75.000 mc
- Reflui trattamento del terreno: 200.000 mc

SOLETTONE DI FONDO

- Superficie complessiva: 34.000 mq
- Armatura: 12.000 ton
- Getti in calcestruzzo: 75.000 mc



La Stazione AV di Bologna in cifre



STRUTTURE IN ELEVAZIONE

Carpenteria metallica

53 telai per 24.000 ton complessive

Pilastri 6.000 ton

Travi incorporate solai: 4.000 ton

Travi puntone: 14.000 (macrofase 2a)

Solai e setti

Solai: 65.000 mq

Setti: 10.000 mq

Getti in opera: 50.000 mc

Armatura: 8.000 ton

IMPIANTI E FINITURE

- Centrale di supervisione impianti
- 2 Cabine MT; 7 cabine MT/BT
- 600 km di cavi e 50 km cavi fibra ottica
- 44 scale mobili e 23 ascensori
- 1.000 ton tubazioni
- 4 km canali estrazione fumi
- 18.000 mq di vetrate
- 62.000 mq di pavimentazioni

Le lavorazioni



Le lavorazioni

LO SPERONE



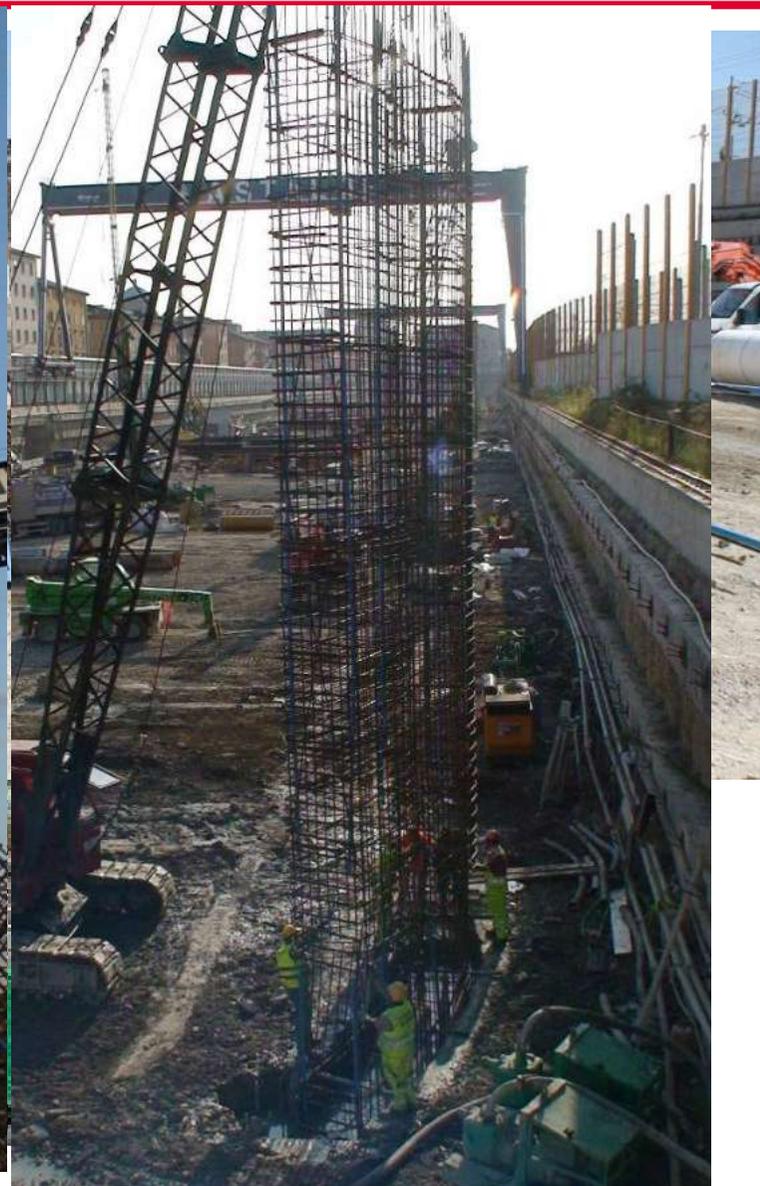
Le lavorazioni

LO SPERONE

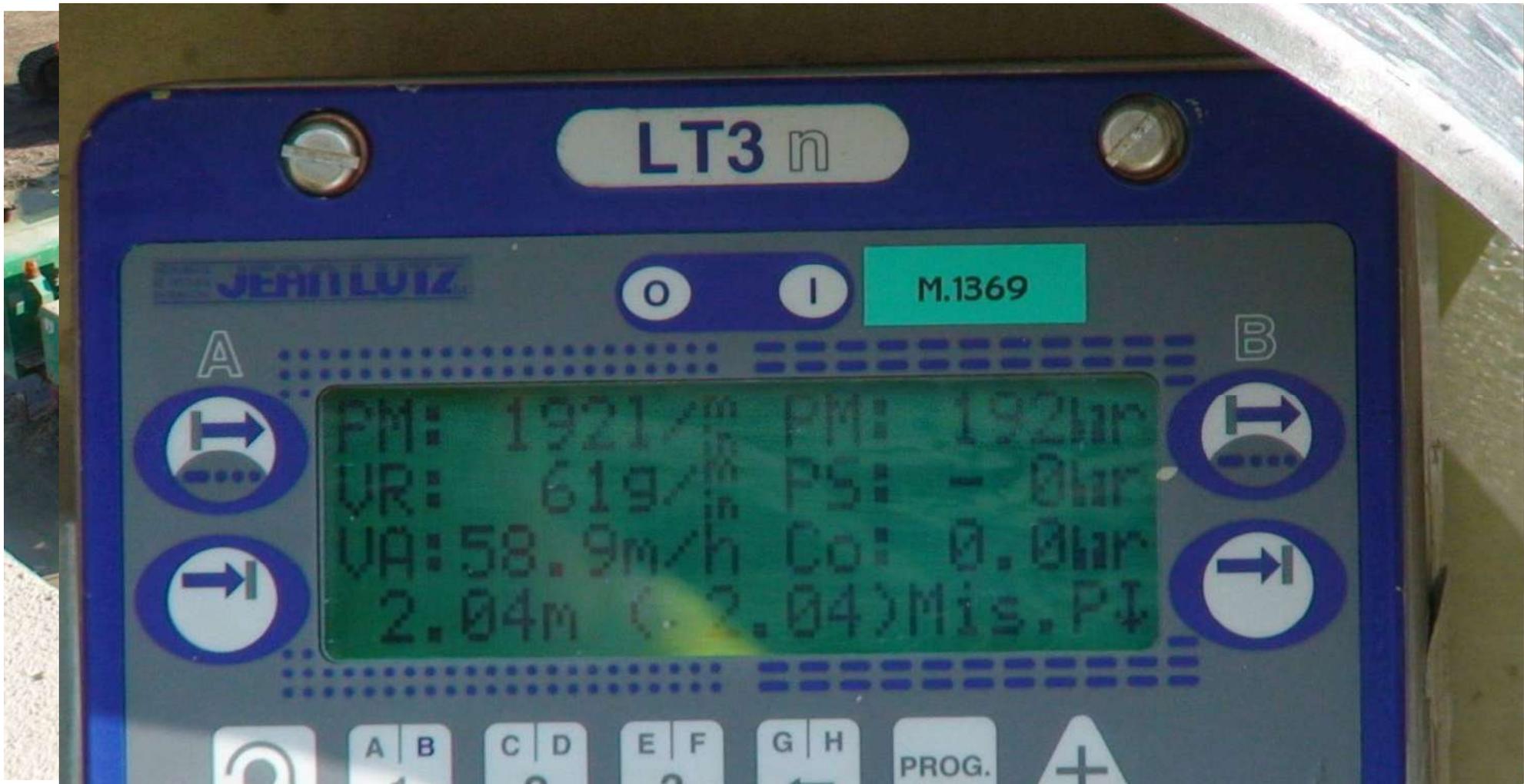


Le lavorazioni

LA VOLTINA

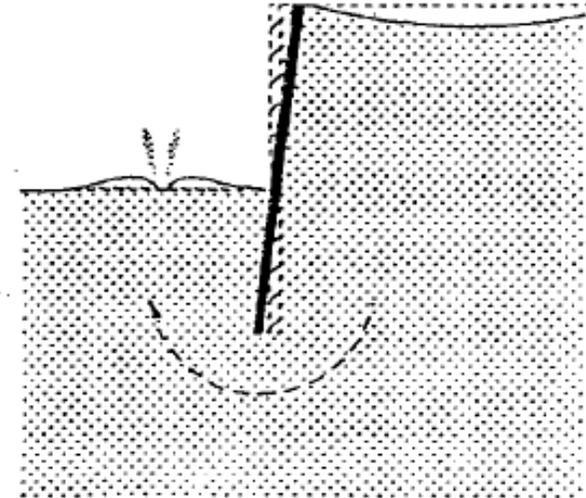


IL JET GROUTING



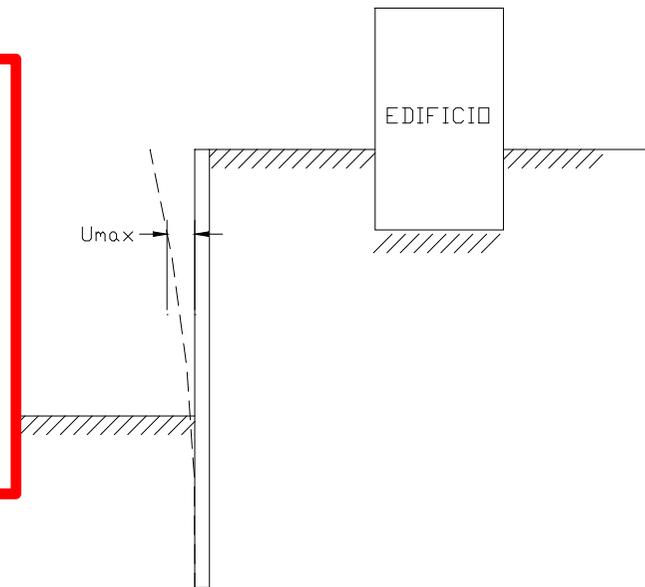
La stabilità dello scavo:

- Resistenza delle paratie
- Resistenza e stabilità delle strutture di contrasto
- Stabilità del fondo scavo



I cedimenti indotti sotto i fabbricati:

- Previsioni progettuali
- Monitoraggio geotecnico e topografico
- Back analysis



La Stazione AV di Bologna – Il controllo dei cedimenti indotti

Previsioni progettuali:

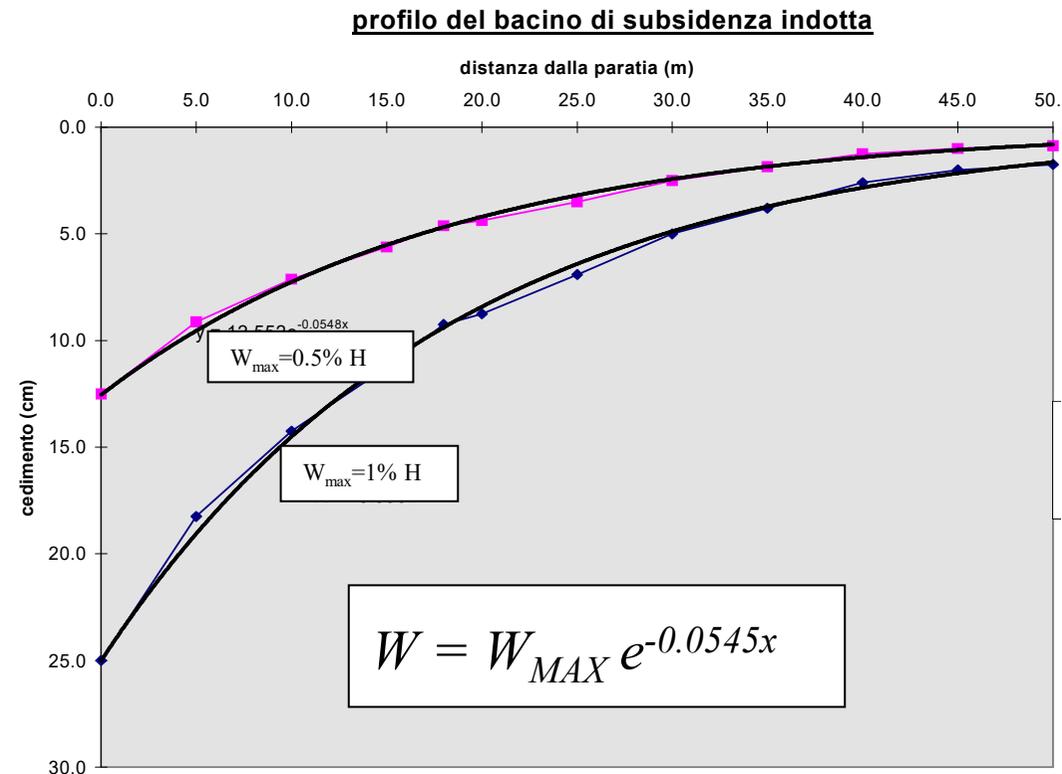
- Metodi empirici-analitici (*Peck, 1969*)
- Metodi numerici (analisi FEM)

Valutazione del livello di danno atteso sui fabbricati:

(*Burland, 1995*)

- Rapporto di inflessione del fabbricato Δ
- Deformazione unitaria massima di allungamento ε
- Categorie di danno in funzione della deformazione limite di allungamento ε_{lim} (*Boscardin e Cording, 1989*):

0 trascurabile, 1 molto lieve, 2 lieve, 3 moderata, 4 a 5 da severa a molto severa
(valide per edifici in muratura)



OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO

- controllare il comportamento delle opere durante e dopo la costruzione
- controllare gli effetti dei lavori sulle preesistenze urbane e ferroviarie
- controllare la rispondenza delle opere alle previsioni progettuali
 - individuazione delle grandezze fisiche rappresentative
 - definizione dei valori di soglia delle grandezze fisiche
 - misura delle grandezze fisiche → strumentazione

La Stazione AV di Bologna – Il monitoraggio

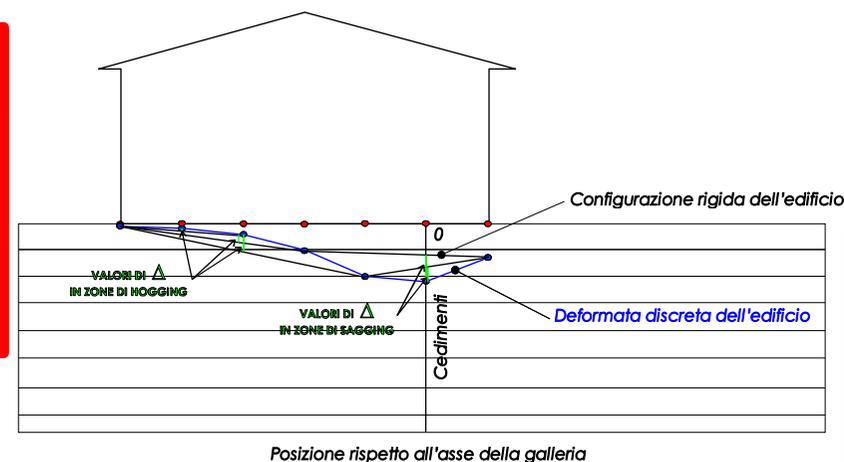
OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO

Grandezze fisiche e valori di soglia



Fabbricati via Carracci

SOGLIA	ATTENZIONE	ALLARME	PERICOLO
Rotazione	1/750	1/500	1/250
Rapporto di inflessione	1/3000	1/2000	1/1000



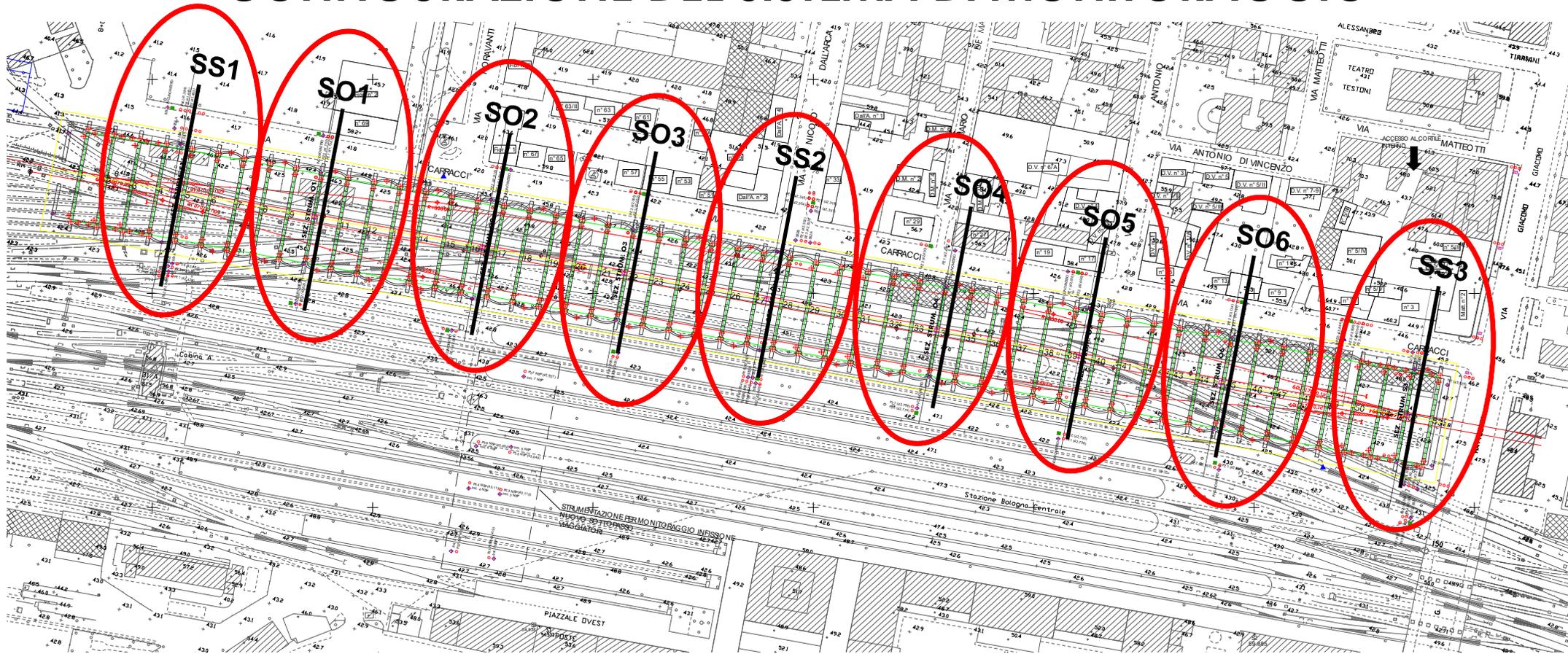
Binario 11

SOGLIA	ATTENZIONE	ALLARME	PERICOLO
Sghembo su base 9m	3.0‰	3.5‰	4.5‰
Variazione pendenza longitudinale	4.0‰	-	-

ARTICOLAZIONE DEL MONITORAGGIO

- **GEOTECNICO:** per il controllo dell'area di scavo della stazione
- **TOPOGRAFICO:** per il controllo degli edifici su via Carracci e del binario 11
- **STRUTTURALE:** per il controllo delle strutture della stazione in fase di realizzazione

CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO



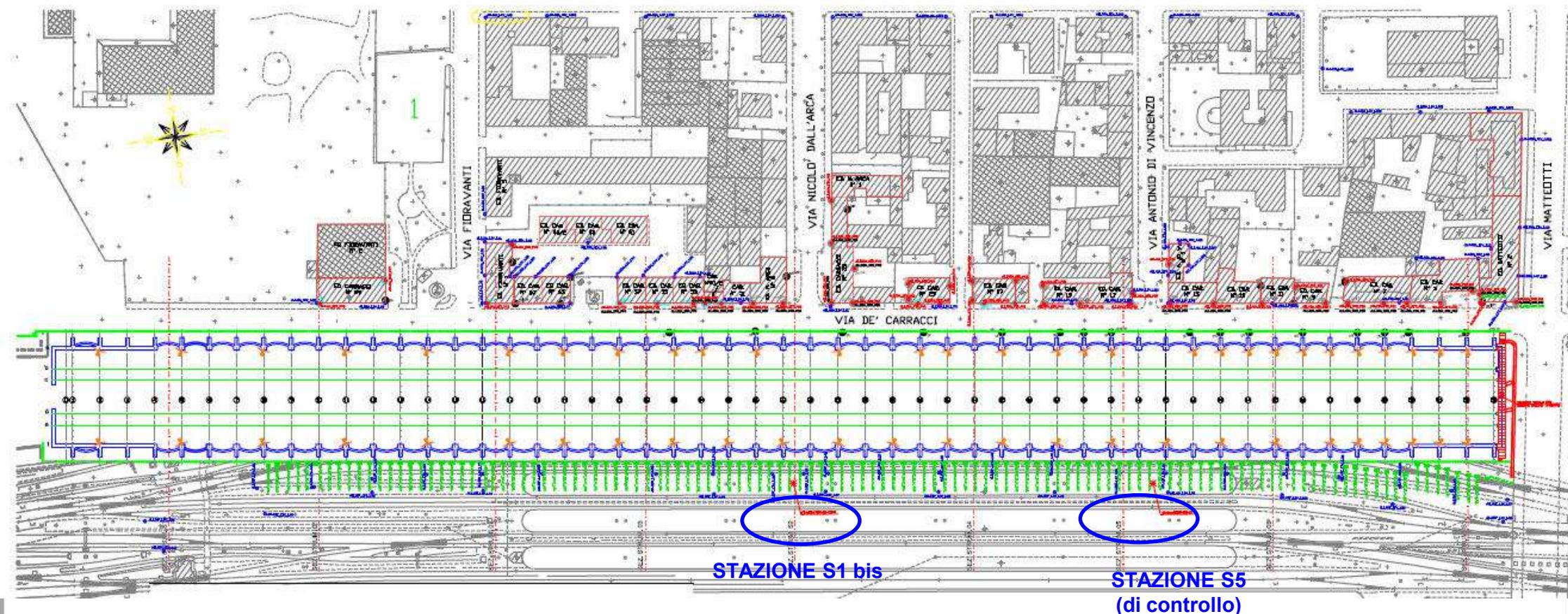
N° 9 sezioni strumentate ad interasse di circa 65 m:

- n° 6 Sezioni "Ordinarie" (SO)
- n° 3 Sezioni "Speciali" (SS) attrezzate con un maggior numero di strumenti

N.B. Ridondanza degli strumenti per verificare il corretto funzionamento degli strumenti e per tenere conto di un certo "tasso di mortalità" degli stessi

Il monitoraggio topografico

- n° 2 stazioni totali automatiche di alta precisione: n. 110 prismi ottici su edifici + n. 55 su paratia



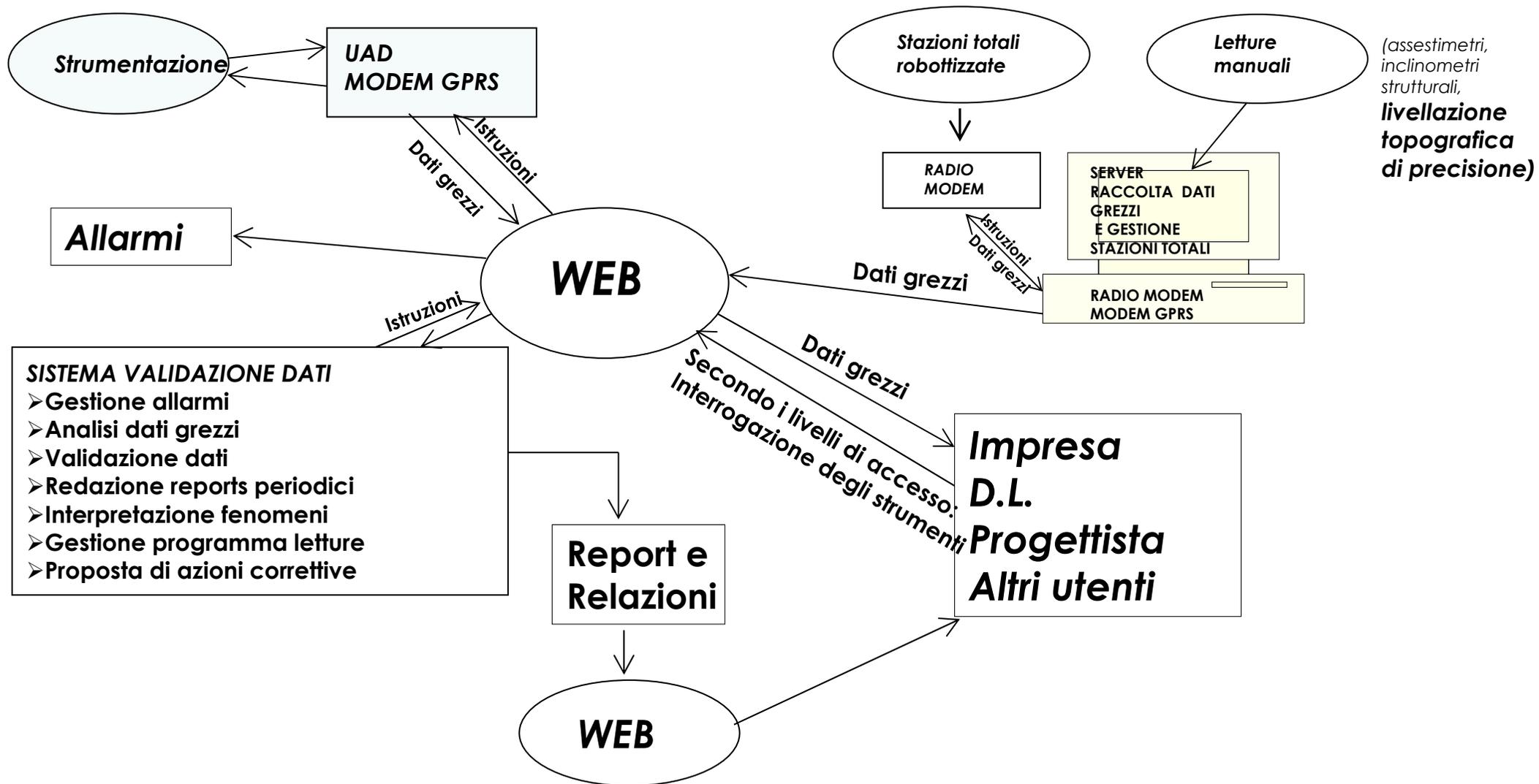
- n° 85 caposaldi di livellazione al piede degli edifici

SISTEMA AUTOMATICO DI MONITORAGGIO

Principali obiettivi:

- massima automazione del sistema in termini di strumentazione e acquisizione dati
- massima flessibilità di gestione con possibilità di incremento di strumenti e di frequenza di lettura
- interattività, anche da postazione remota, con la strumentazione in campo
- gestione in tempo reale e con modalità automatica degli allarmi 24h su 24 con presidio notturno e festivo

La Stazione AV di Bologna – Il monitoraggio automatico



SERVIZIO VALIDAZIONE DATI

Prevede l'analisi critica di tutti i dati provenienti dal sistema di monitoraggio e deve assicurare:

- il coordinamento delle attività di monitoraggio
- la correlazione dei dati validati con le lavorazioni in corso
- l'analisi critica e la validazione dei dati prima dell'inoltro alla Committenza
- l'interfaccia con la Committenza per l'analisi dei dati grezzi e validati
- la gestione degli allarmi e delle eventuali situazioni anomale

La Stazione AV di Bologna – Il monitoraggio automatico

HCAPMonitor - Web Edition 2010 - Release 2.0 - Microsoft Internet Explorer

Indirizzo: <http://www.stone-treasse.it/bologna/intro.aspx>

NUOVA STAZIONE AV DI BOLOGNA CENTRALE












Dati Riepilogativi Generali
Totale strumenti: 2699 Totale letture: 7963983

MONITORAGGIO GEOTECHNICO
Nr. Strumenti: 2278 - Letture nr.: 7743674

Tipo strumento	Nr.	Letture nr.
Celle di Carico	36	122552
Estensimetri Multibase	100	307889
Estensimetri Multibase New	72	407957
Elettrolivelle	121	1135464
Elettrolivelle Speroni	90	125550
Inclinometri	111	617
Catene inclinometriche Camerone	126	502502
Catene inclinometriche Camerone	132	161748
Aggiuntive		
Catene inclinometriche	192	1758637
Piezometri Elettrici	105	646938
Strain Gauges Camerone	206	231402
Strain Gauges	432	1099584
Strain Gauges Camerone Aggiuntivi	242	505786
Assestimetri BRS	9	
Termistori Camerone	78	114715
Termistori Camerone Aggiuntivi	113	215813
Termistori	96	311745
UAD	14	94775

MONITORAGGIO TOPOGRAFICO
Nr. Strumenti: 421 - Letture nr.: 220309

Tipo strumento	Nr.	Letture nr.
Testa Inclinometri	29	229
Livellazioni Digitali	108	5510
Prismi Ottici Speroni	33	
Quote Testa Strumenti	43	215
Stazioni Robotizzate	120	17935
Stazioni Robotizzate New	69	196124
Testa Estensimetri	15	201
Target	4	95

Operazione completata

Dati Riepilogativi Generali
Totale strumenti: 2699 Totale letture: 7963983

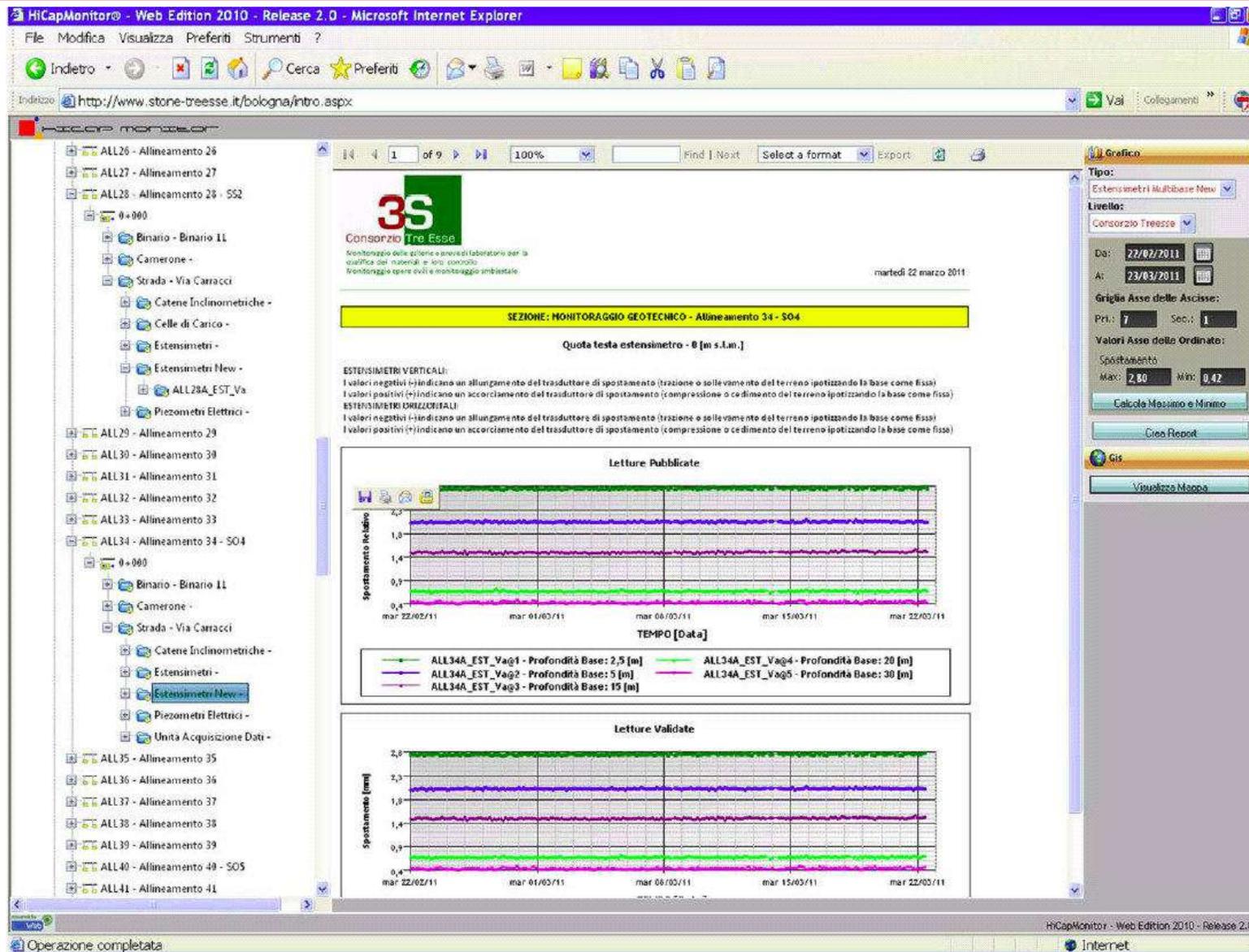
MONITORAGGIO GEOTECHNICO
Nr. Strumenti: 2278 - Letture nr.: 7743674

Tipo strumento	Nr.	Letture nr.
Celle di Carico	36	122552
Estensimetri Multibase	100	307889
Estensimetri Multibase New	72	407957
Elettrolivelle	121	1135464
Elettrolivelle Speroni	93	125550
Inclinometri	111	617
Catene inclinometriche Camerone	126	502502
Catene inclinometriche Camerone	132	161748
Aggiuntive		
Catene inclinometriche	192	1758637
Piezometri Elettrici	105	646938
Strain Gauges Camerone	206	231402
Strain Gauges	432	1099584
Strain Gauges Camerone Aggiuntivi	242	505786
Assestimetri BRS	9	
Termistori Camerone	78	114715
Termistori Camerone Aggiuntivi	113	215813
Termistori	96	311745
UAD	14	94775

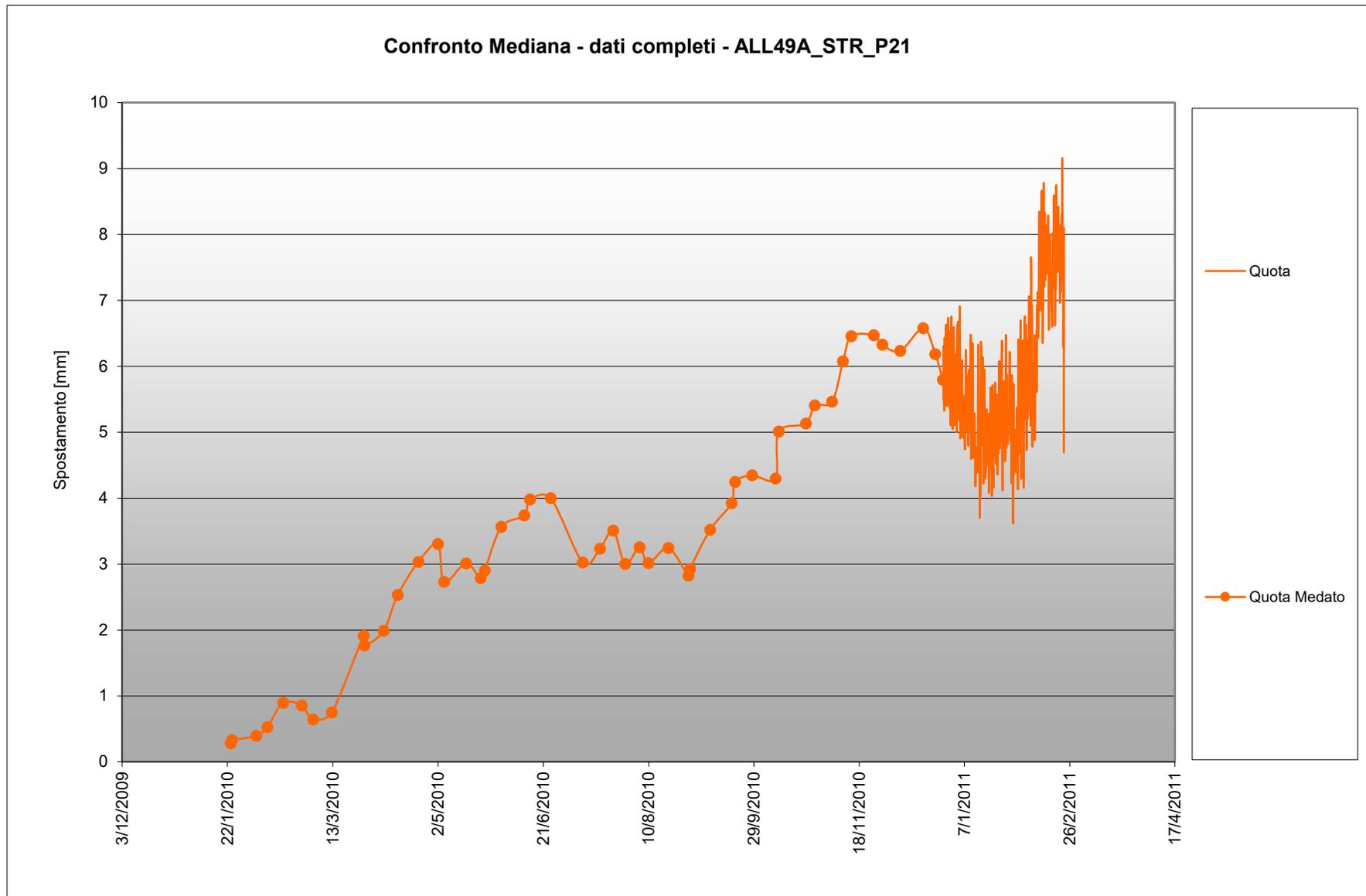
MONITORAGGIO TOPOGRAFICO
Nr. Strumenti: 421 - Letture nr.: 220309

Tipo strumento	Nr.	Letture nr.
Testa Inclinometri	29	229
Livellazioni Digitali	108	5510
Prismi Ottici Speroni	33	
Quote Testa Strumenti	43	215
Stazioni Robotizzate	120	17935
Stazioni Robotizzate New	69	196124
Testa Estensimetri	15	201
Target	4	95

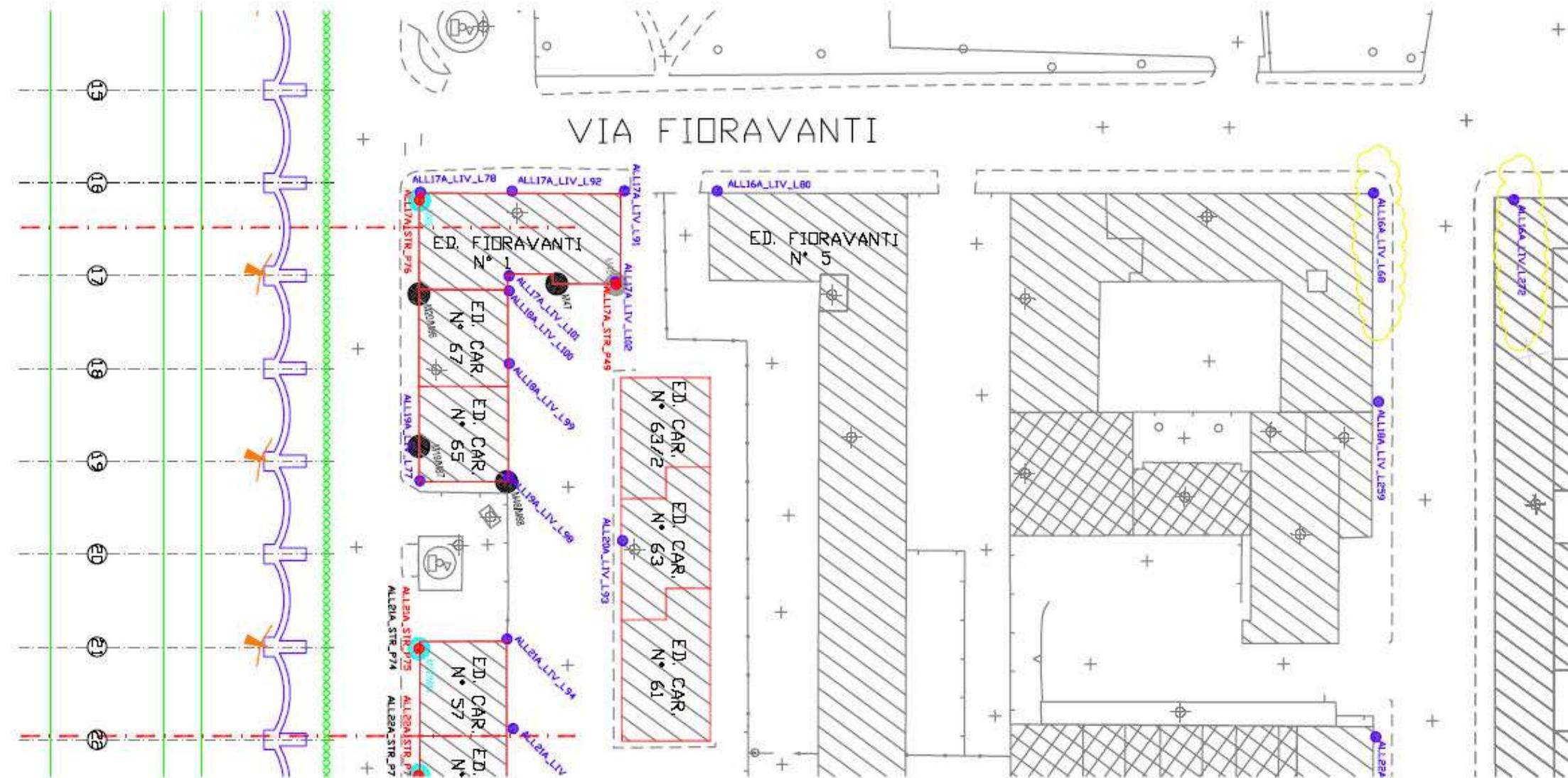
La Stazione AV di Bologna – Il monitoraggio automatico



La Stazione AV di Bologna – Il monitoraggio automatico

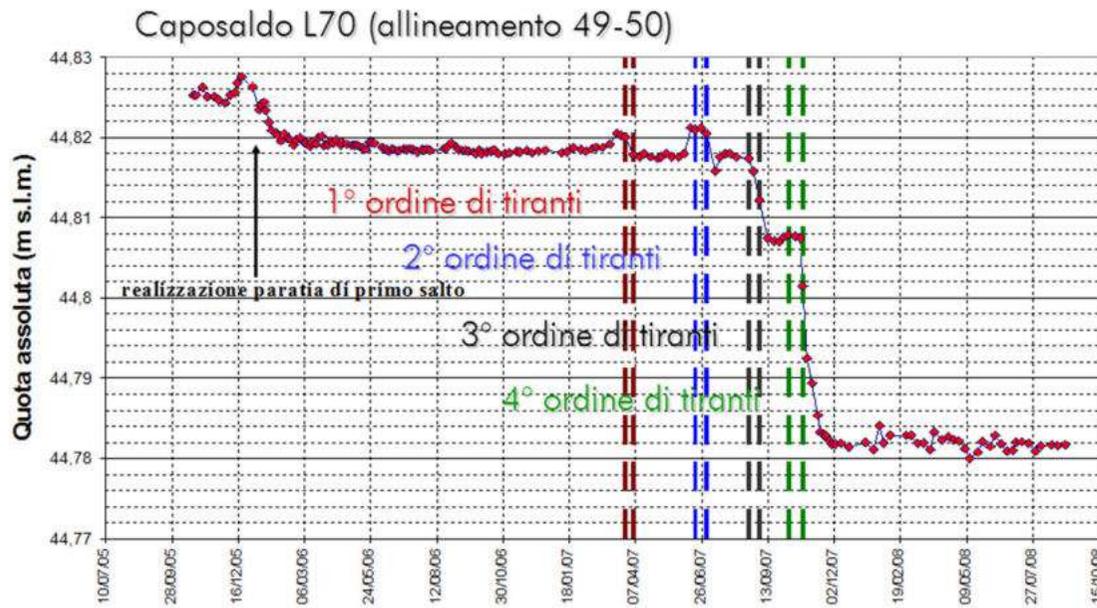


La Stazione AV di Bologna – Il monitoraggio topografico

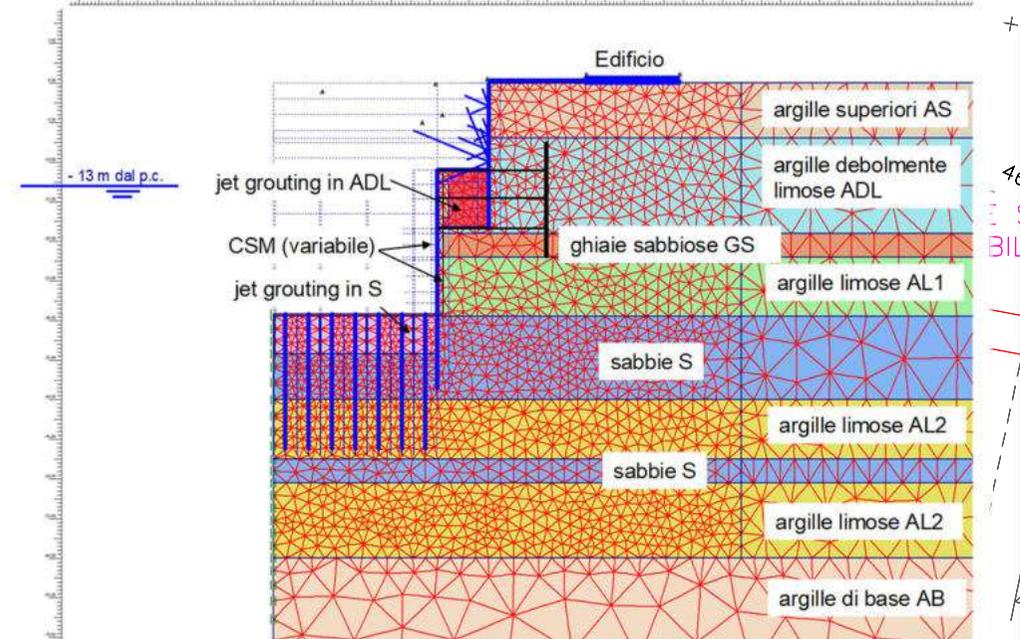


La Stazione AV di Bologna – Il monitoraggio topografico

La fase di scavo paratia di primo salto



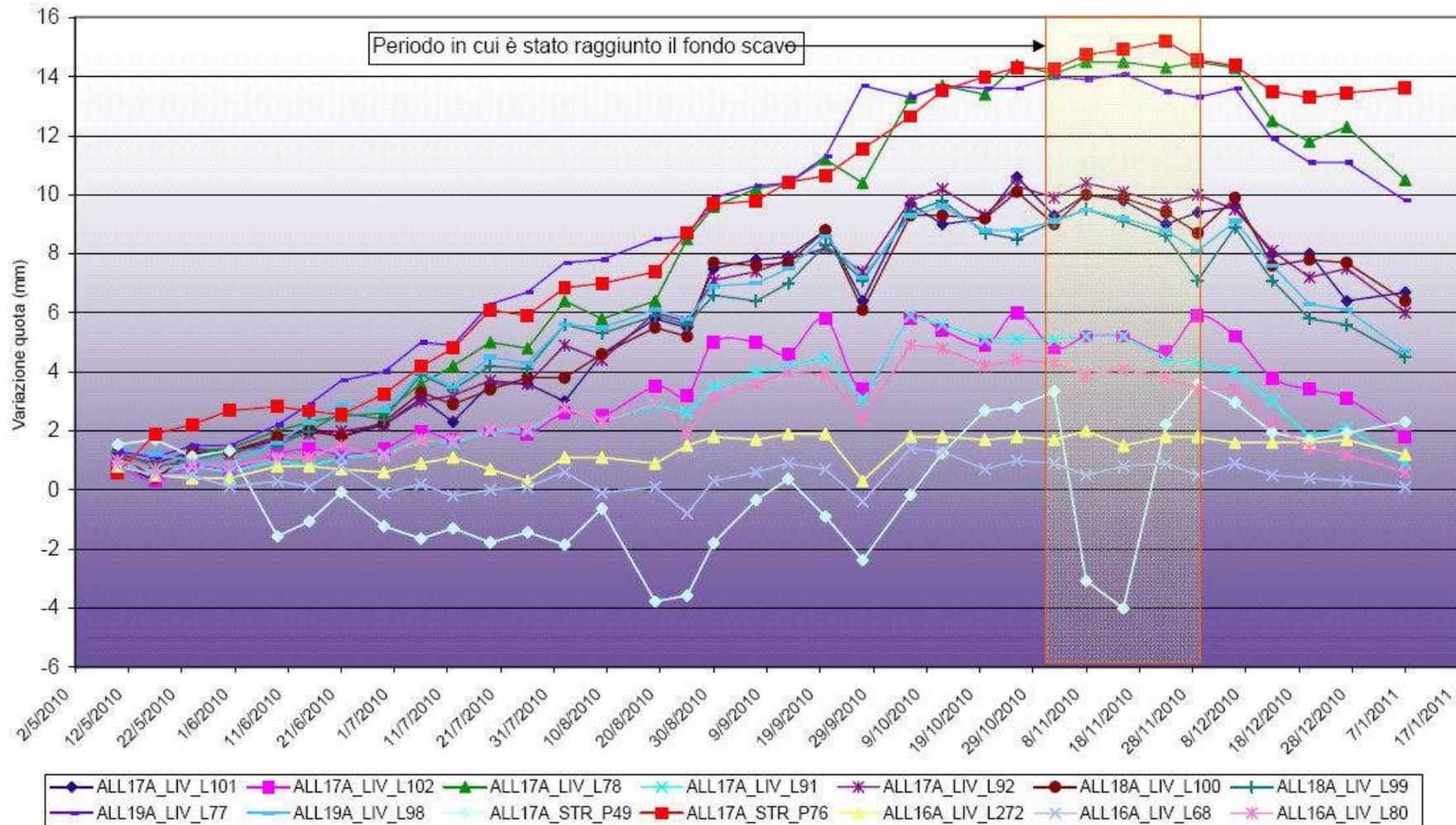
1. La registrazione dei cedimenti: 4.5cm, dicembre 2005 – dicembre 2007
2. L'interpretazione dei fenomeni: effetto della realizzazione dei tiranti
3. La Back analysis FEM (sezione all. 50-51)
4. La previsione dei cedimenti per lo scavo del camerone



La Stazione AV di Bologna – Il monitoraggio topografico

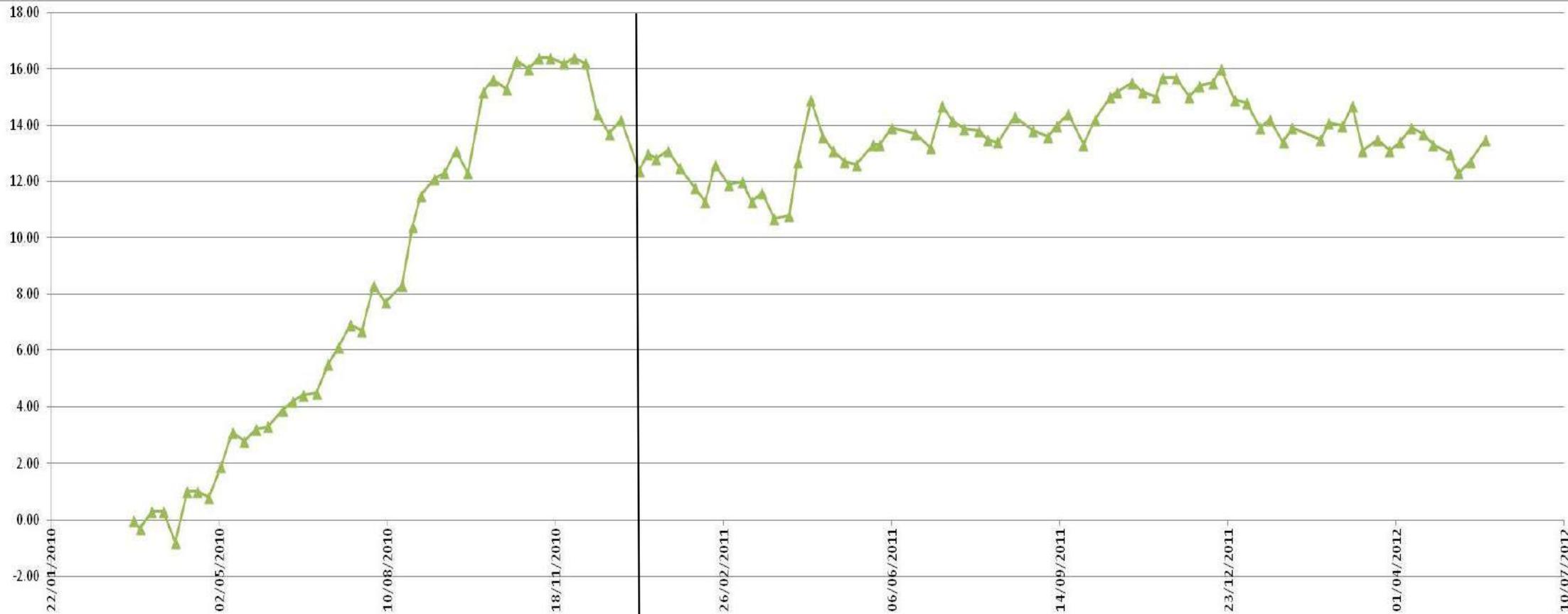
La fase di scavo del camerone: il sollevamento del piano campagna a monte

Movimenti caposaldi e mire ALL. 17-18 periodo Maggio 2010 - Gennaio 2011



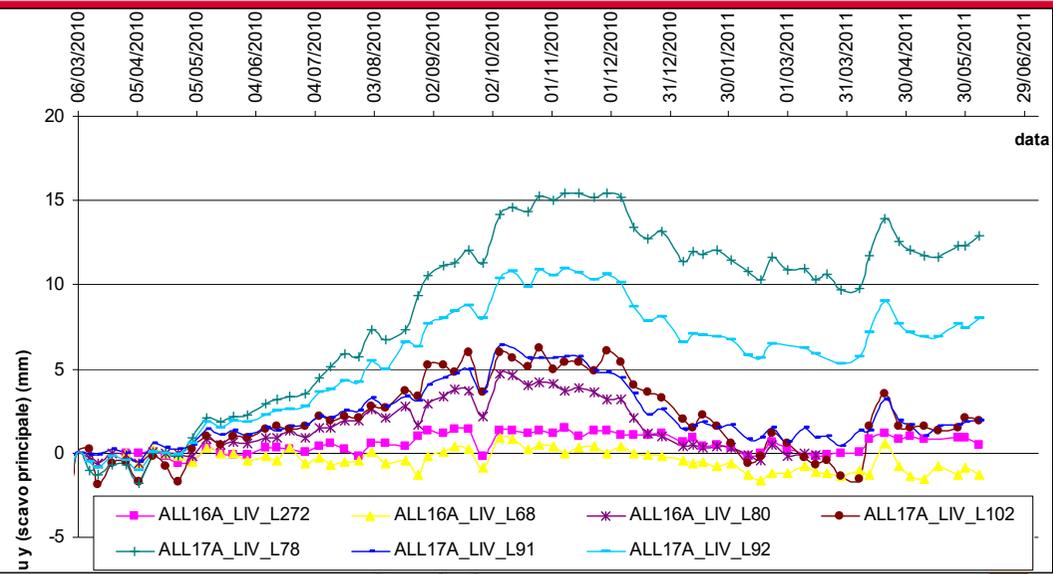
La Stazione AV di Bologna – Il monitoraggio topografico

Livello Digitale: ALL17A_LIV_L78

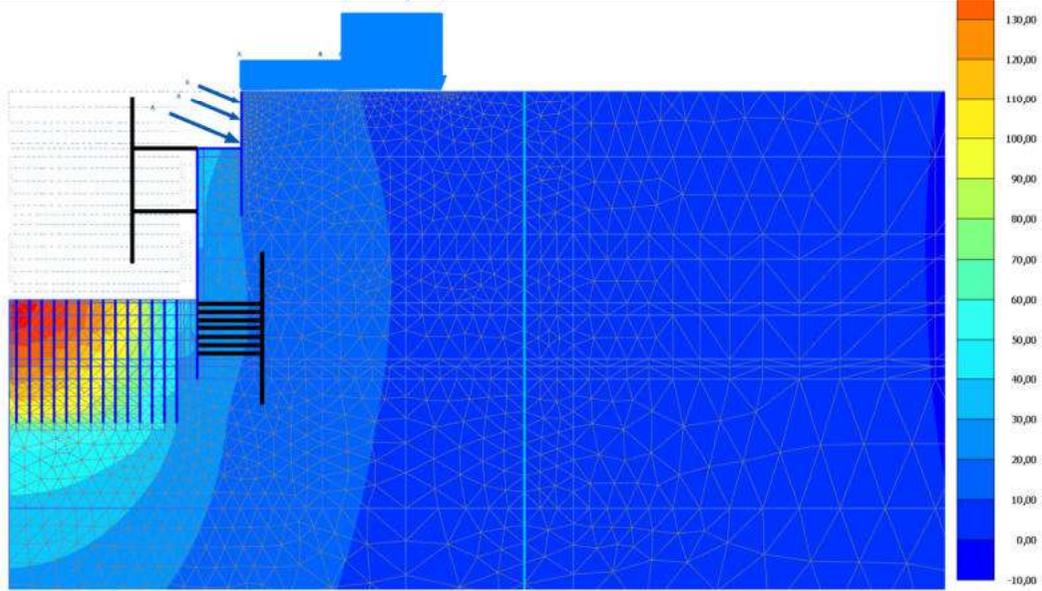
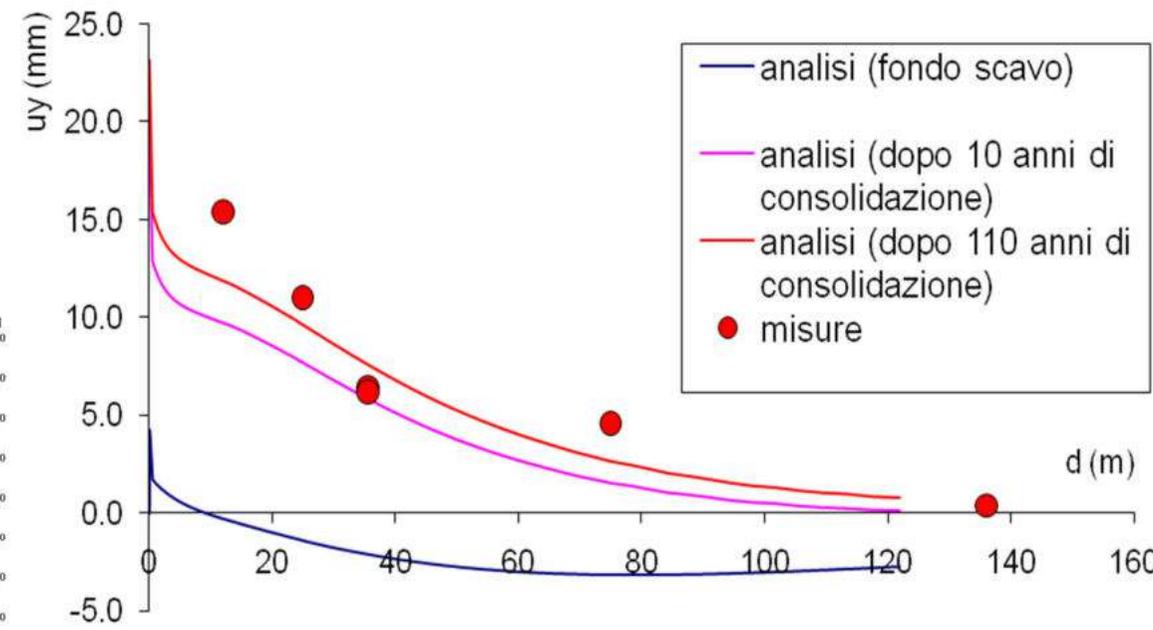


L'esaurimento del fenomeno deformativo ad un anno dal completamento degli scavi

La taratura del modello agli Elementi Finiti – Gli spostamenti verticali



Campo standard (allineamento 15)



Due contributi che si compensano:

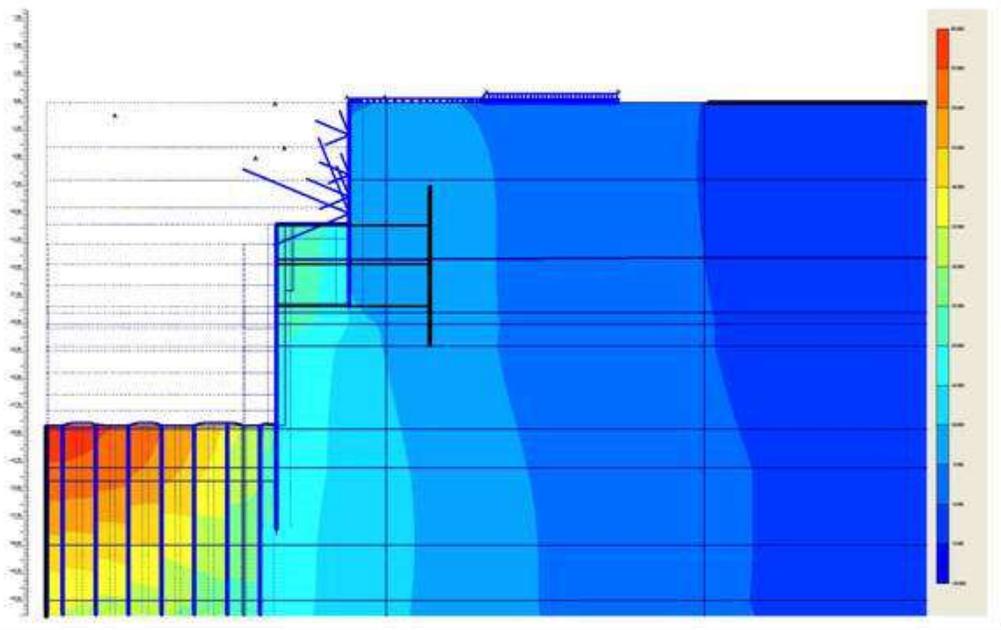
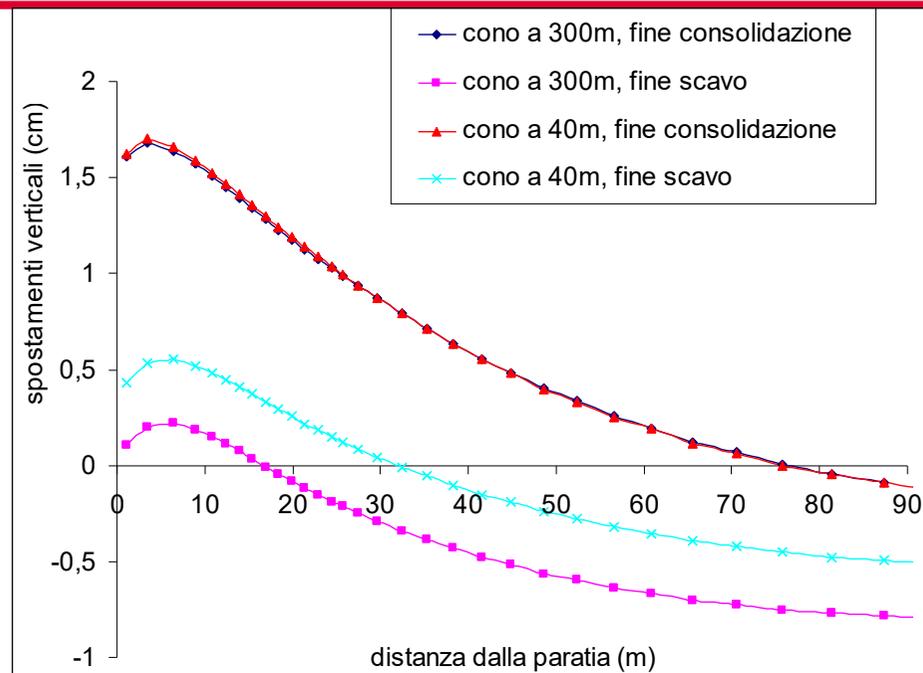
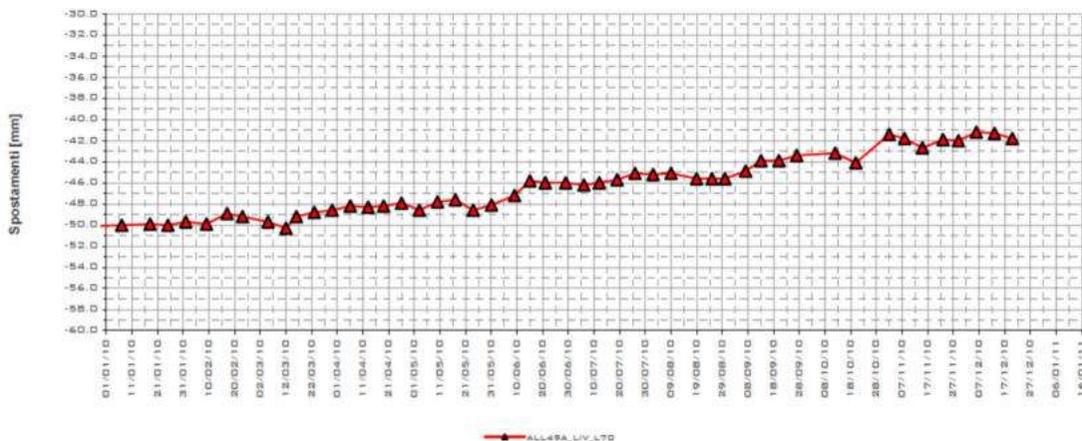
- rigonfiamento elastico del terreno
- abbassamento della falda

Rigidezza paratie → No subsidenza

La taratura del modello agli Elementi Finiti – Gli spostamenti verticali

Testata lato Firenze

16 Livellazioni Ed. Via Carracci N°7



Spostamenti sovrastimati: il modello piano non tiene conto della presenza della testata (tridimensionalità)

Due contributi che si compensano:

- rigonfiamento elastico del terreno
- abbassamento della falda

Rigidezza paratie → No subsidenza

La Stazione AV di Bologna – Il monitoraggio satellitare

OBBIETTIVO PRINCIPALE: monitoraggio antecedente la realizzazione dell'opera

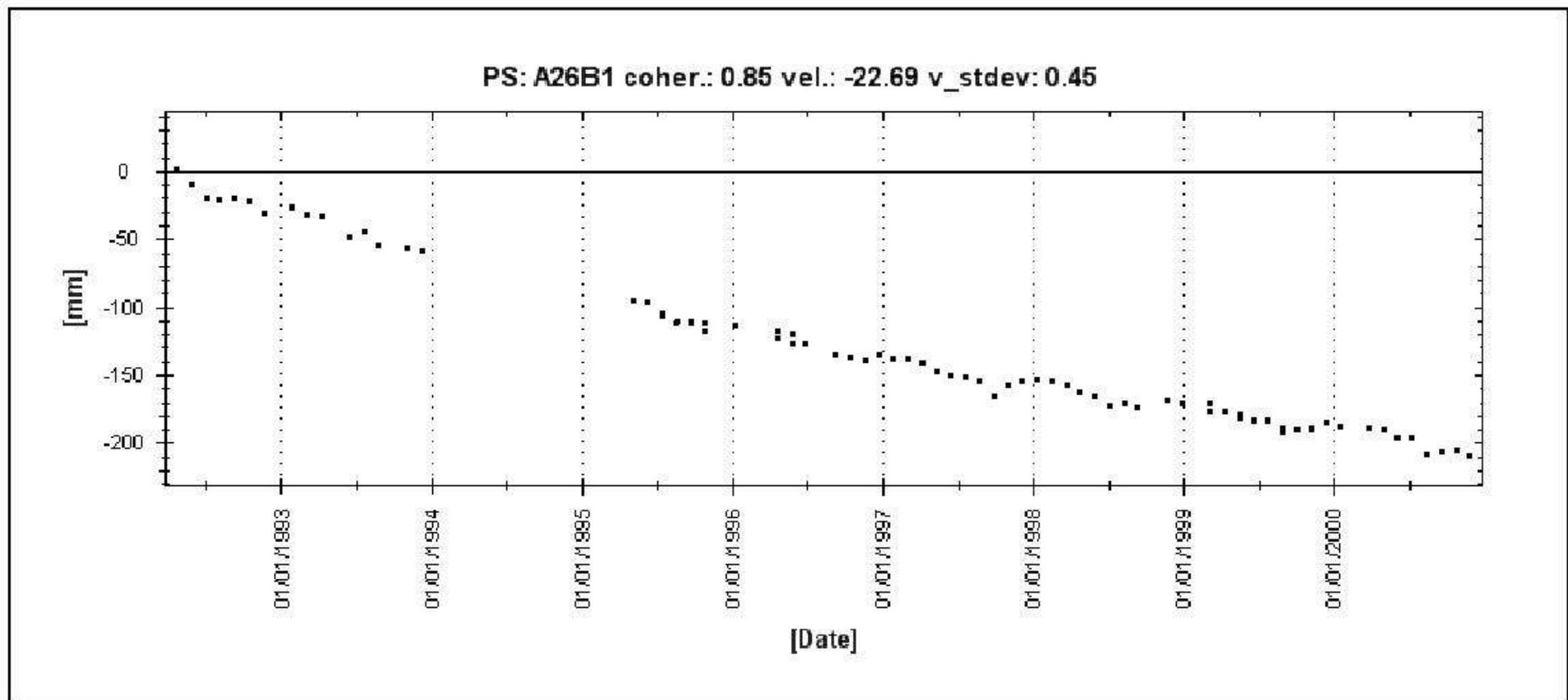


Figura 5: Trend medio dell'area per il dato ERS 1992-2000.

La Stazione AV di Bologna – Il monitoraggio satellitare

OBBIETTIVO PRINCIPALE: monitoraggio antecedente la realizzazione dell'opera

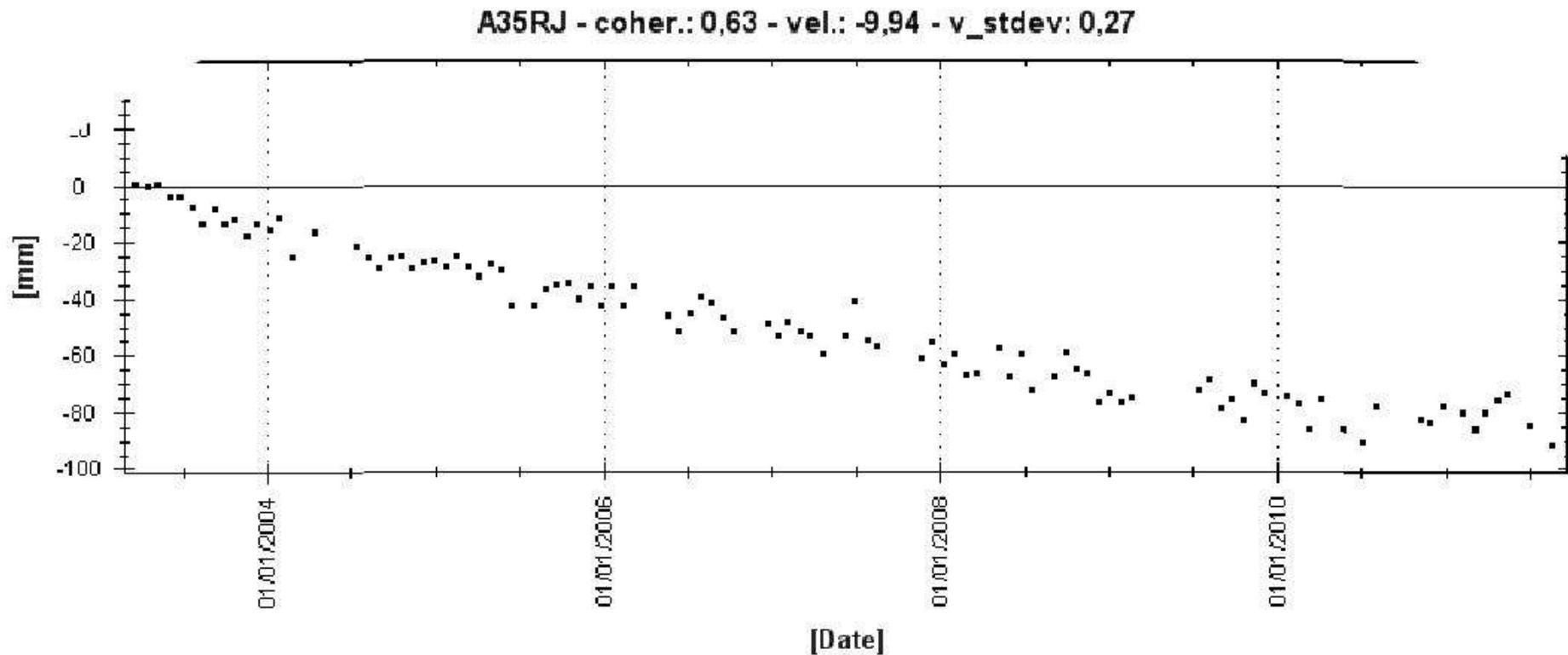
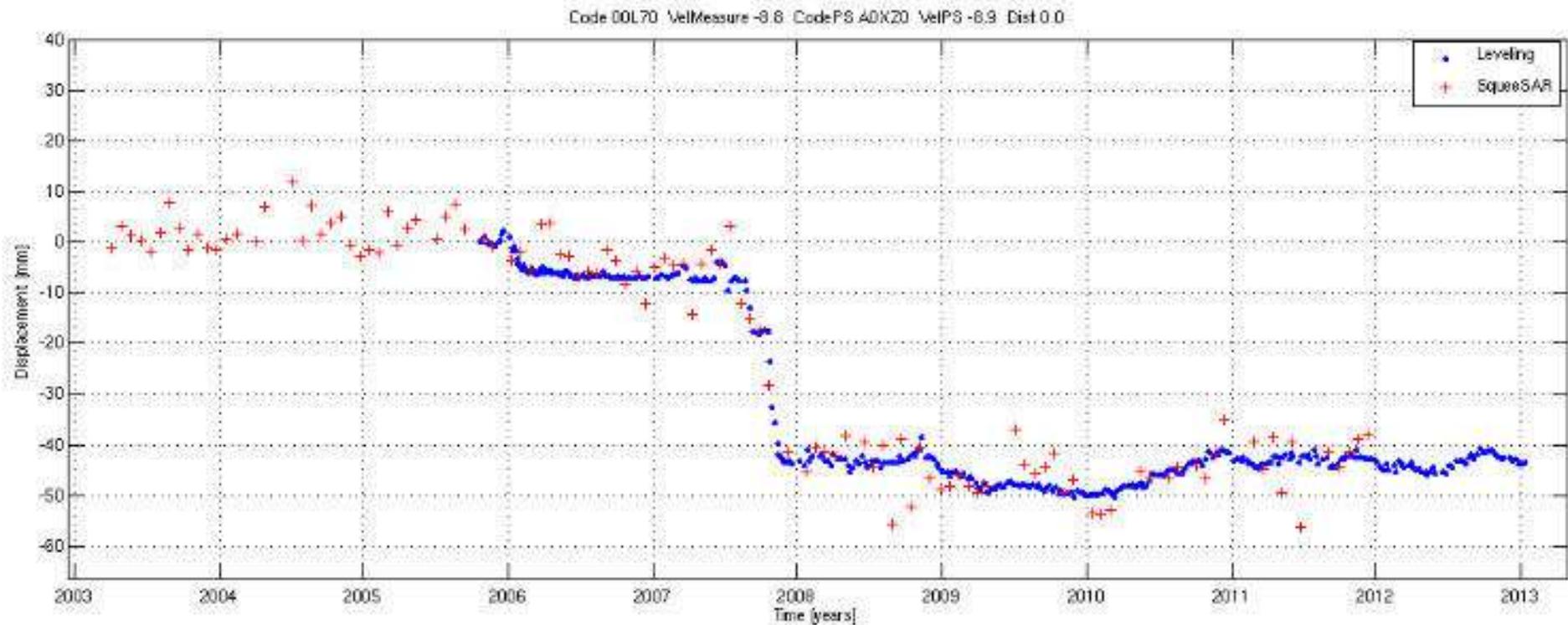


Figura 7: Trend medio dell'area per il dato RSAT 2003-2011.

La Stazione AV di Bologna – Il monitoraggio satellitare

Confronto con monitoraggio topografico

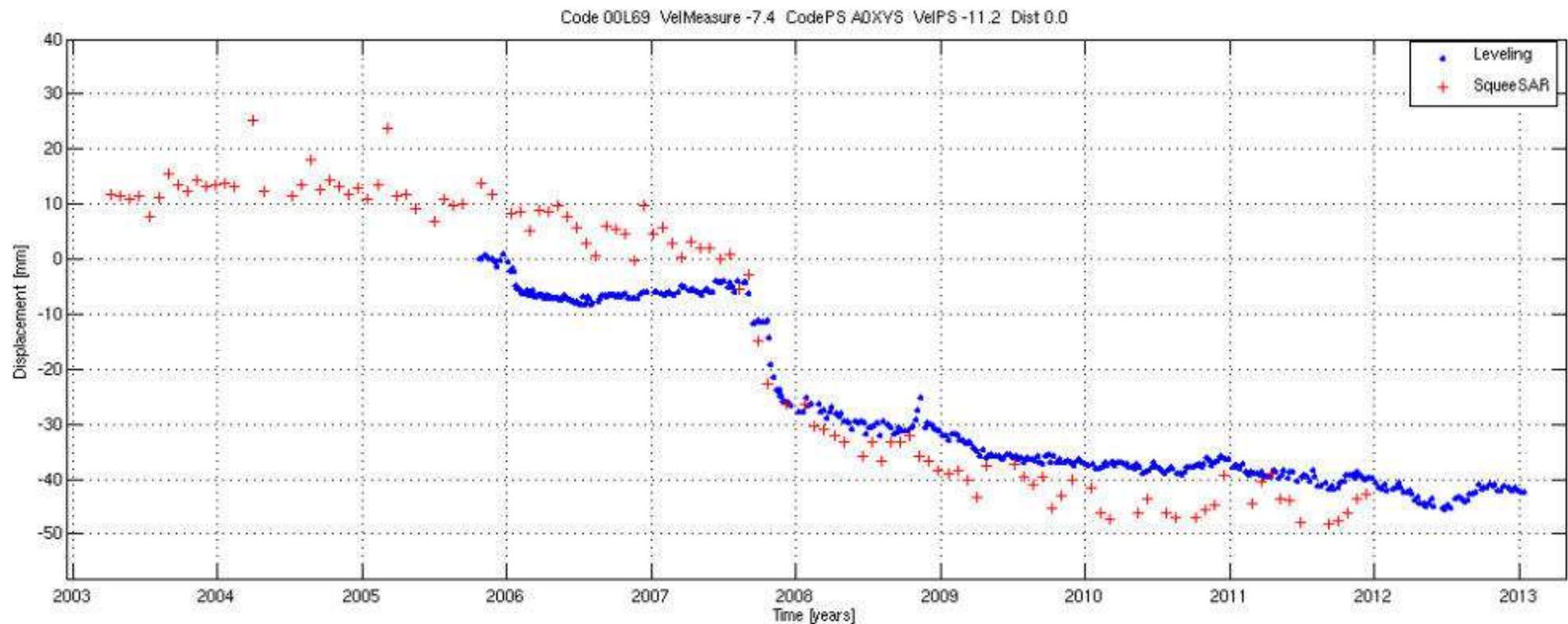
PSA0XZO – LIV_L70



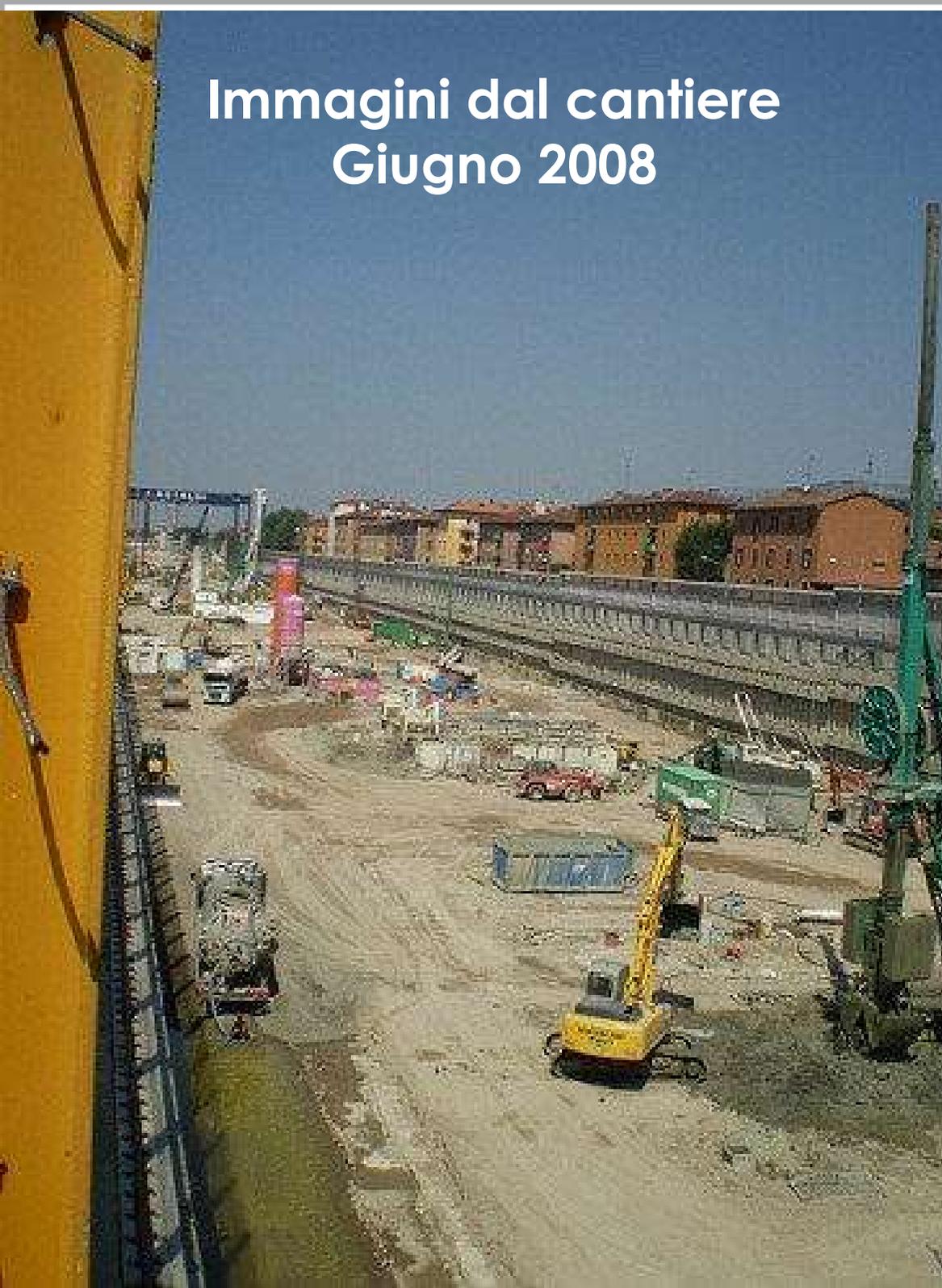
La Stazione AV di Bologna – Il monitoraggio satellitare

Confronto con monitoraggio topografico

PSA0XYS – LIV_L69



Immagini dal cantiere
Giugno 2008



Gennaio 2011



Immagini dal cantiere











