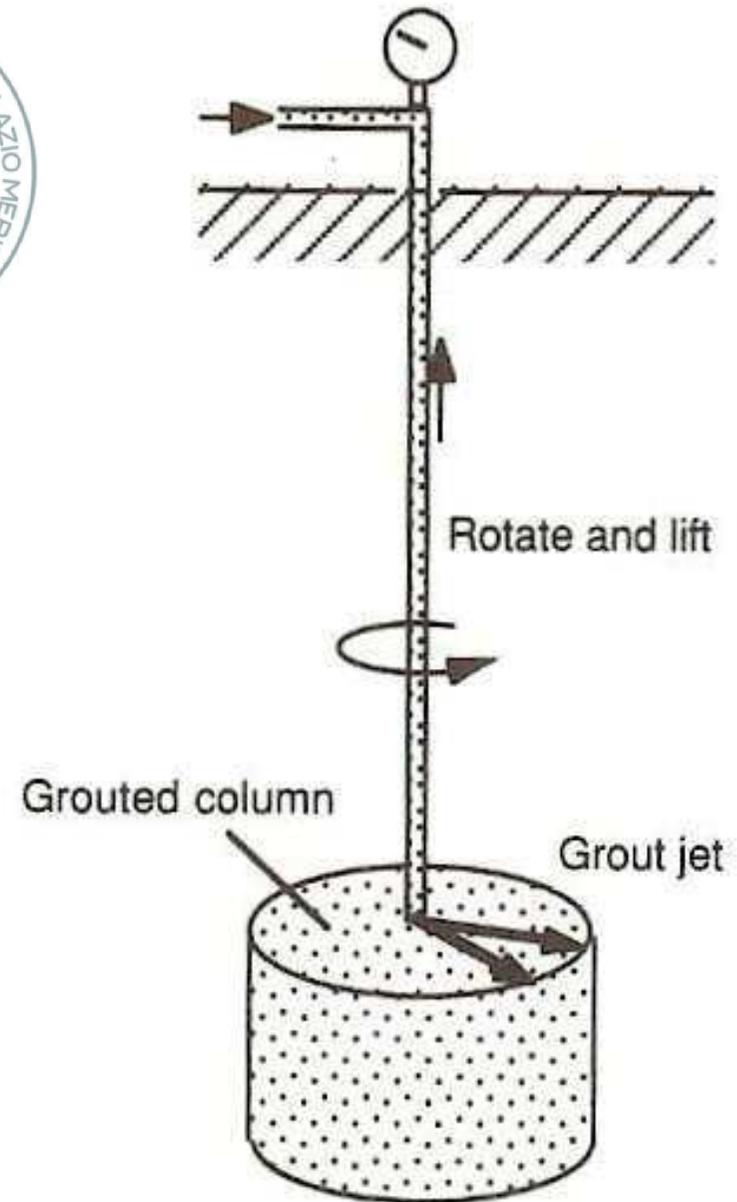


Seconda Parte: Applicazioni e Casi di Studio



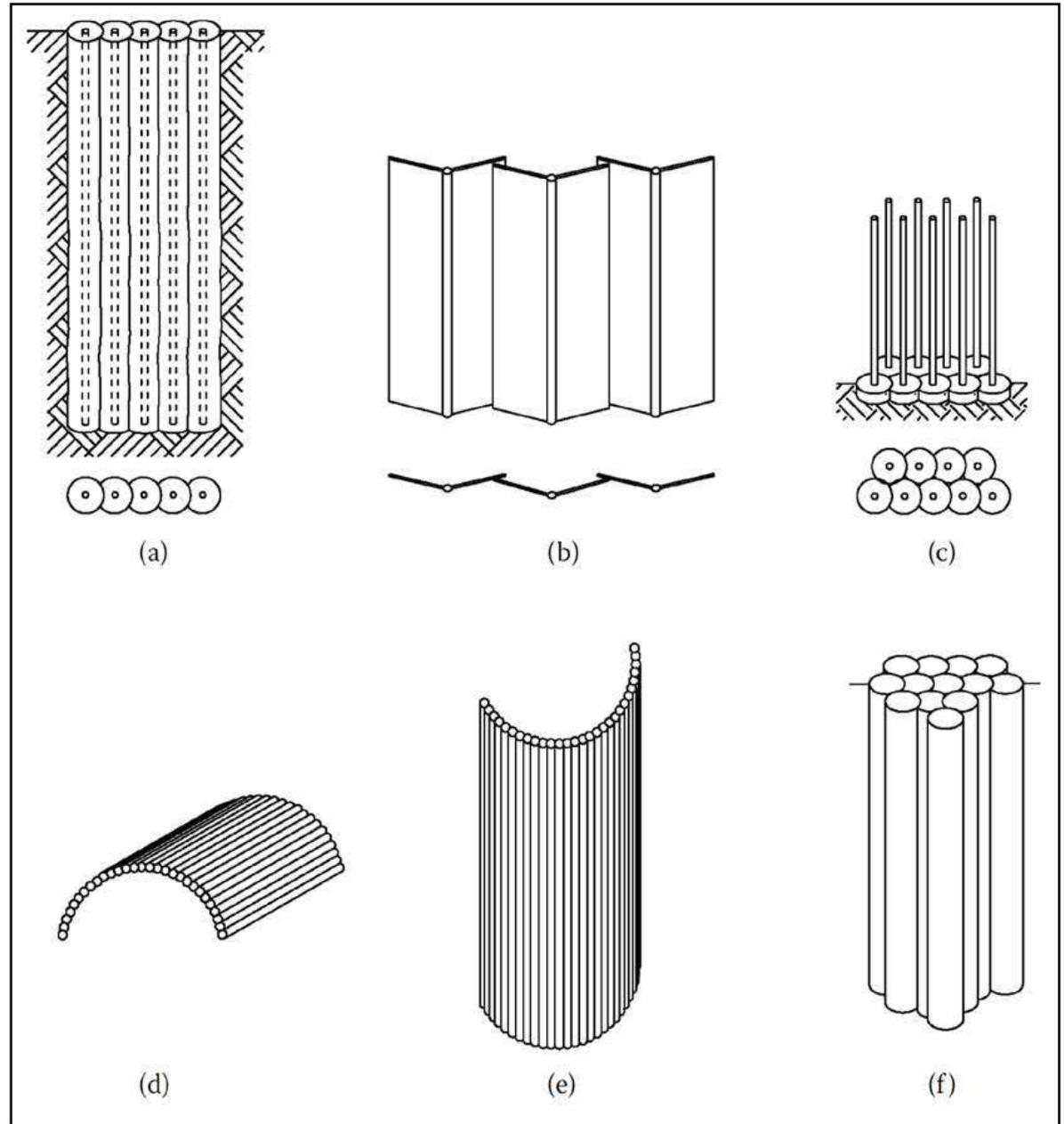
JET GROUTING Tecnica - Progetto - Controllo

prof. ing. Paolo Croce
Imola, 15-16 ottobre 2019



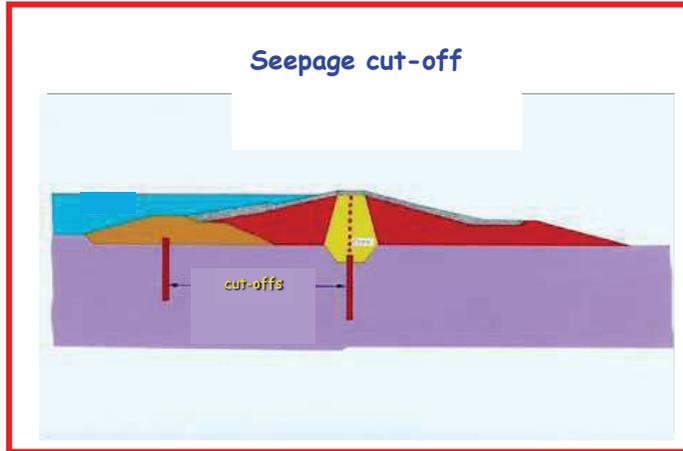
ELEMENTI DI JET GROUTING

- a) diaframma di colonne
- b) diaframma di pannelli
- c) piastra orizzontale
- d) arco ad asse orizzontale
- e) arco ad asse verticale
- f) blocco

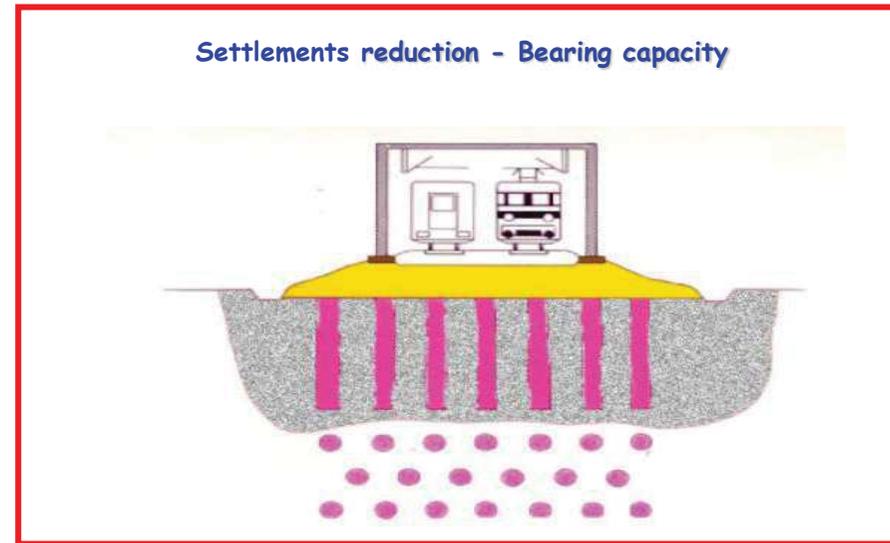


APPLICAZIONI DEL JET GROUTING

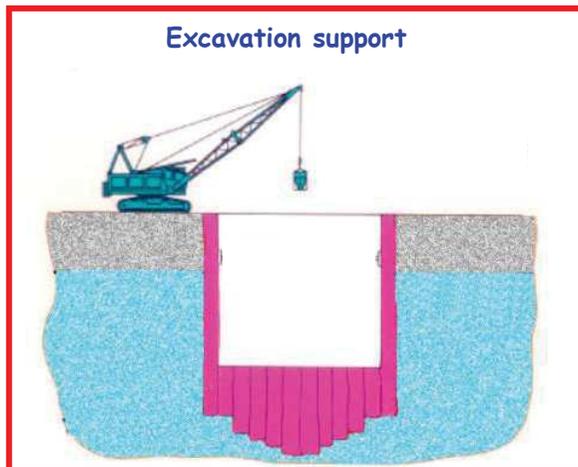
• DIAFRAMMI IMPERMEABILI



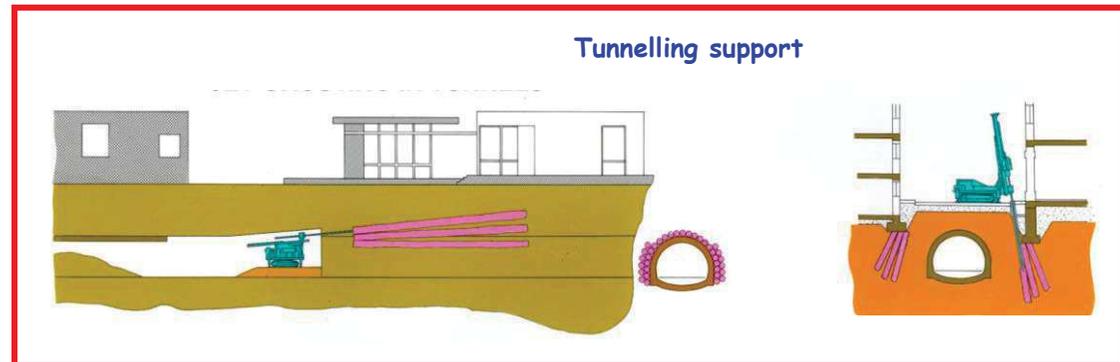
• FONDAZIONI



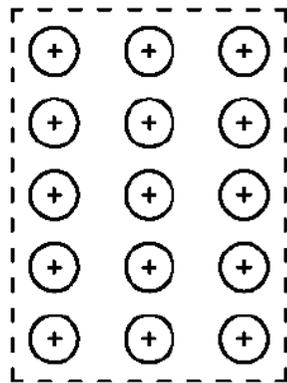
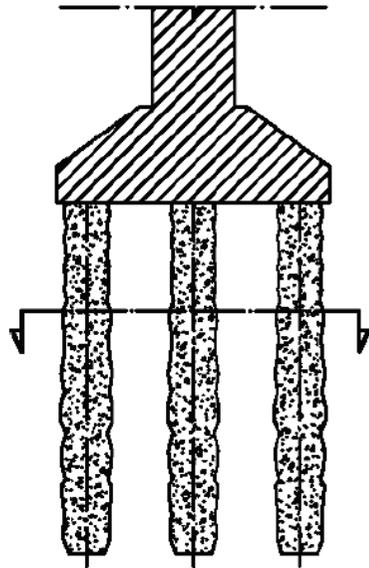
• OPERE DI SOSTEGNO



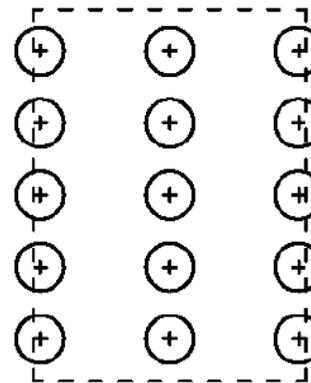
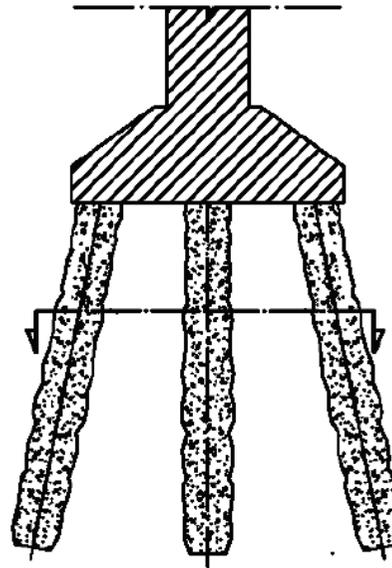
• GALLERIE



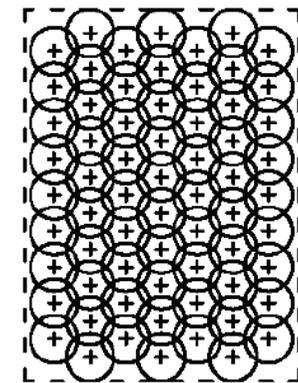
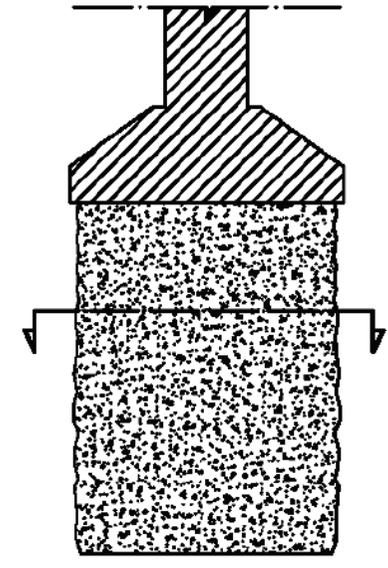
FONDAZIONI



(a)



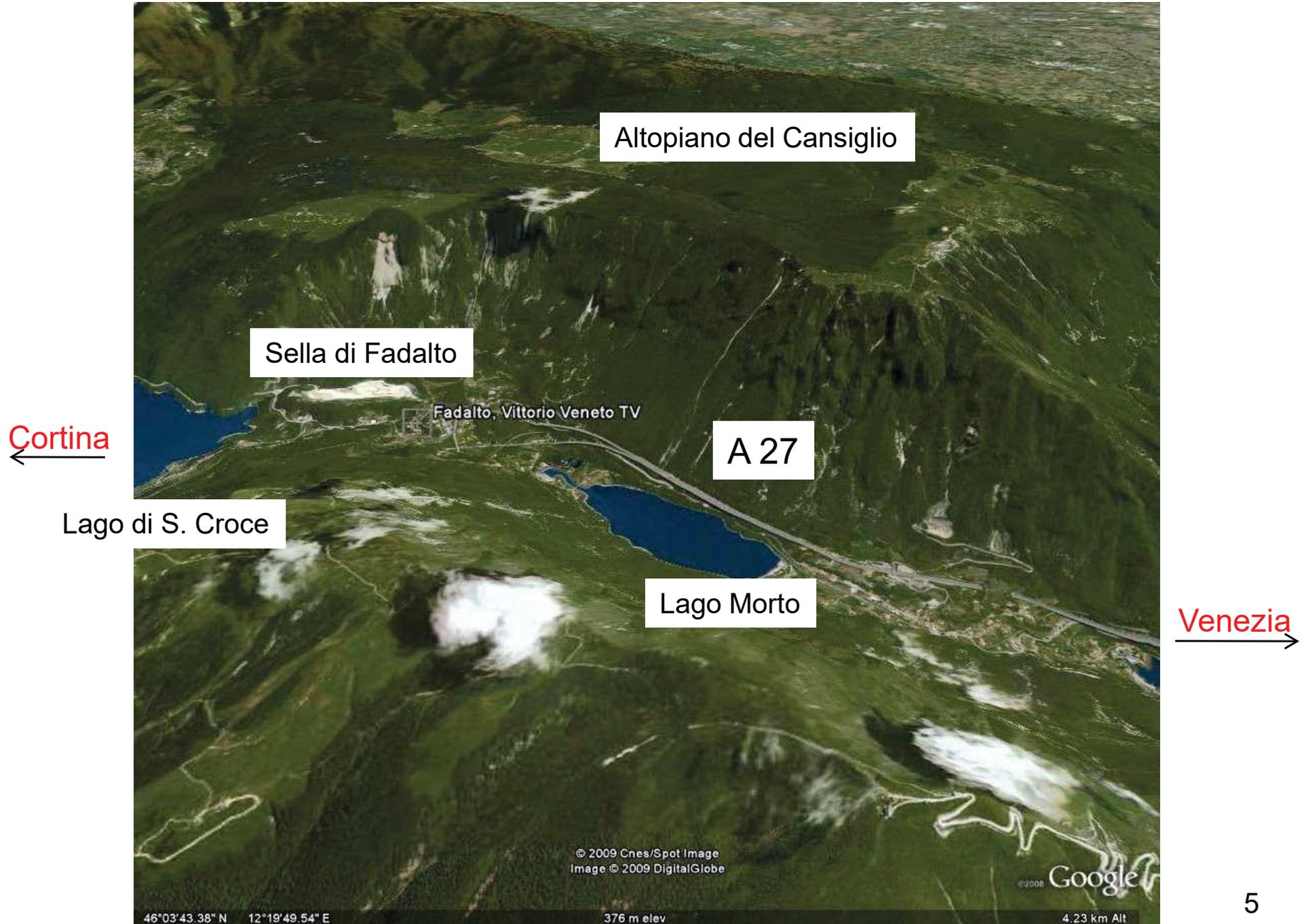
(b)



(c)

(a) & (b) colonne isolate; (c) blocco di colonne compenstrate

FONDAZIONI A BLOCCO: VIADOTTO FADALTO (1988-90)



COSTRUZIONE DELLE PILE MEZZA COSTA: vista dal lago Morto

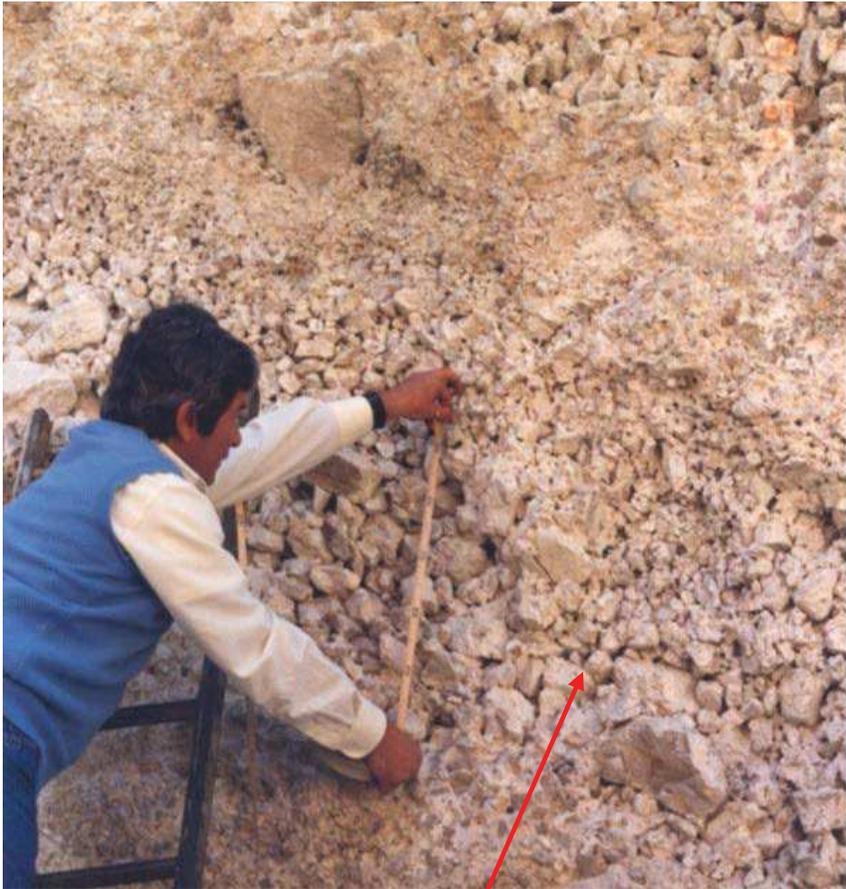


VIADOTTO FADALTO: FASI COSTRUTTIVE

strati inclinati di ghiaia e ghiaia sabbiosa

VIADOTTO FADALTO: REALIZZAZIONE DELLA "CUFFIA"

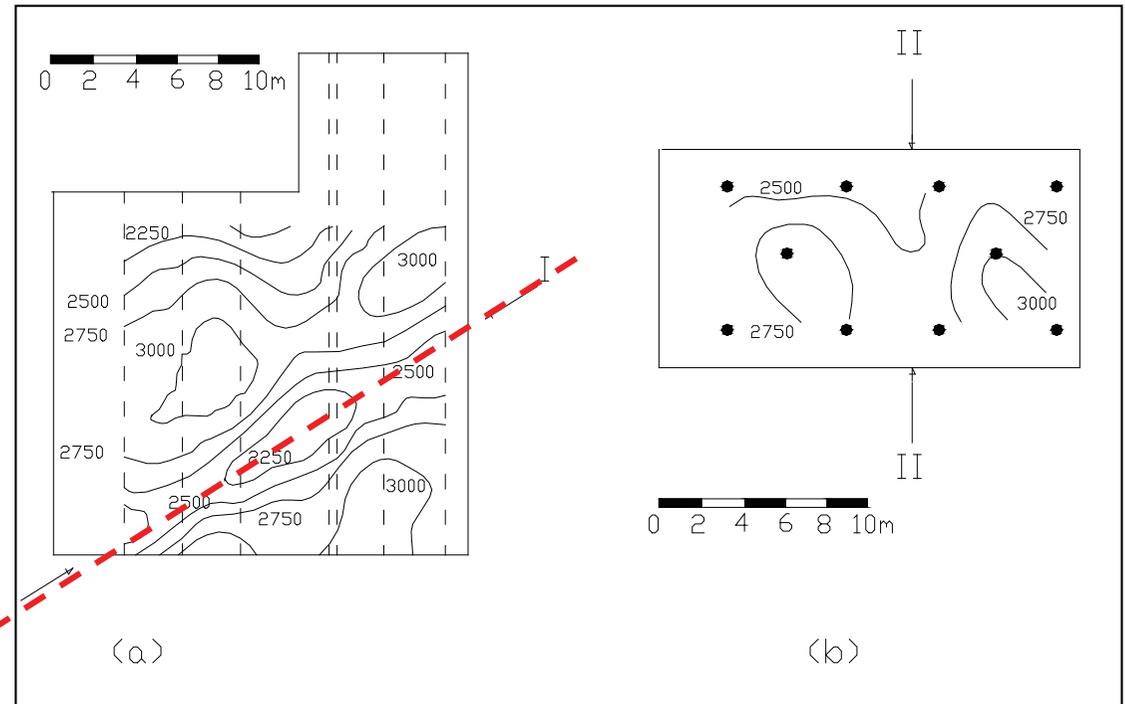




VIADOTTO FADALTO: OSSERVAZIONI E MISURE

misure cross-hole

Strato di ghiaia "pulita"



VIADOTTO FADALTO: FONDAZIONE « A GRADINI»

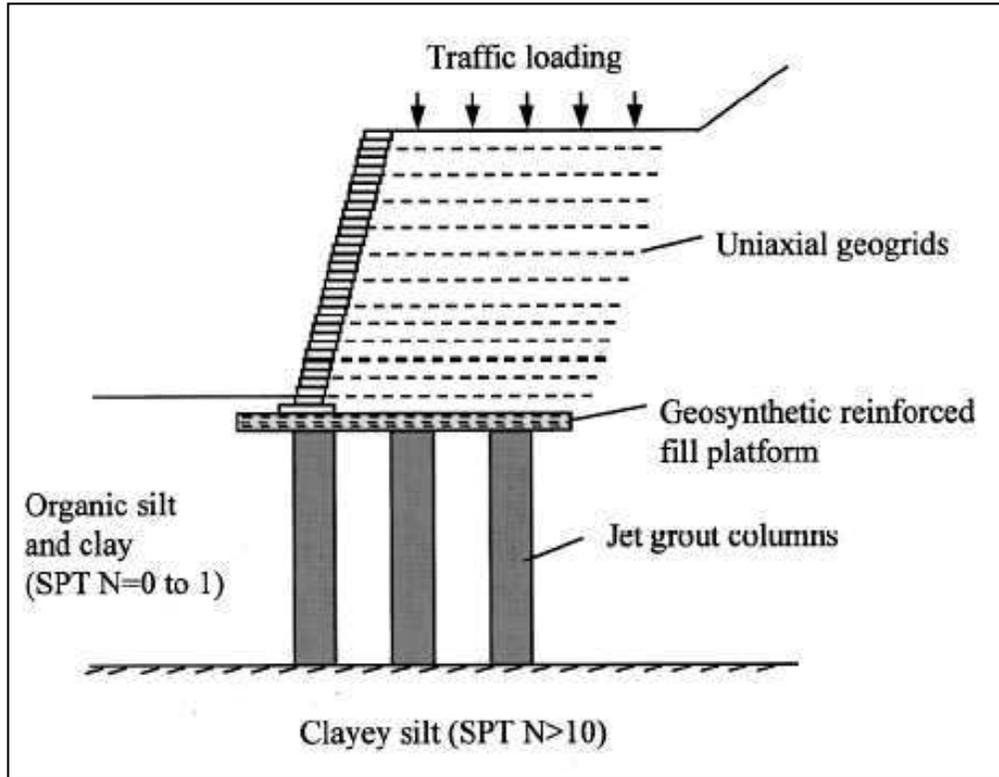


Jet Grouting

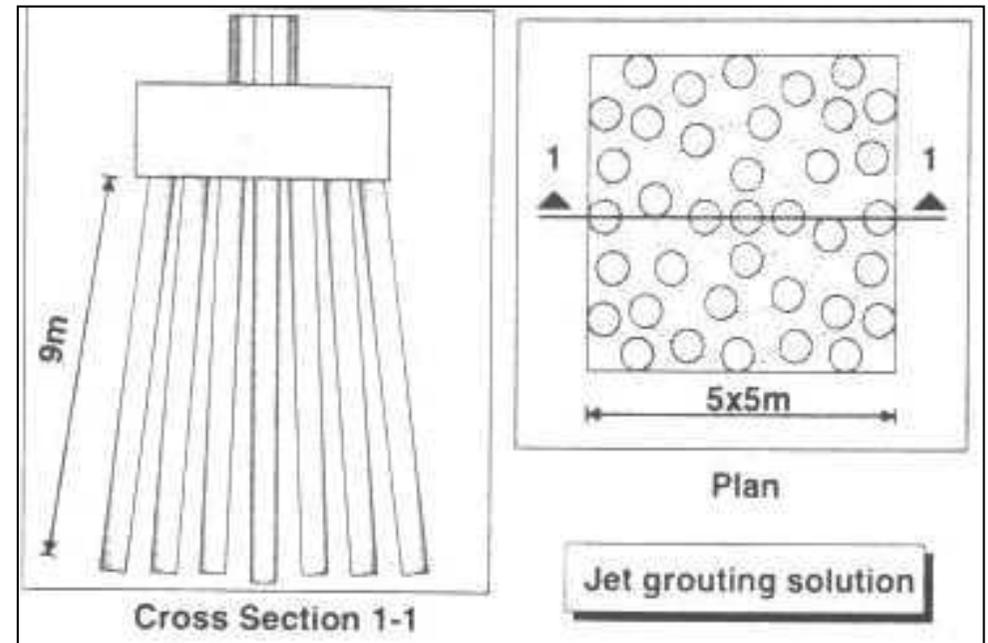
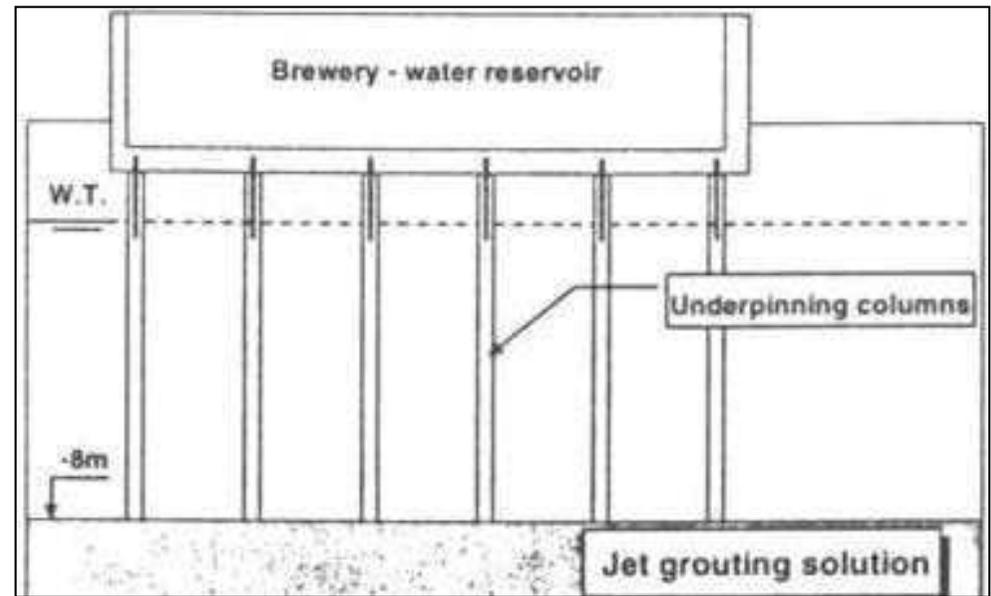
Armatura e Iniezioni



COLONNE ISOLATE

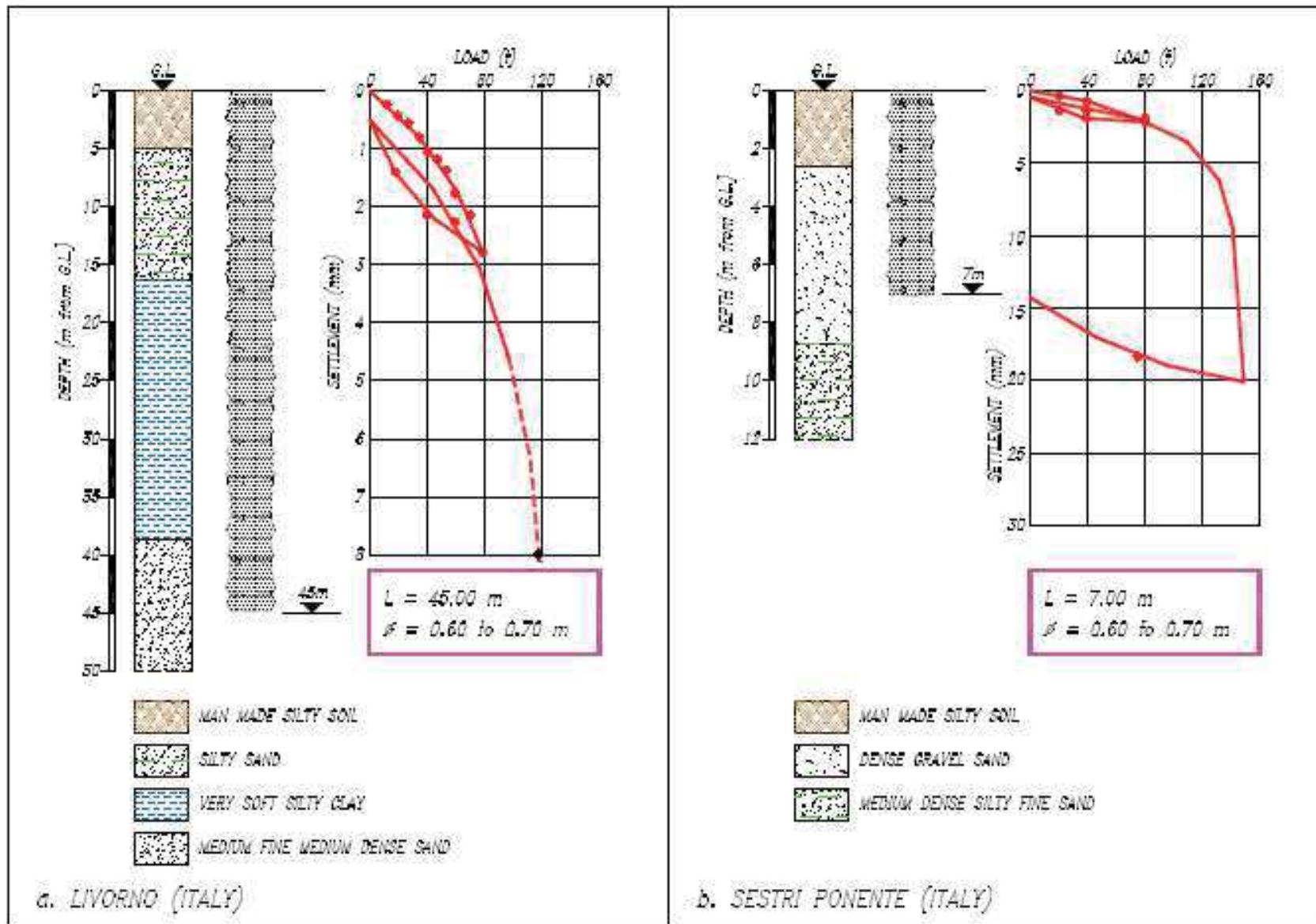


RILEVATO
(Alzamora et al. 2000)



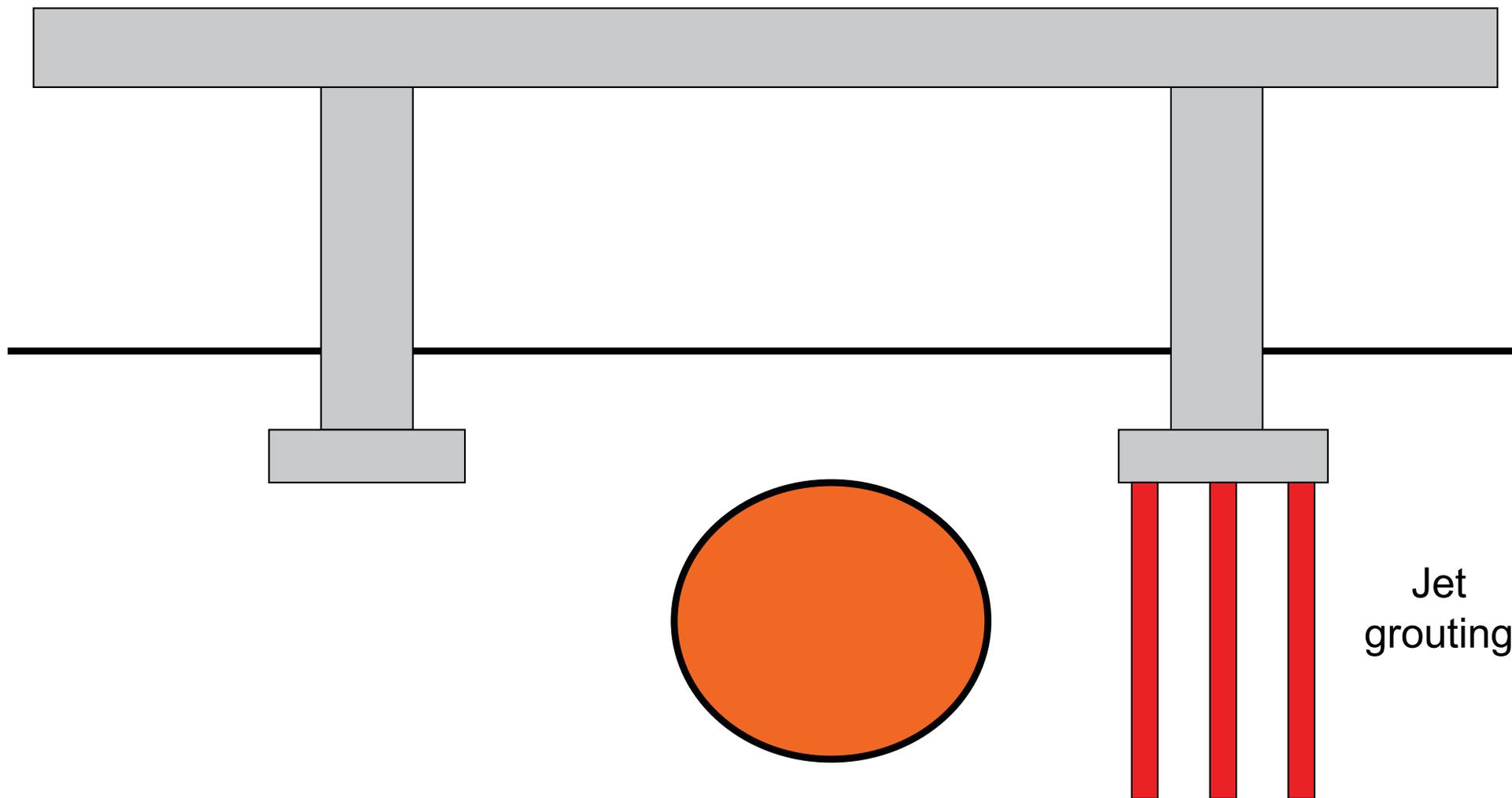
SERBATOIO e VIADOTTO
isola di Madeira (Falcao et al. 2001)

PROVE DI CARICO (Garassino. 1997)



SOTTOFONDAZIONE DELLE PILE DI UN VECCHIO PONTE

per il passaggio di una galleria
(Maertens & Maekelberg, 2001)



(Maertens & Maekelberg, 2001)

Prove di Carico & Sfilamento

Effetti osservati:

- La resistenza laterale mobilitata dal jet grouting è maggiore di quella calcolata per i pali (sia trivellati che battuti)
- In corrispondenza di un valore del carico di circa 1500 kN alcune colonne sono giunte a collasso
- Gli sforzi unitari stimati nella colonna erano di circa 5 MPa mentre le prove sui campioni prelevati mostravano resistenze superiori a 11 MPa

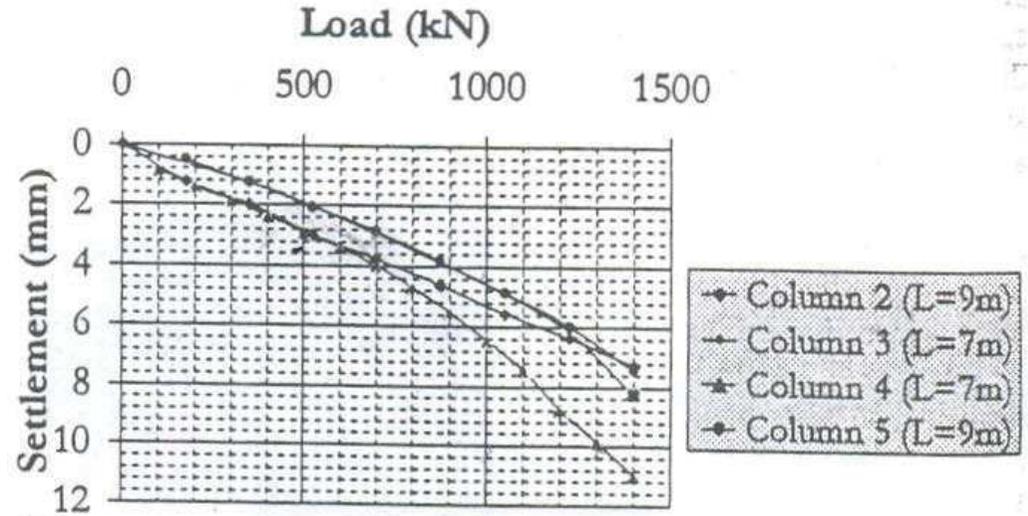


Figure 2. Load displacement diagram for axial loading tests

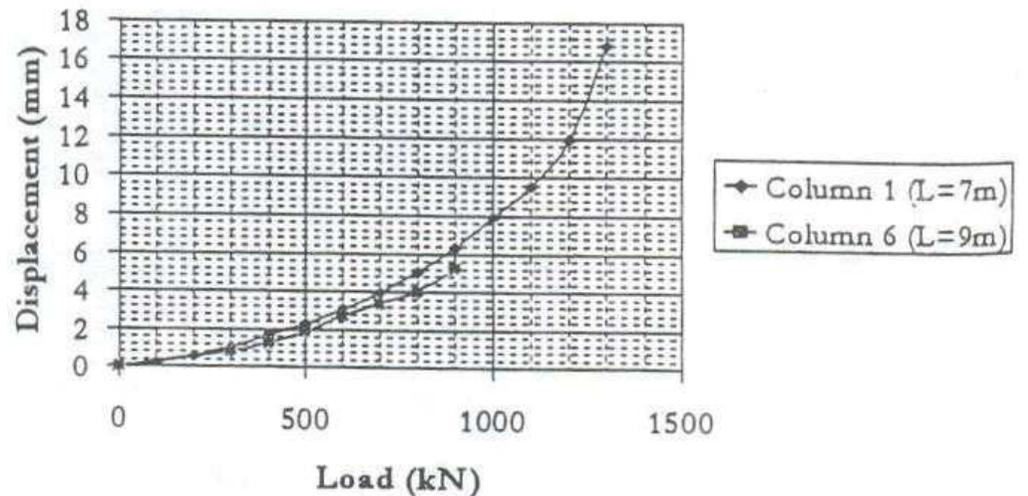


Figure 3. Load displacement diagram for the pull out test

Colonne di jet grouting $\phi = 51/65$ cm

SPIEGAZIONE: alla profondità di circa 3 m dal p.c. vi era una lente di spessore irrilevante (pochi centimetri) di materiale a grana fine, che probabilmente ha ridotto la resistenza del materiale o il diametro della colonna.

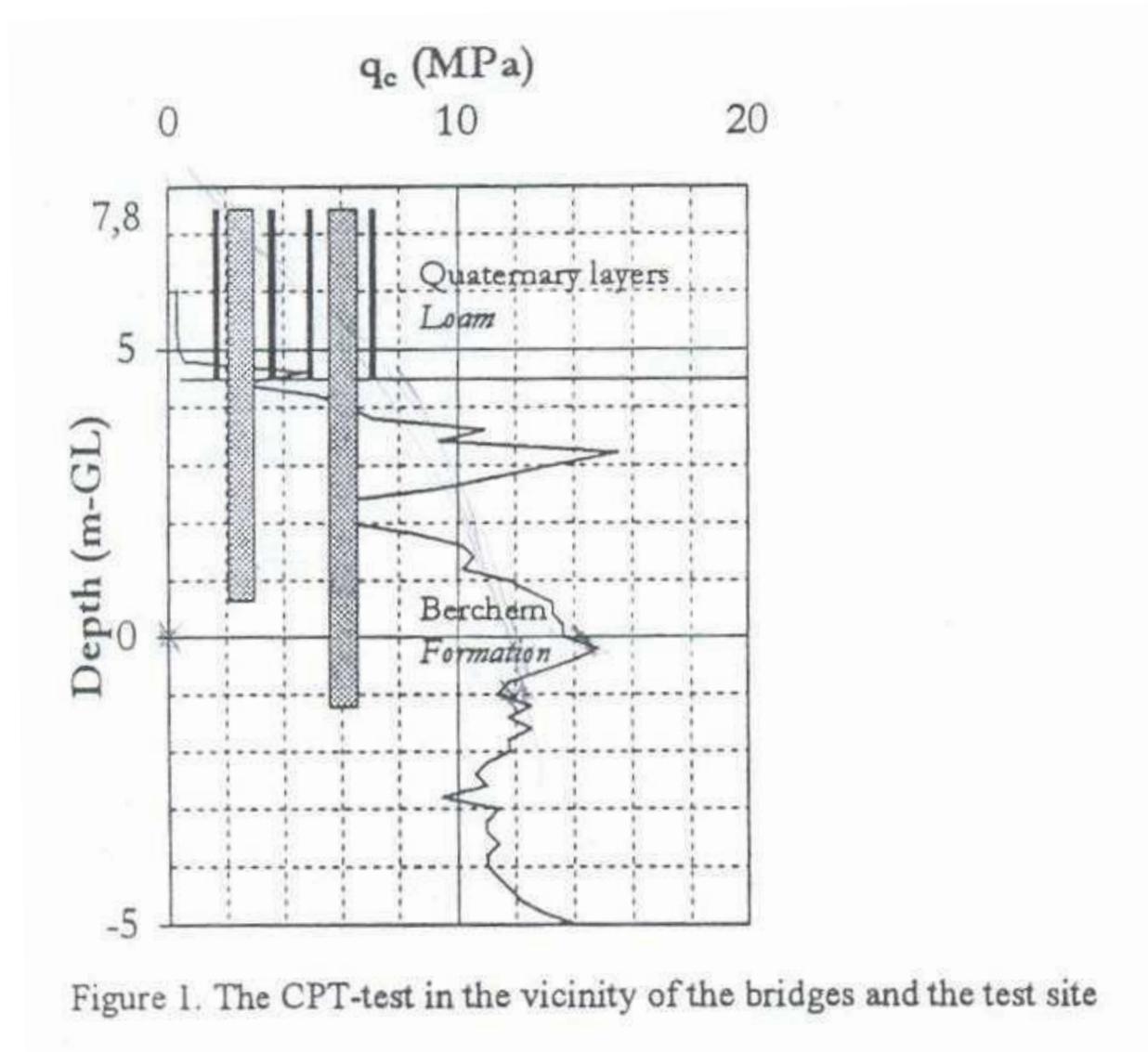
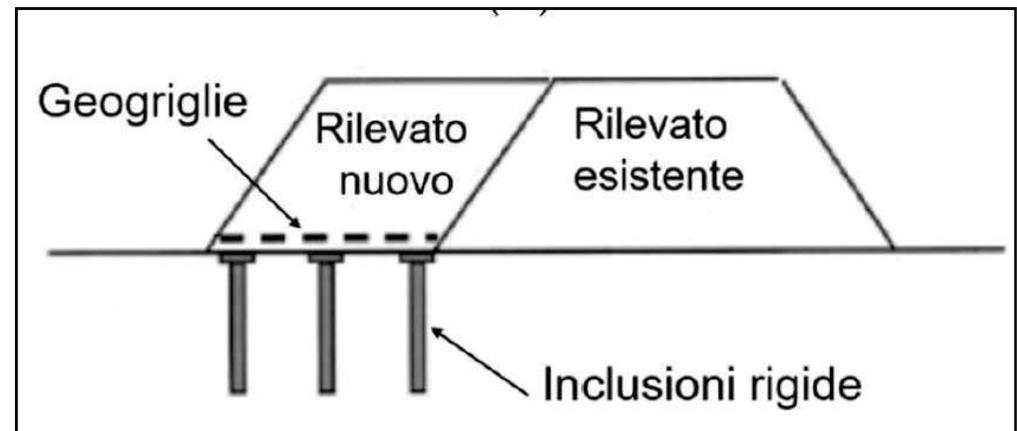
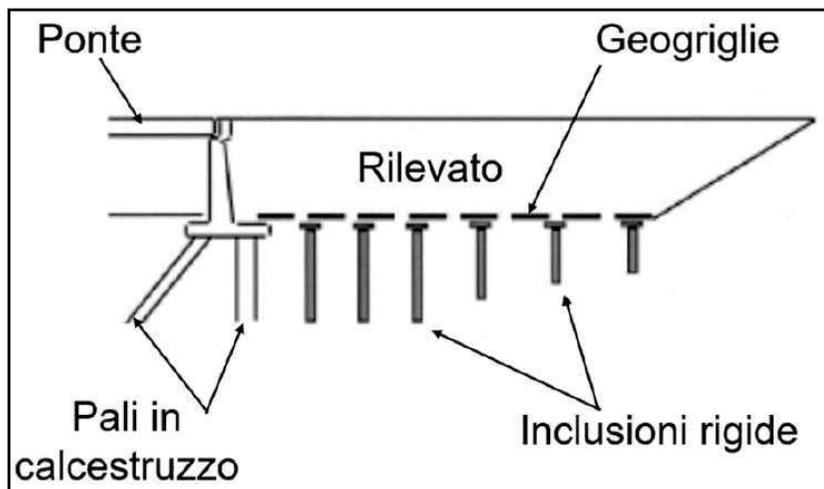
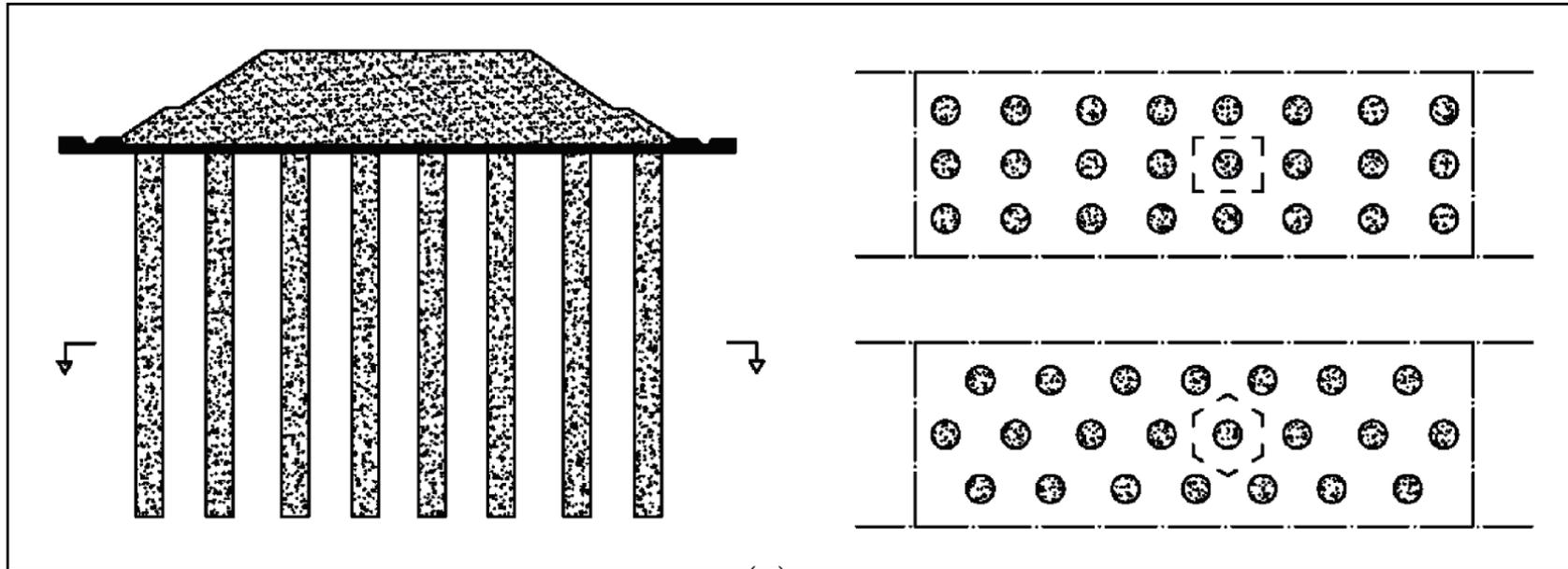


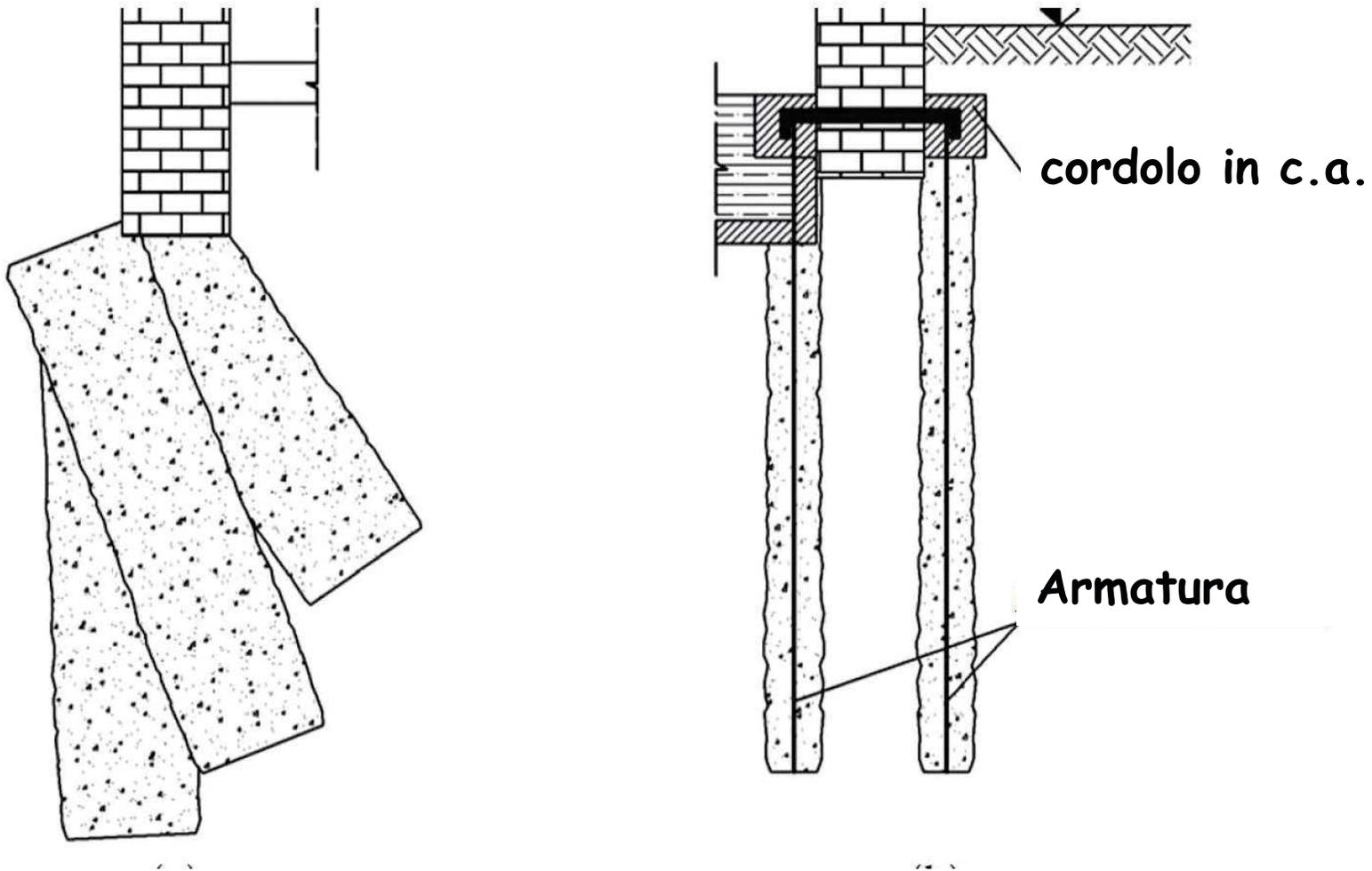
Figure 1. The CPT-test in the vicinity of the bridges and the test site

FONDAZIONI DEI RILEVATI



SOTTOFONDAZIONI

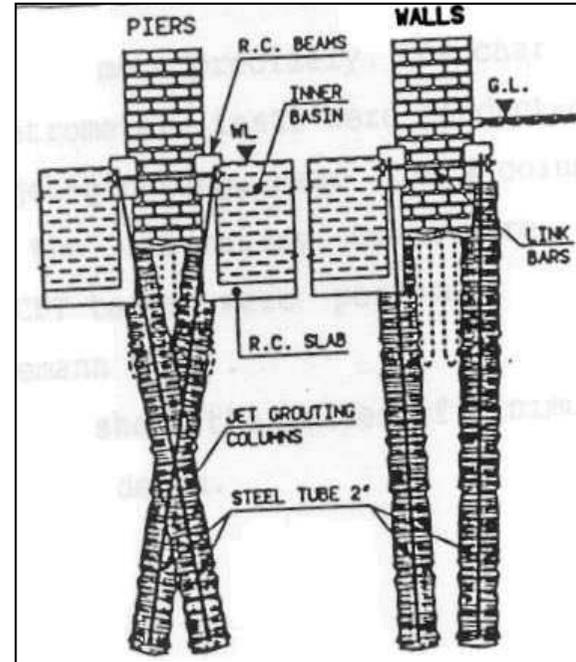
N.B. rischio di spostamenti indotti sulla struttura



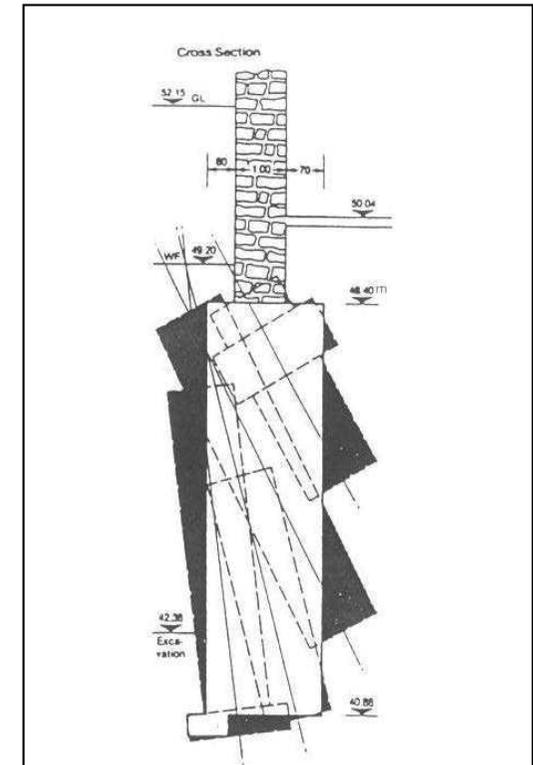
SOTTOFONDAZIONI



Sottofondazione con jet grouting di una chiesa (da Fiorotto, 2000).



(a)



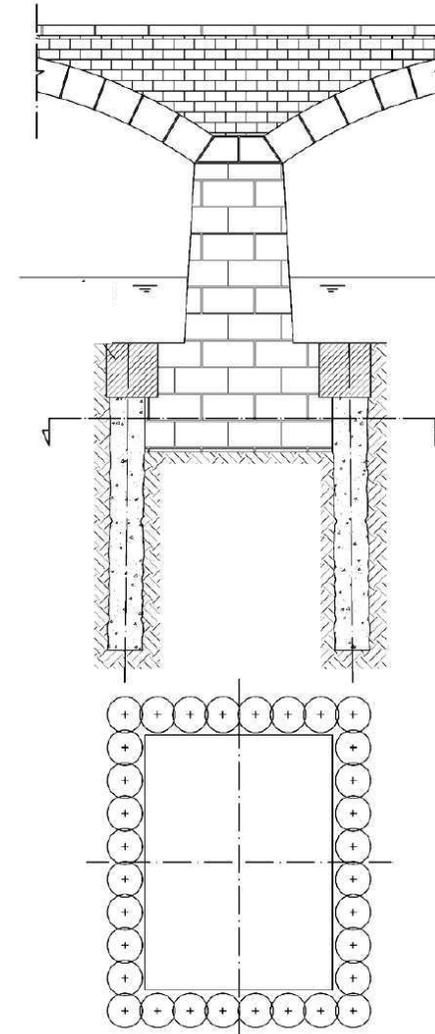
(b)

Interventi di consolidamento al di sotto di fondazioni in muratura (da Bertero et al., 1991 (a) e da Keller, 1985 (b)).

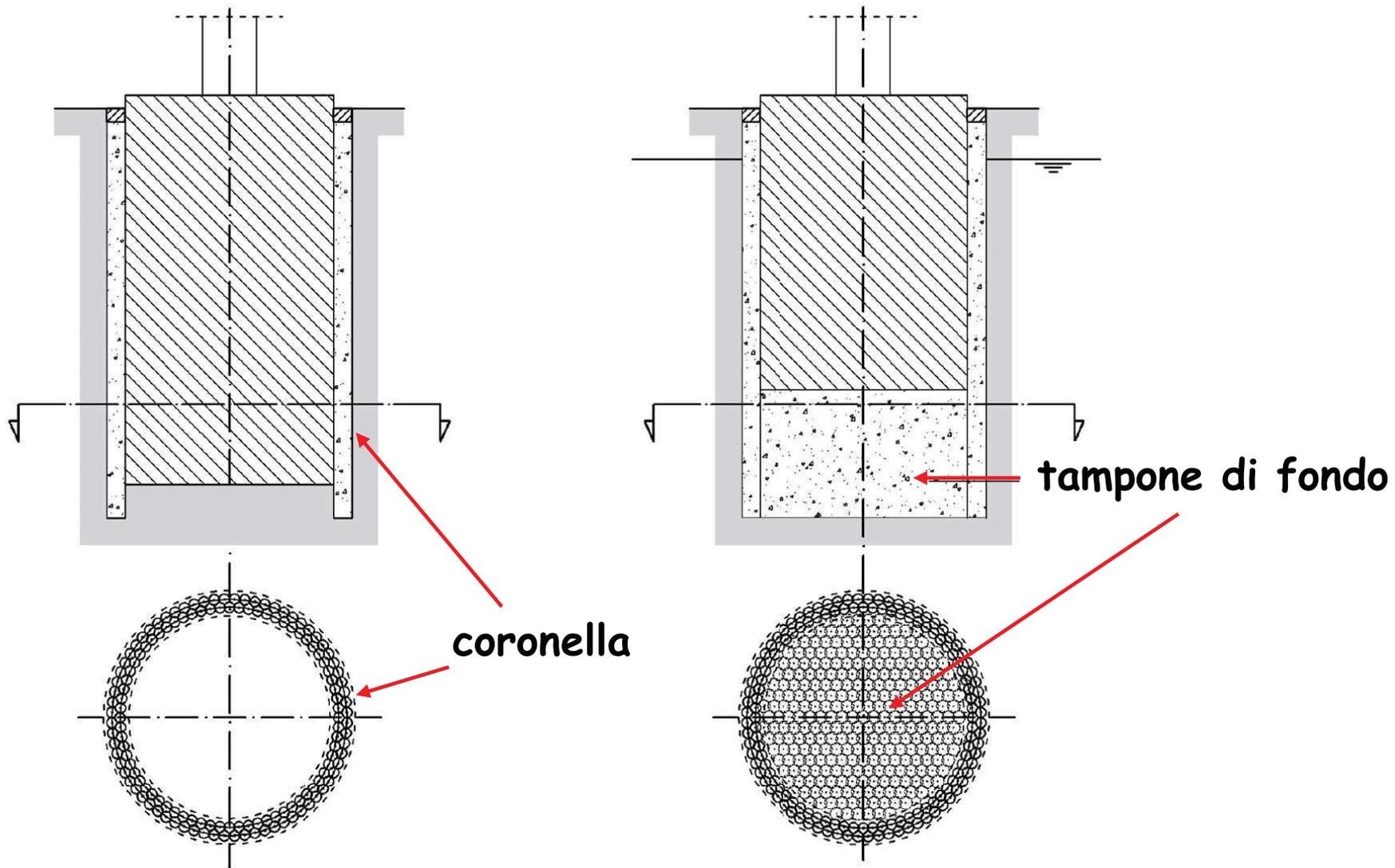
PROTEZIONE DALLO SCALZAMENTO IDRAULICO



(da Fiorotto, 2000)



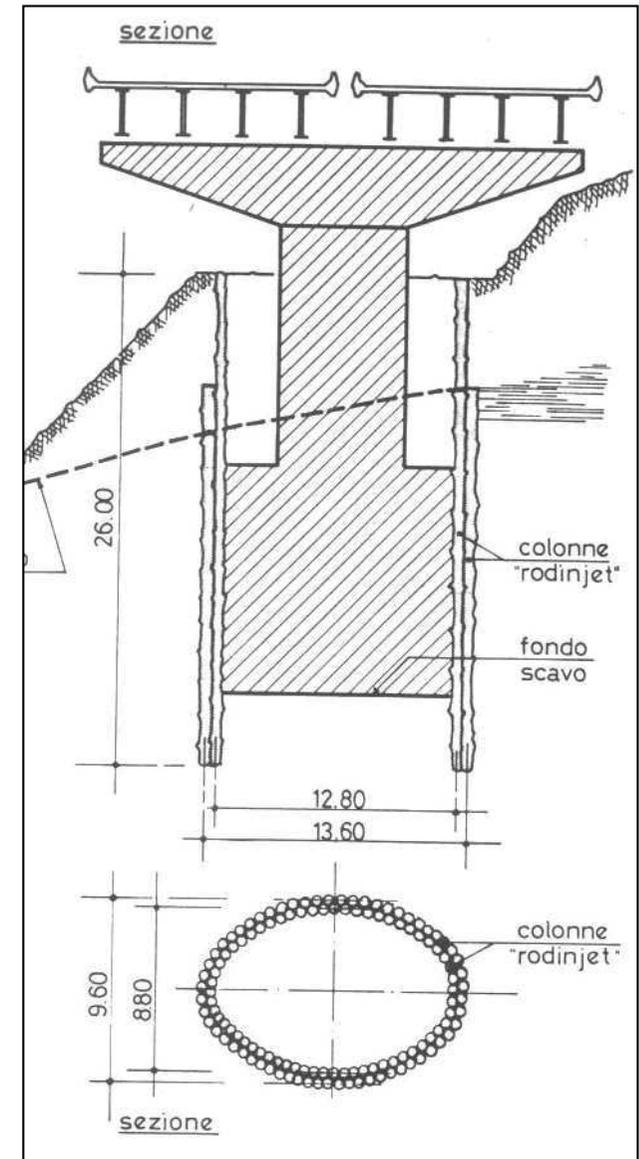
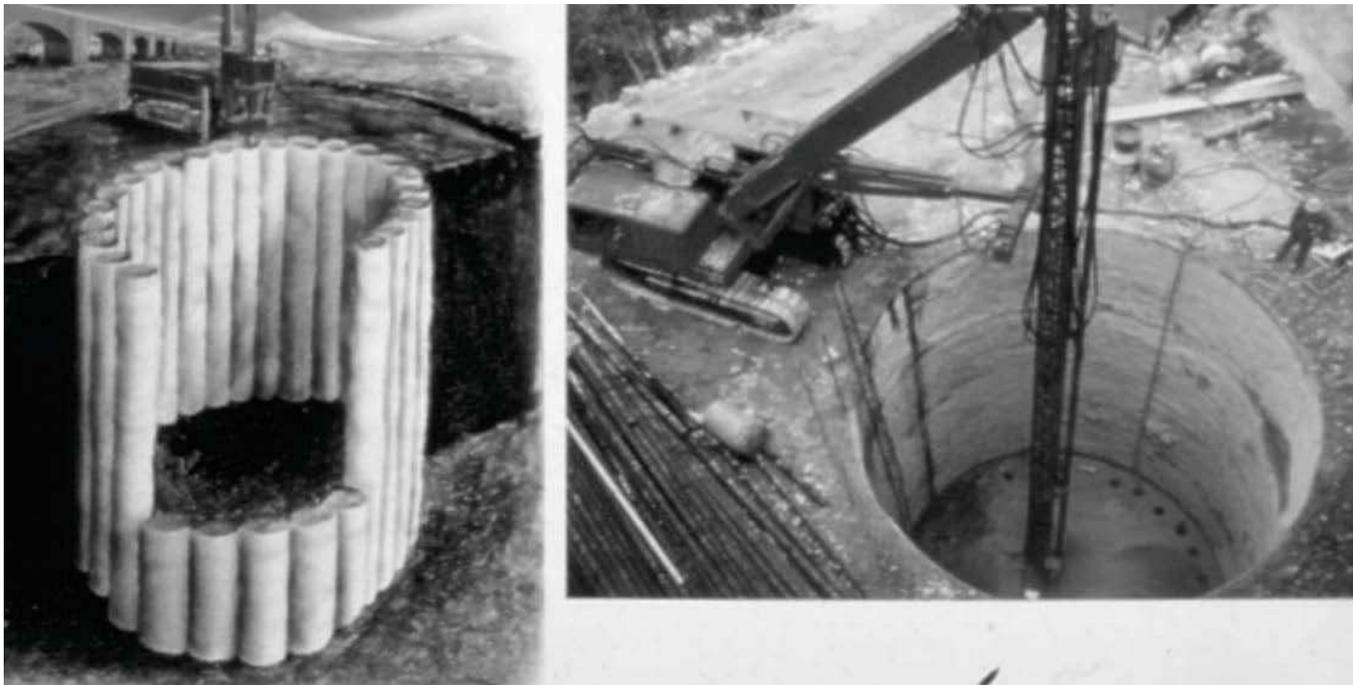
FONDAZIONI A POZZO



FONDAZIONI A POZZO

Viadotti autostrada Udine-Tarvisio
(Balossi Restelli e Profeta, 1985).

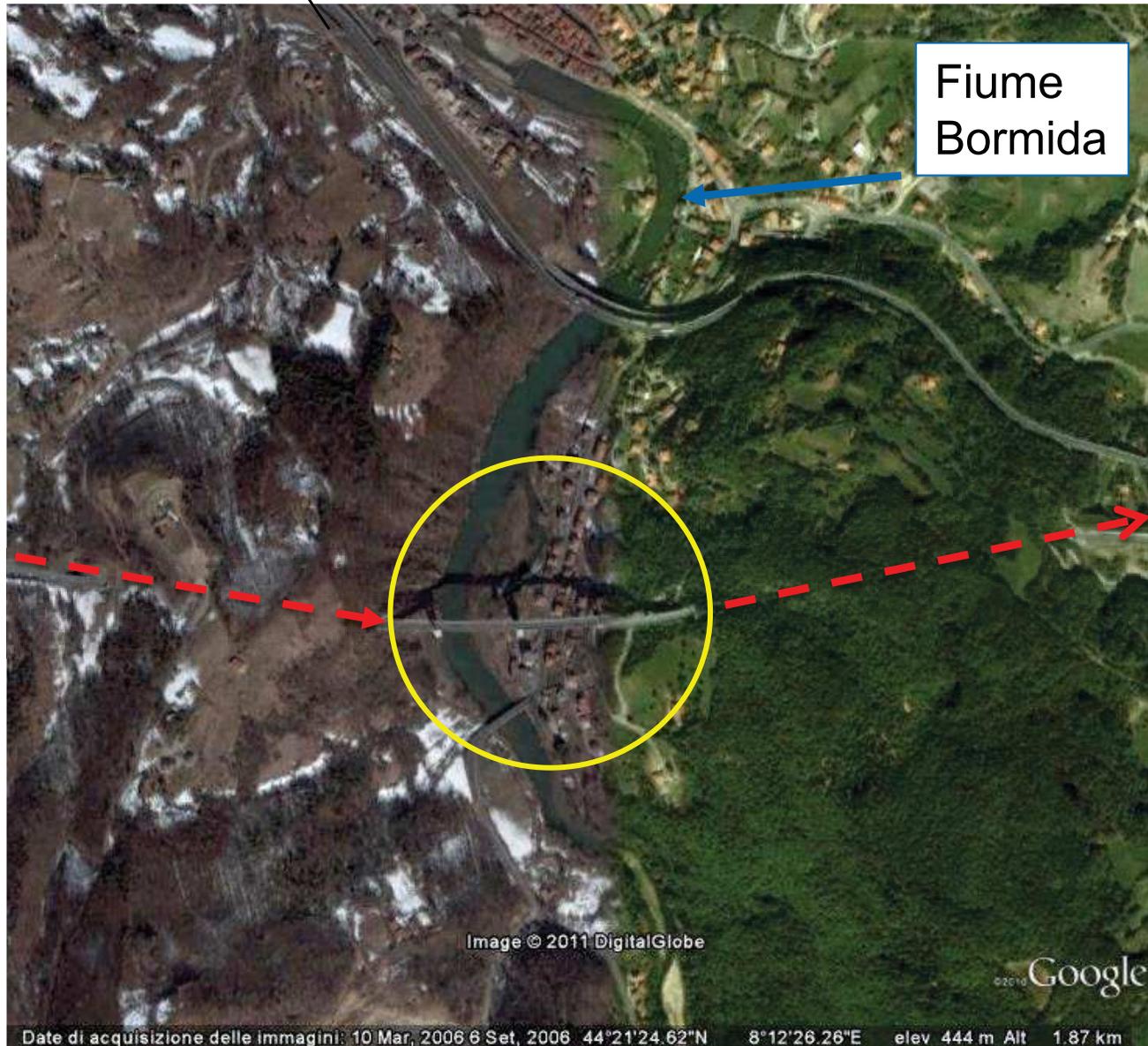
Coronella di pali per fondazioni a pozzo.



VIADOTTO SUL FIUME BORMIDA: A6 (1999)

verso Torino

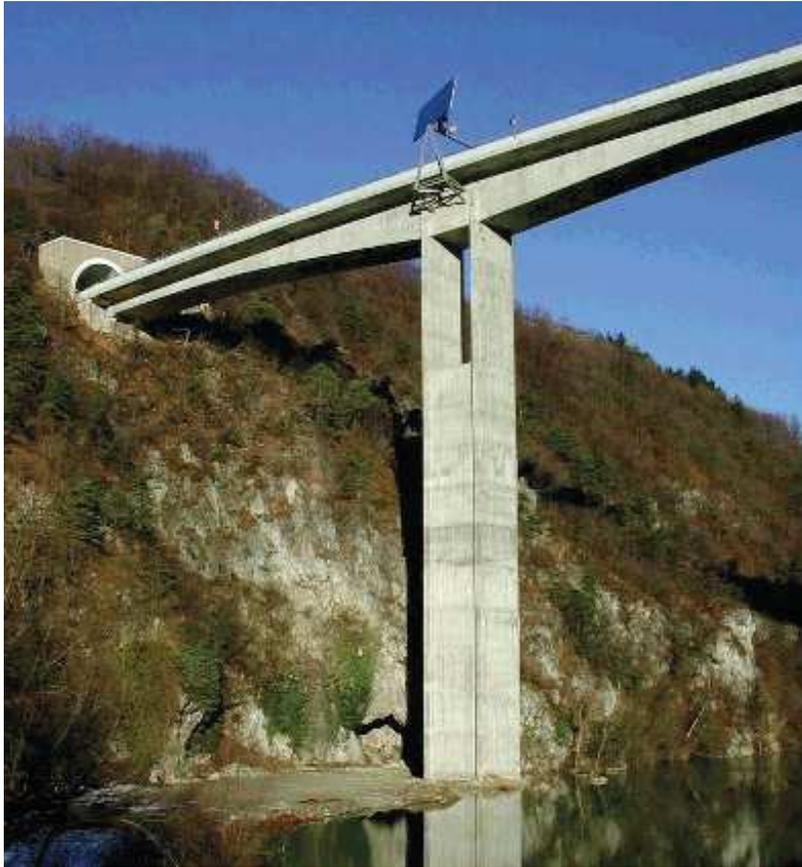
da Torino



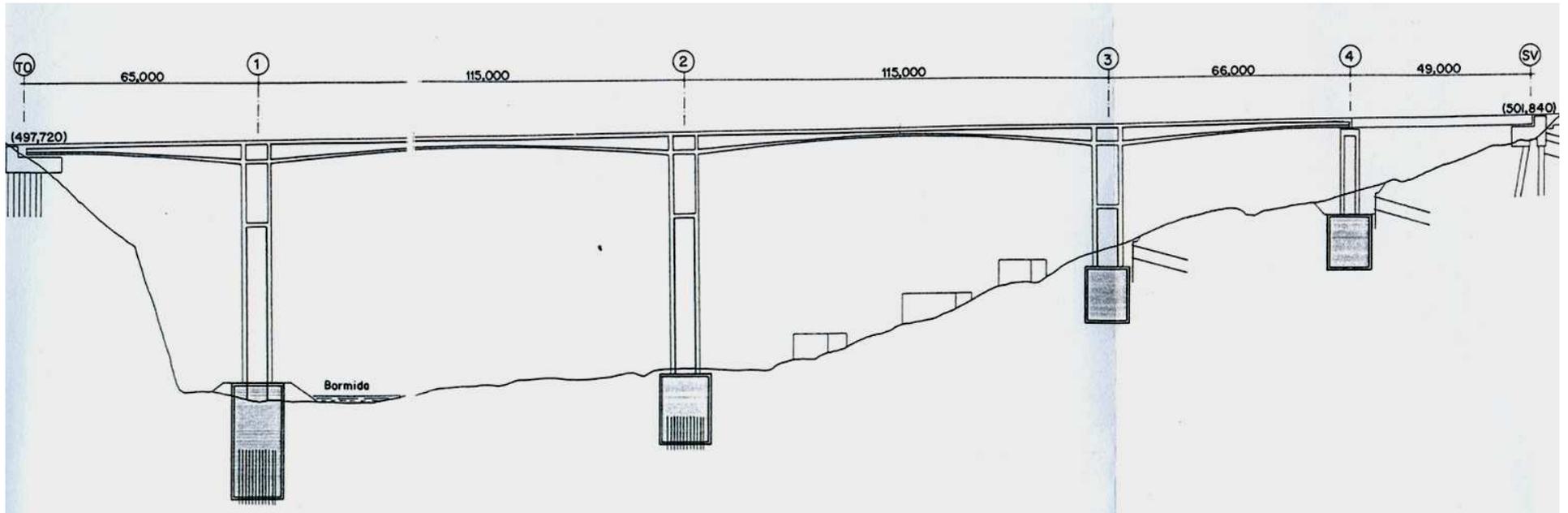
Savona

VIADOTTO BORMIDA DI MILLESIMO NORD

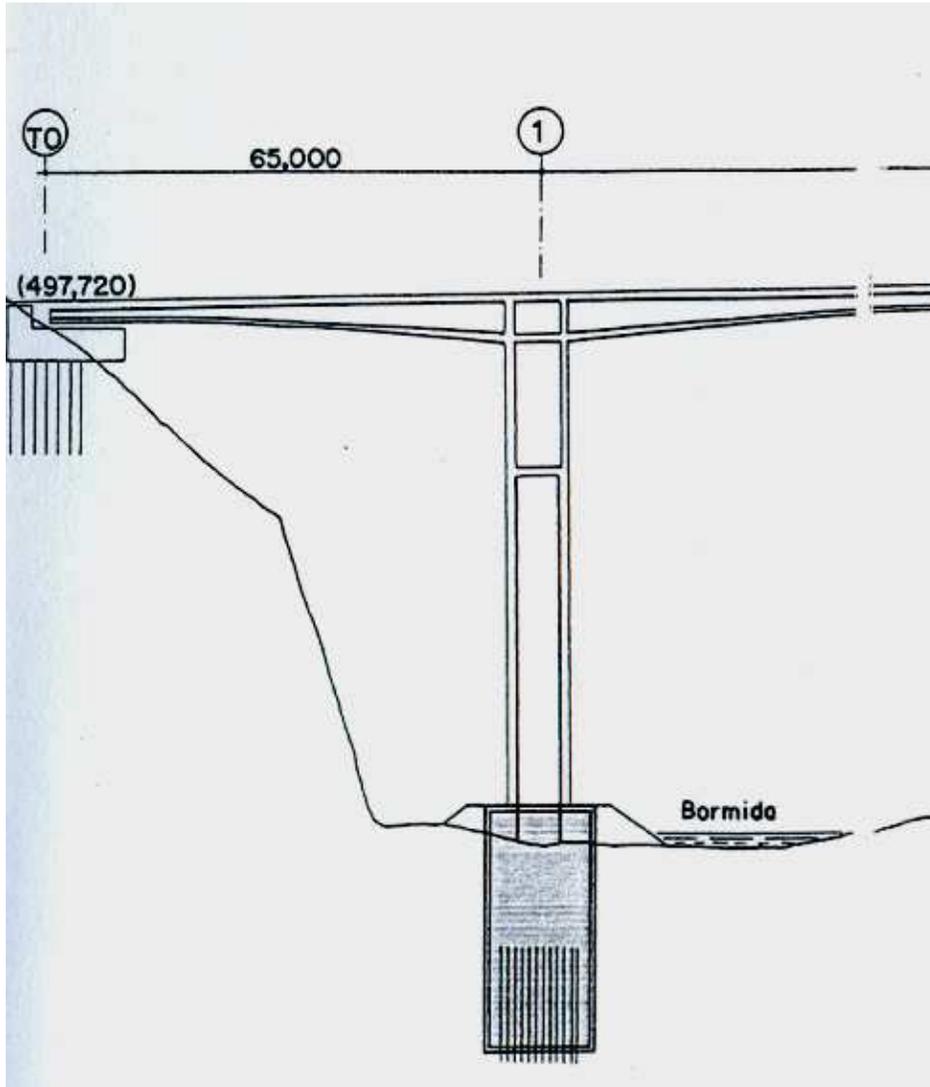
Pila 1



VIADOTTO BORMIDA DI MILLESIMO NORD : 410 m



PILA 1: ALTEZZA 65 m



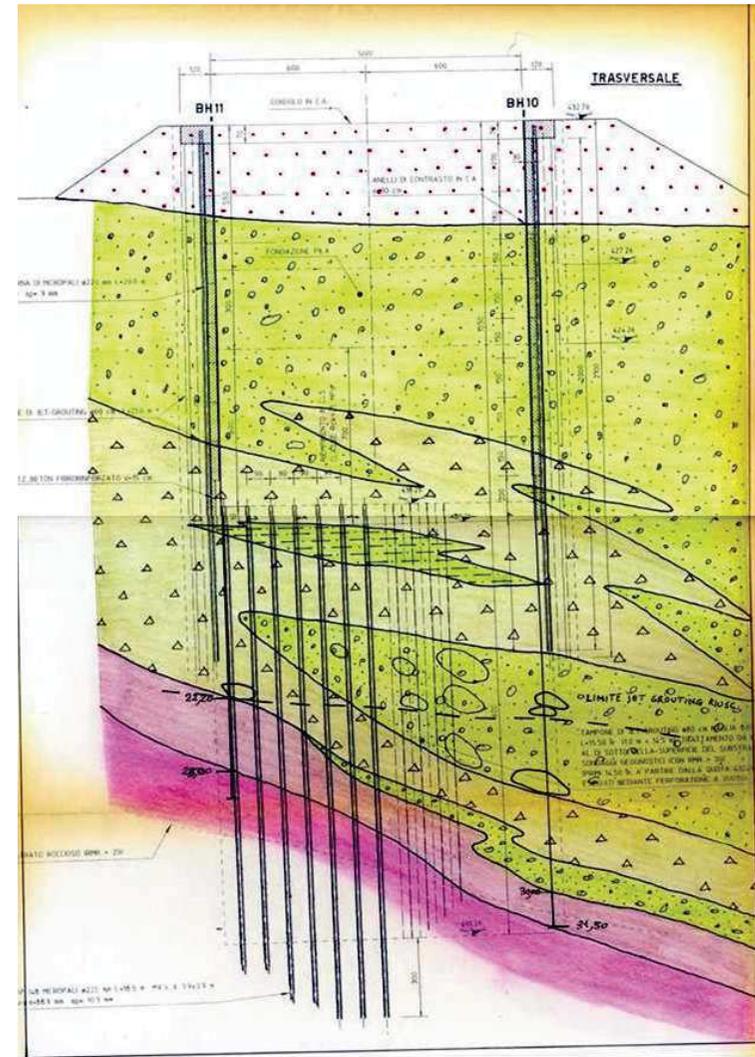
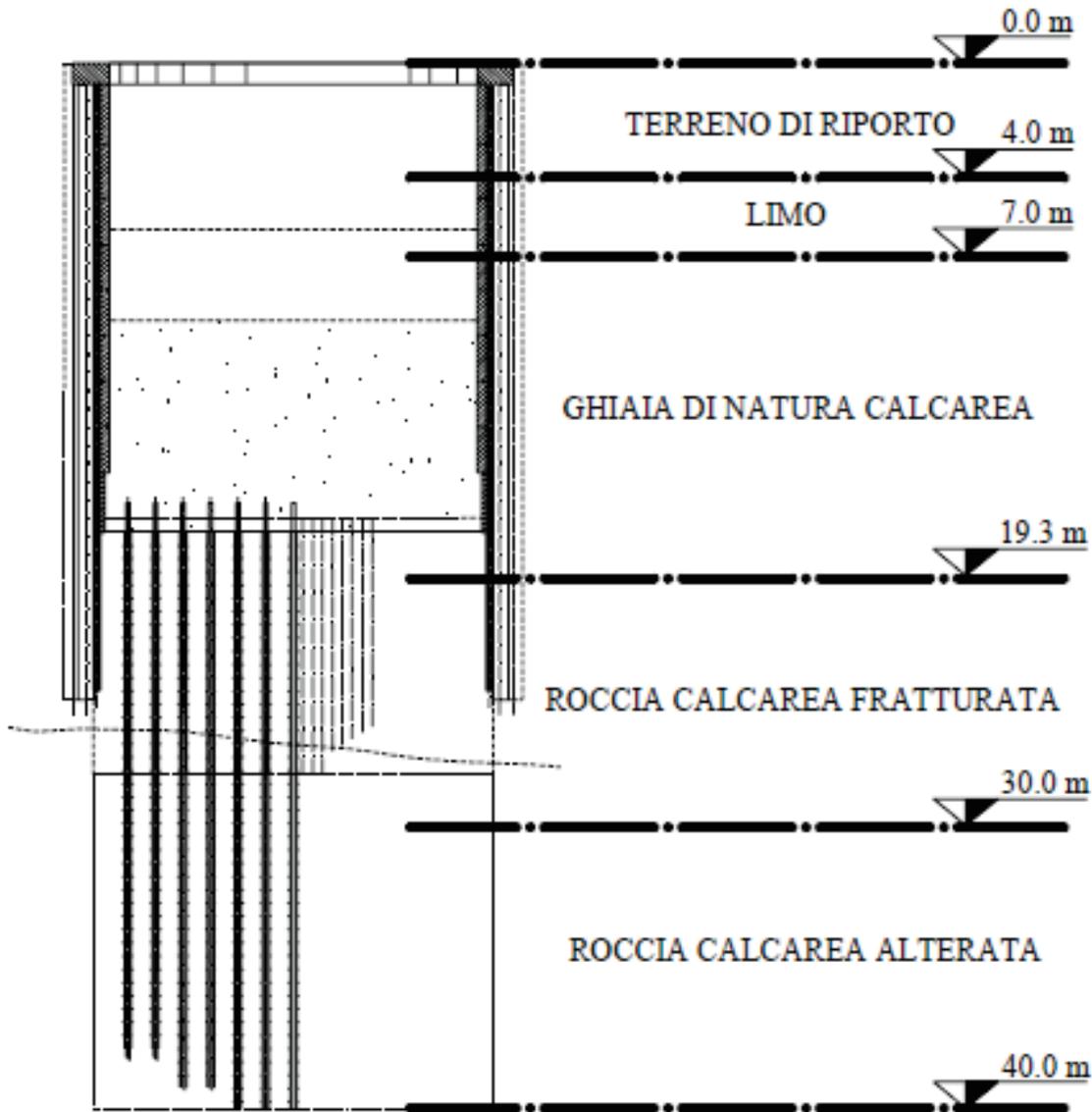
**OBIETTIVO PROGETTUALE:
REALIZZARE UNA FONDAZIONE A
CEDIMENTO “ZERO”**

gasp ??????????

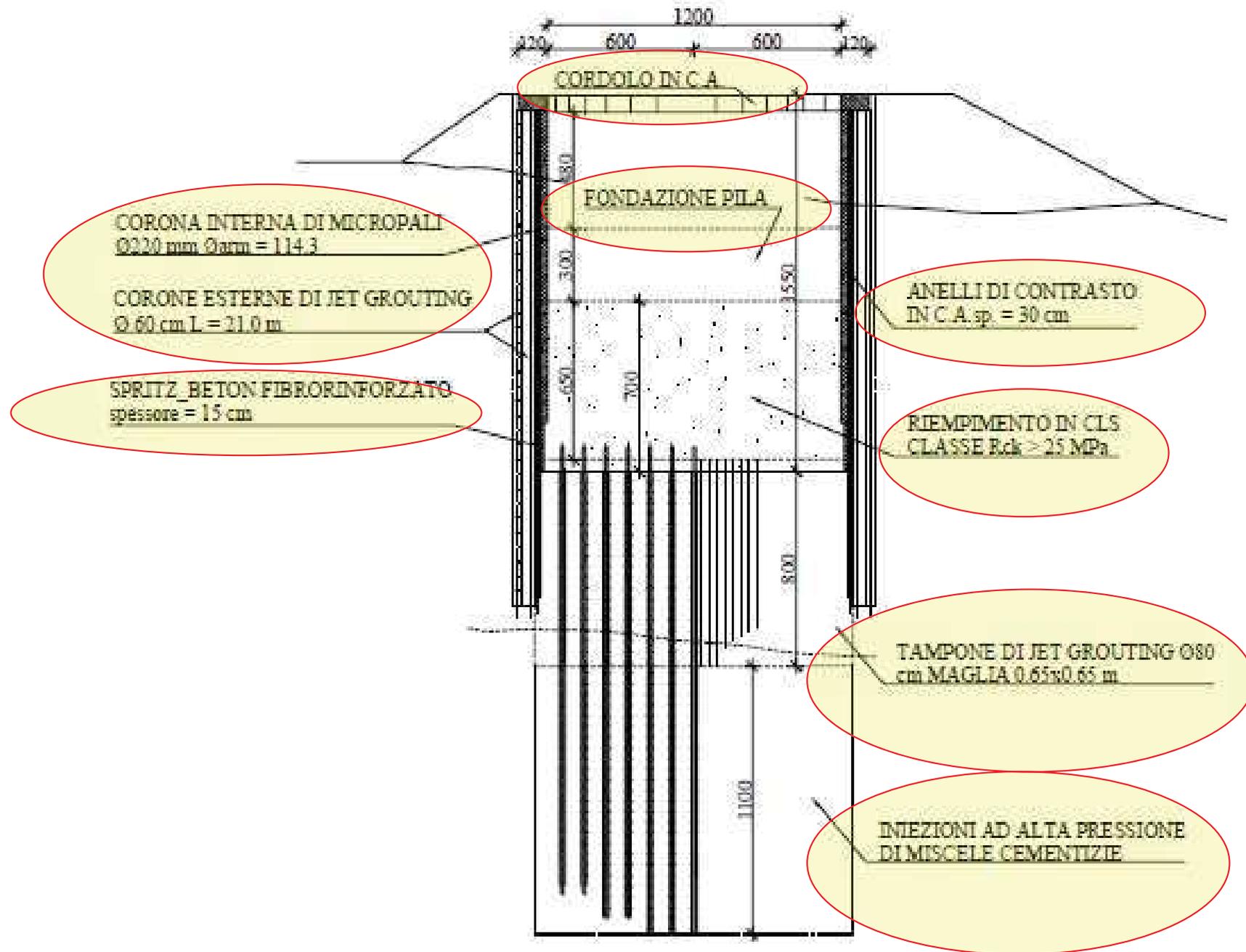
CARICHI IN FONDAZIONE

Comb. Carico	N (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Tx (kN)	Ty (kN)
C.1	78015	483	2027	119728	8606
C.2	75618	476	2064	125594	11932
C.3	74810	993	1934	100059	3989
C.4	73906	1426	1869	104399	88518

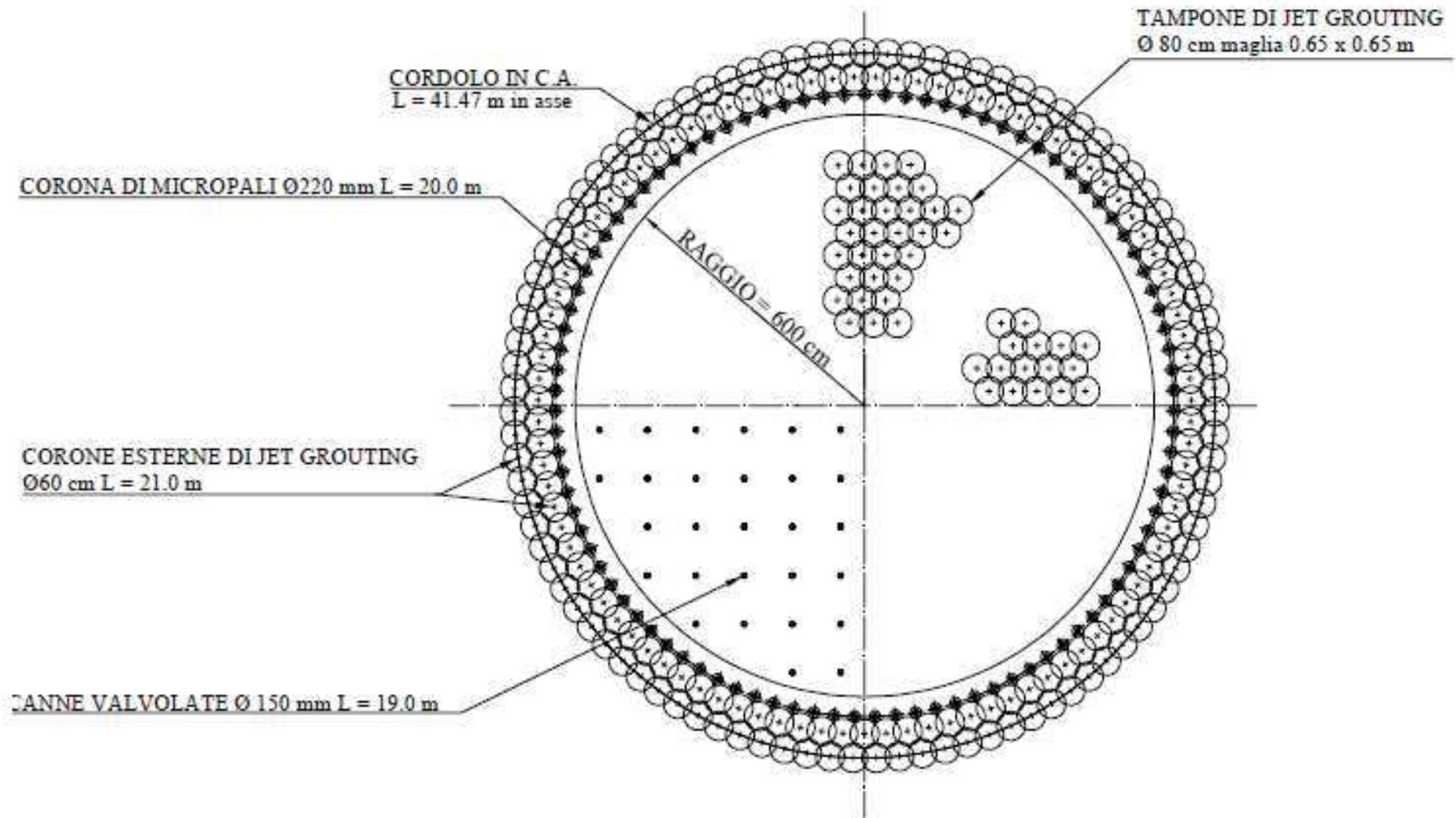
TERRENI DI FONDAZIONE



SOLUZIONE PROGETTUALE (sez. vert.)

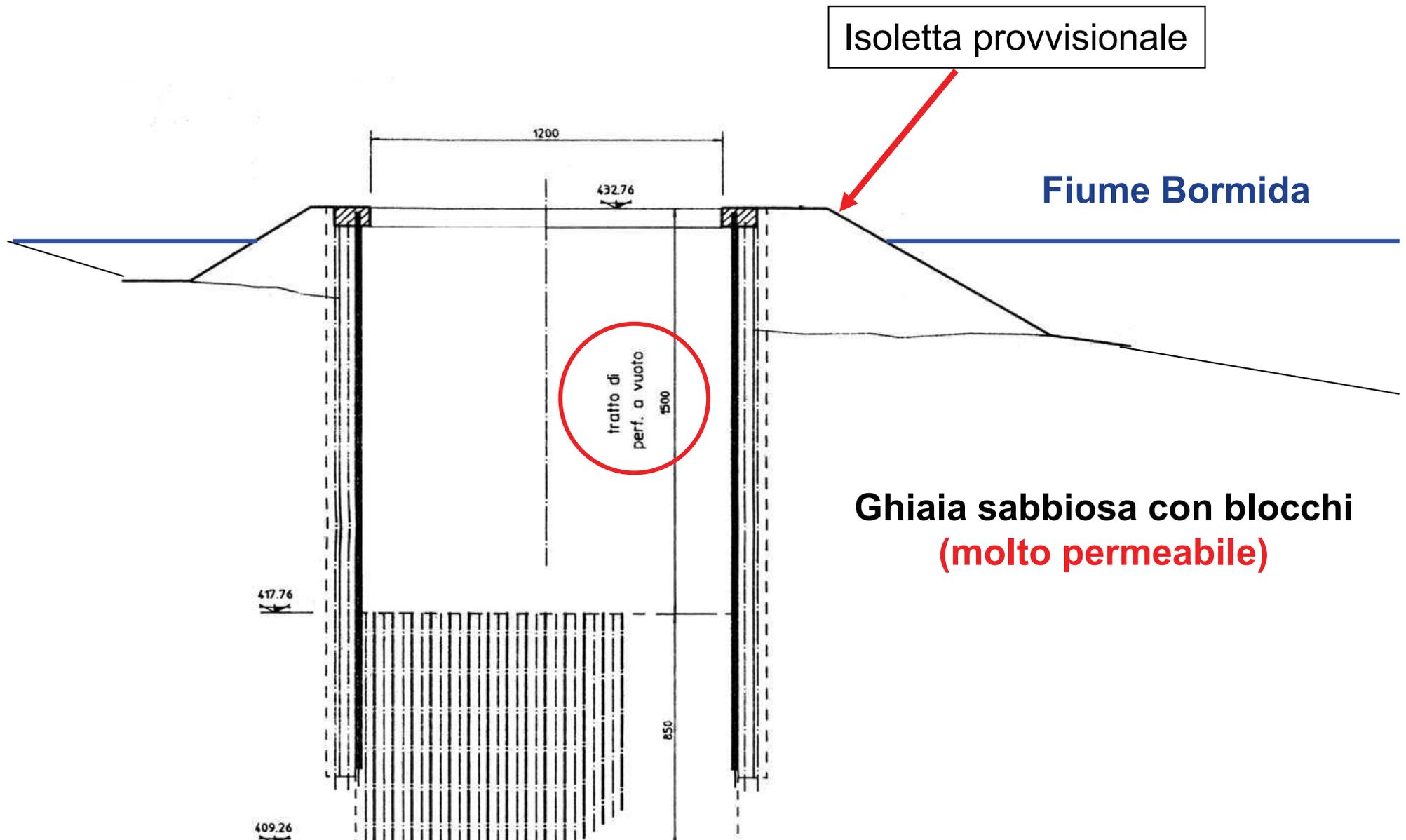


SOLUZIONE PROGETTUALE (pianta)



FASE 1: TRATTAMENTO DI JET GROUTING

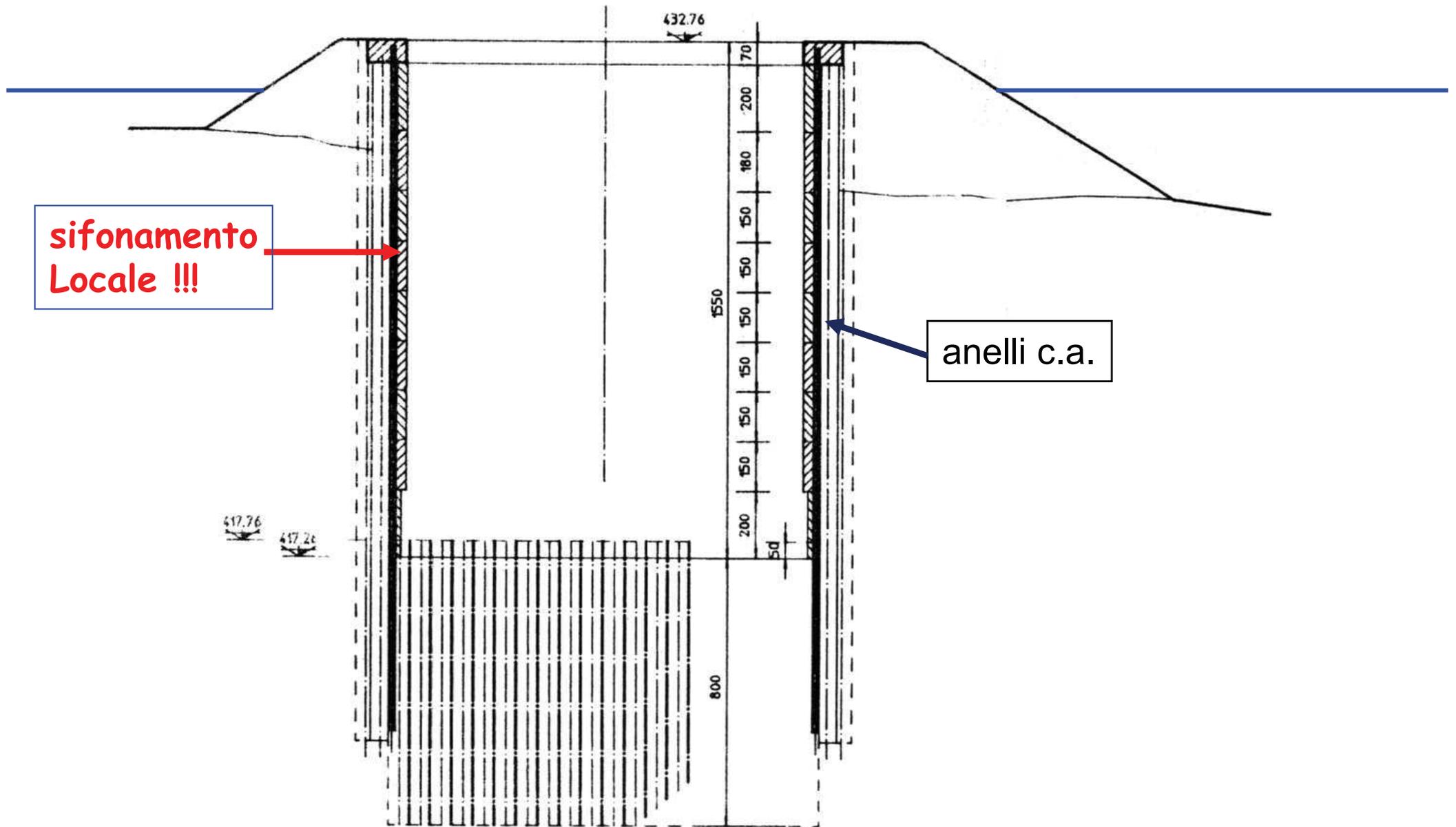
(coronella + tampone di fondo)



FASE 1 : TRATTAMENTO DI JET GROUTING (coronella + tampone di fondo)



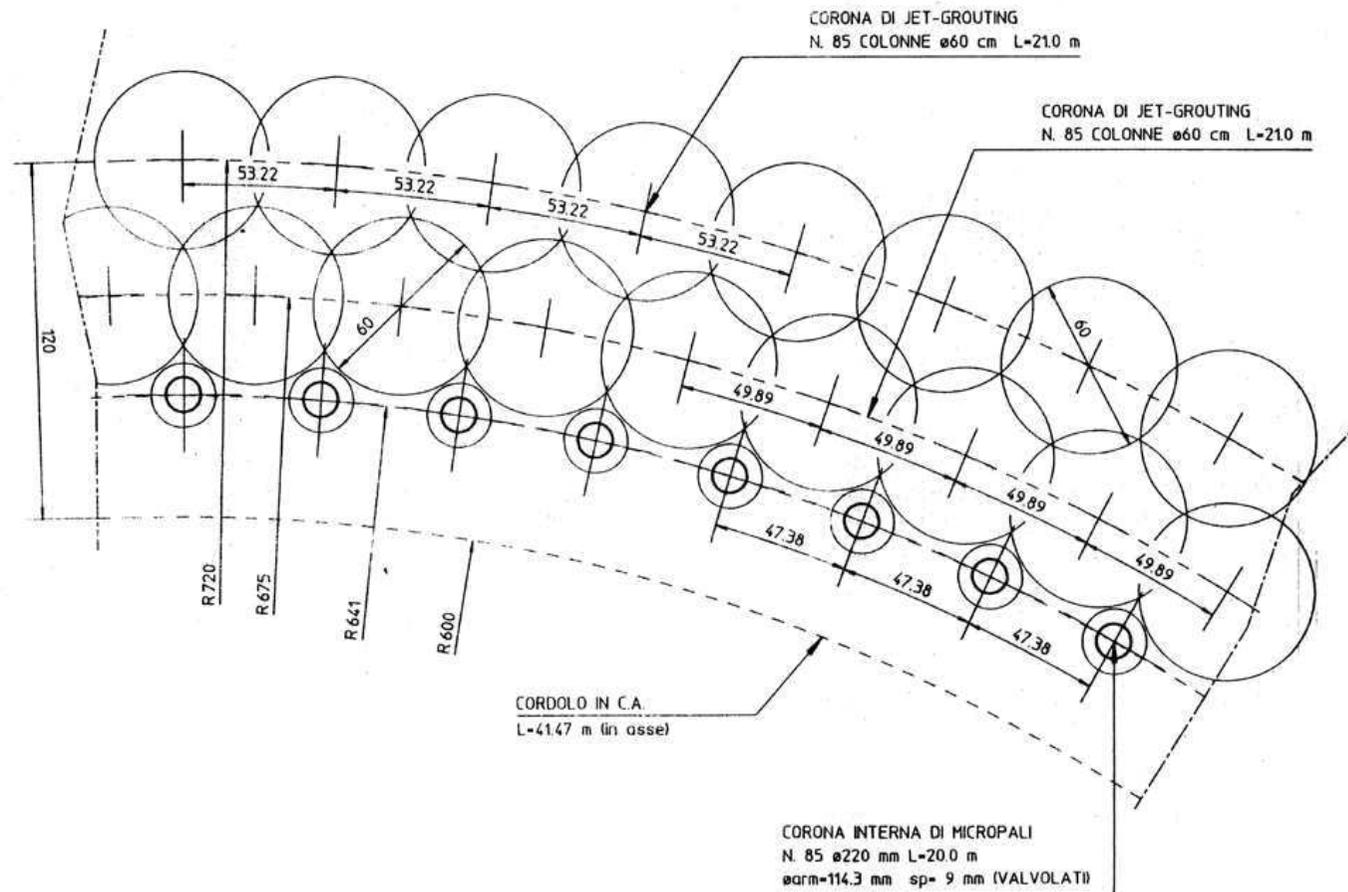
FASE 2: SCAVO



DETTAGLIO CORONELLA

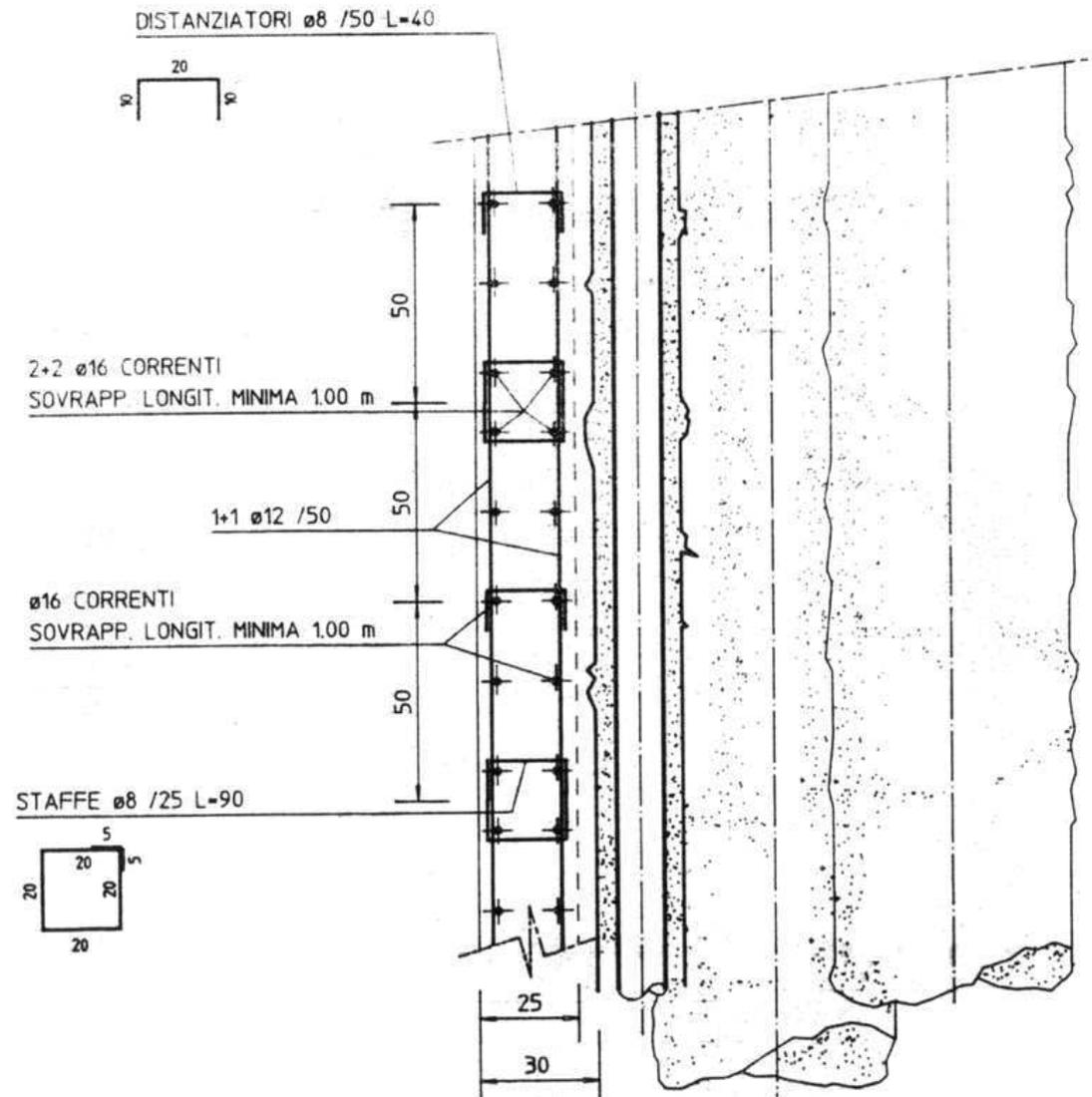
PARTICOLARE DISPOSIZIONE CORONE ESTERNE
JET-GROUTING E CORONA INTERNA MICROPALI

1 / 20

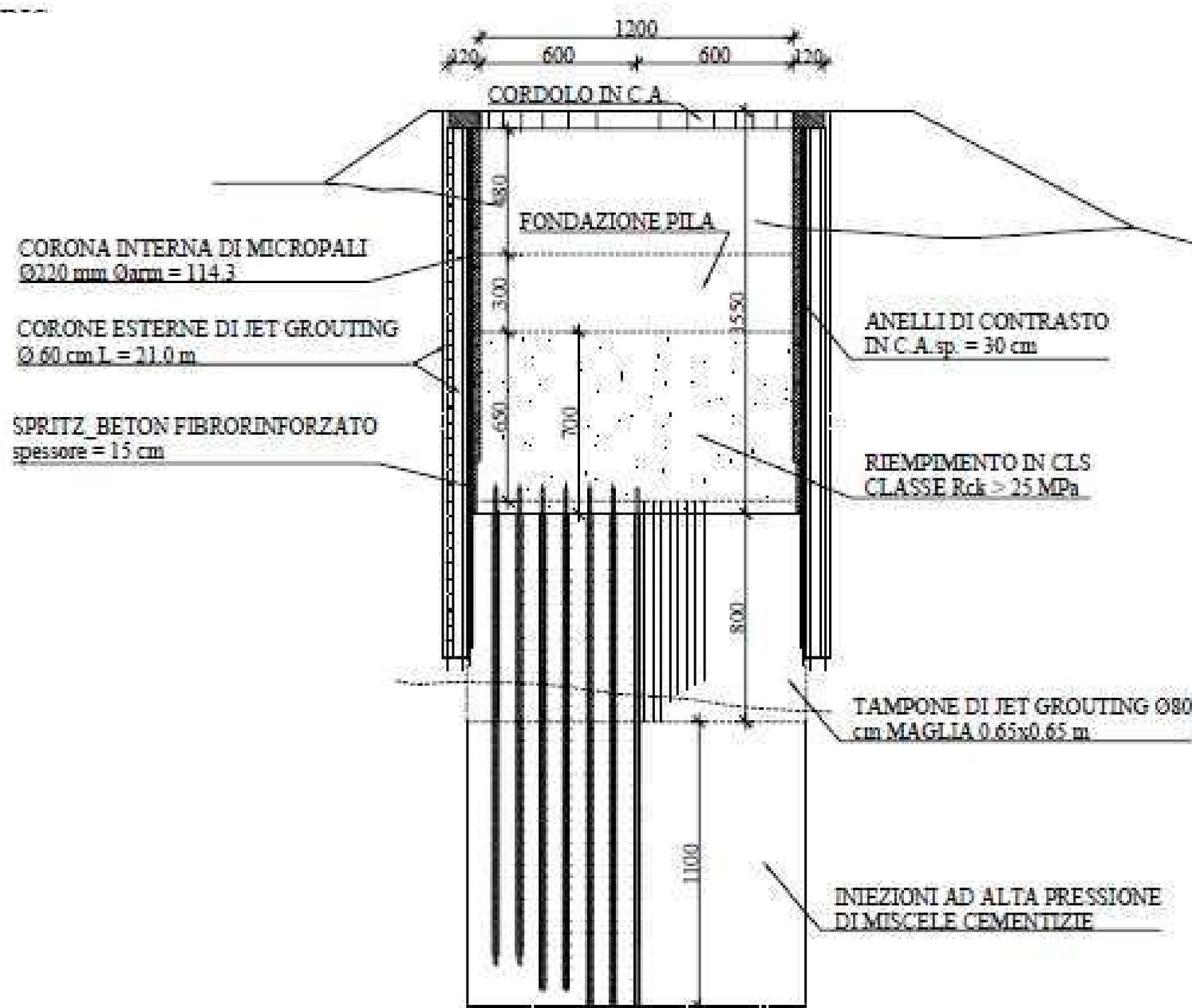


SCAVO E RIVESTIMENTO PER SOTTOMURAZIONE

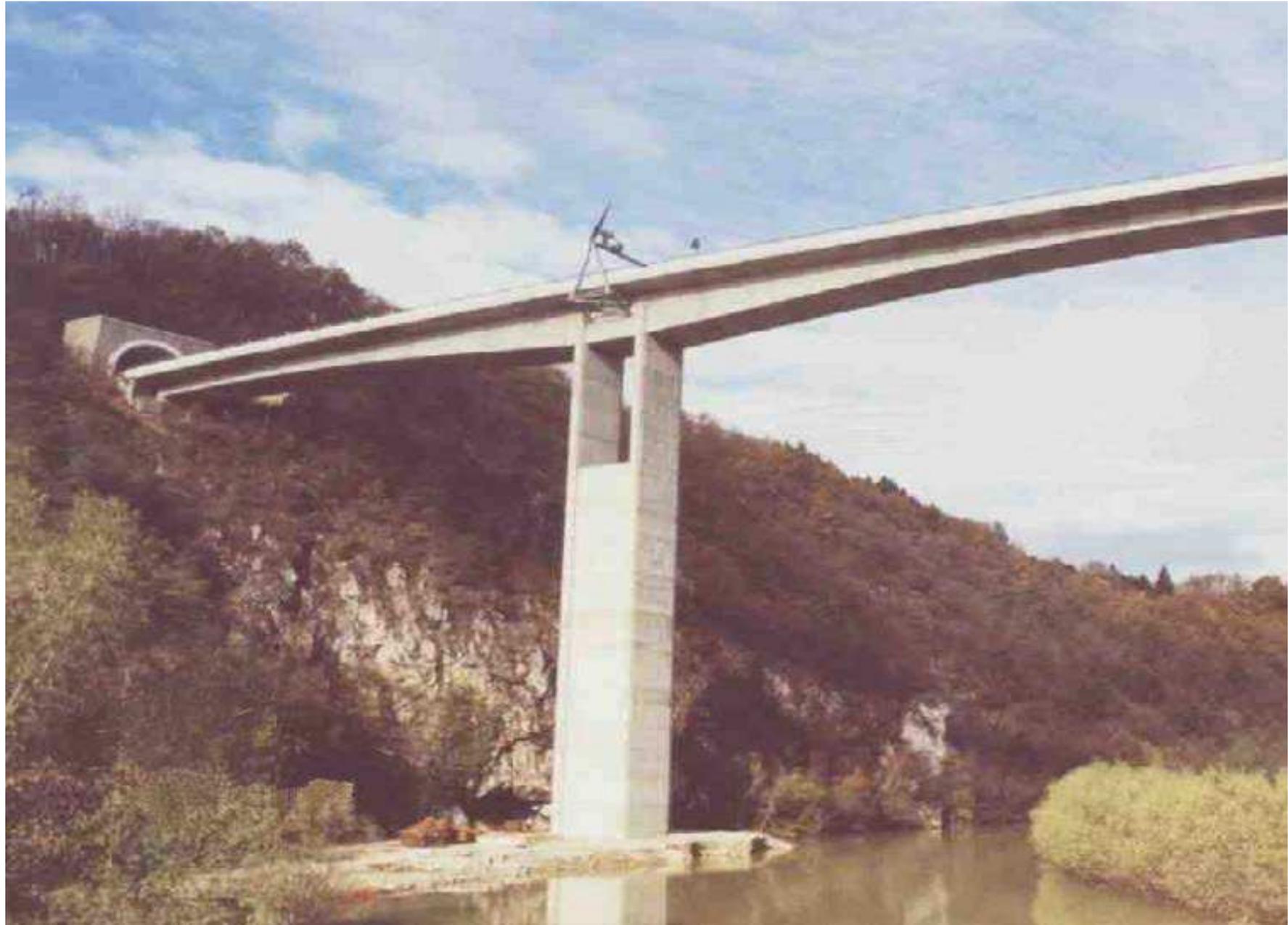
ARMATURA ANELLI DI CONTRASTO IN C.A. 1/20



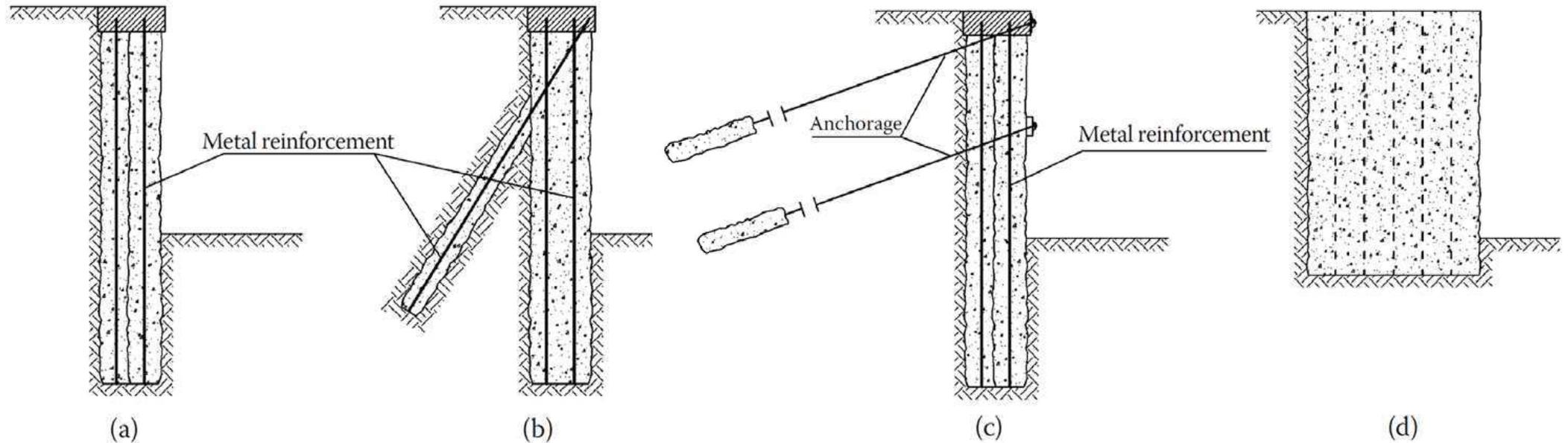
FASE 3: INIEZIONI + FASE 4: RIEMPIMENTO CLS /C.A.



PILA - IMPALCATO

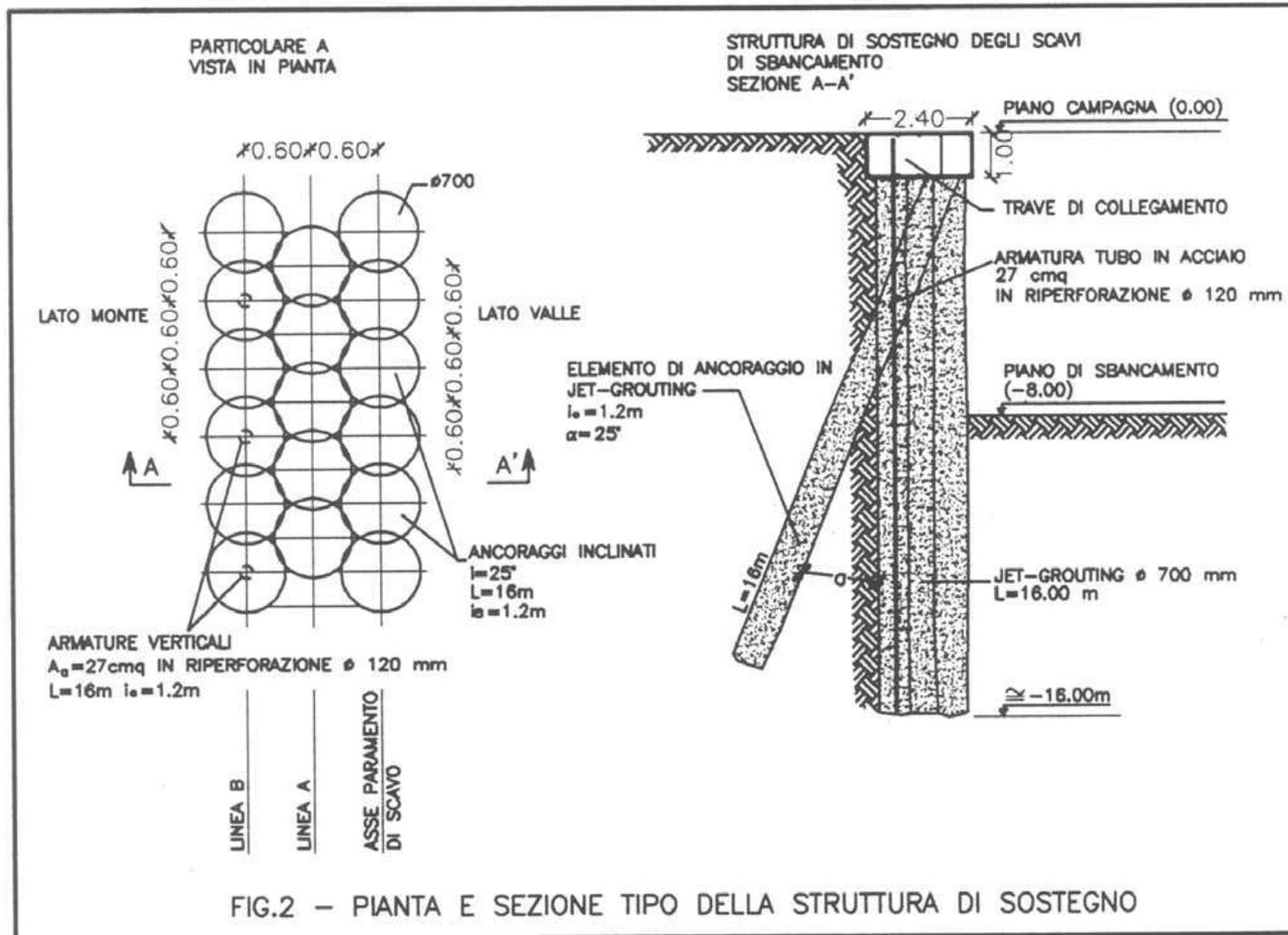


OPERE DI SOSTEGNO: tipologie



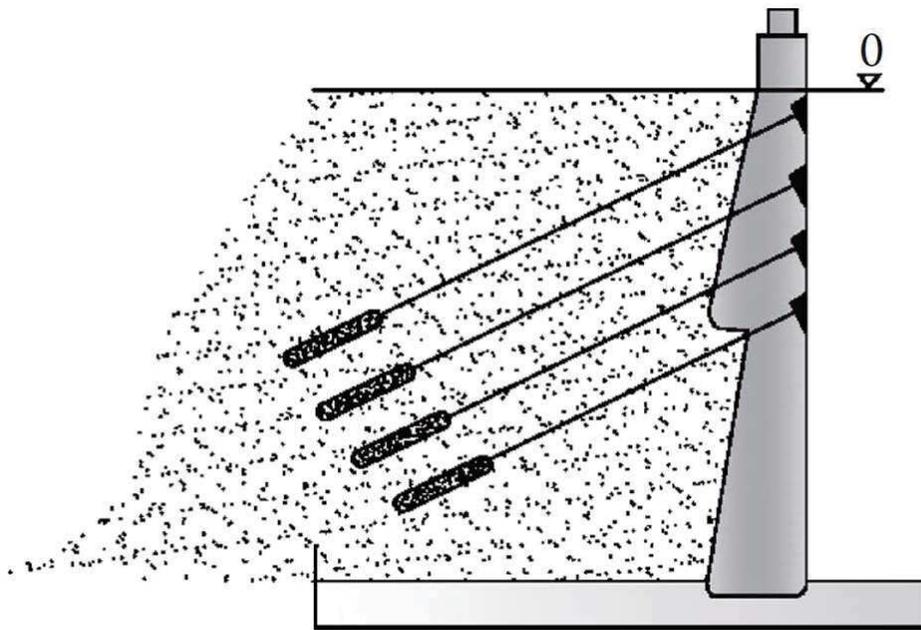
(a) a mensola (b) a «v rovescia» (c) ancorata (d) a gravità

UNA SOLUZIONE A V ROVESCIA

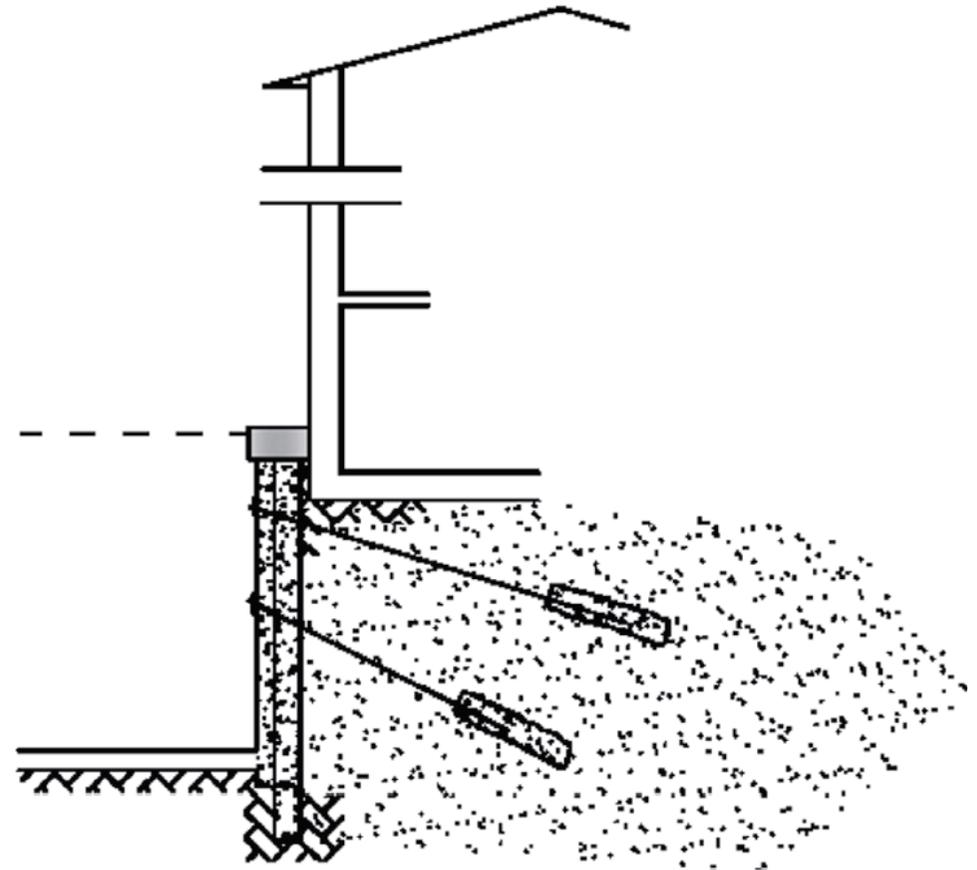


comune di Marino (Santoro e Bianco, 1995)

SOLUZIONI ANCORATE

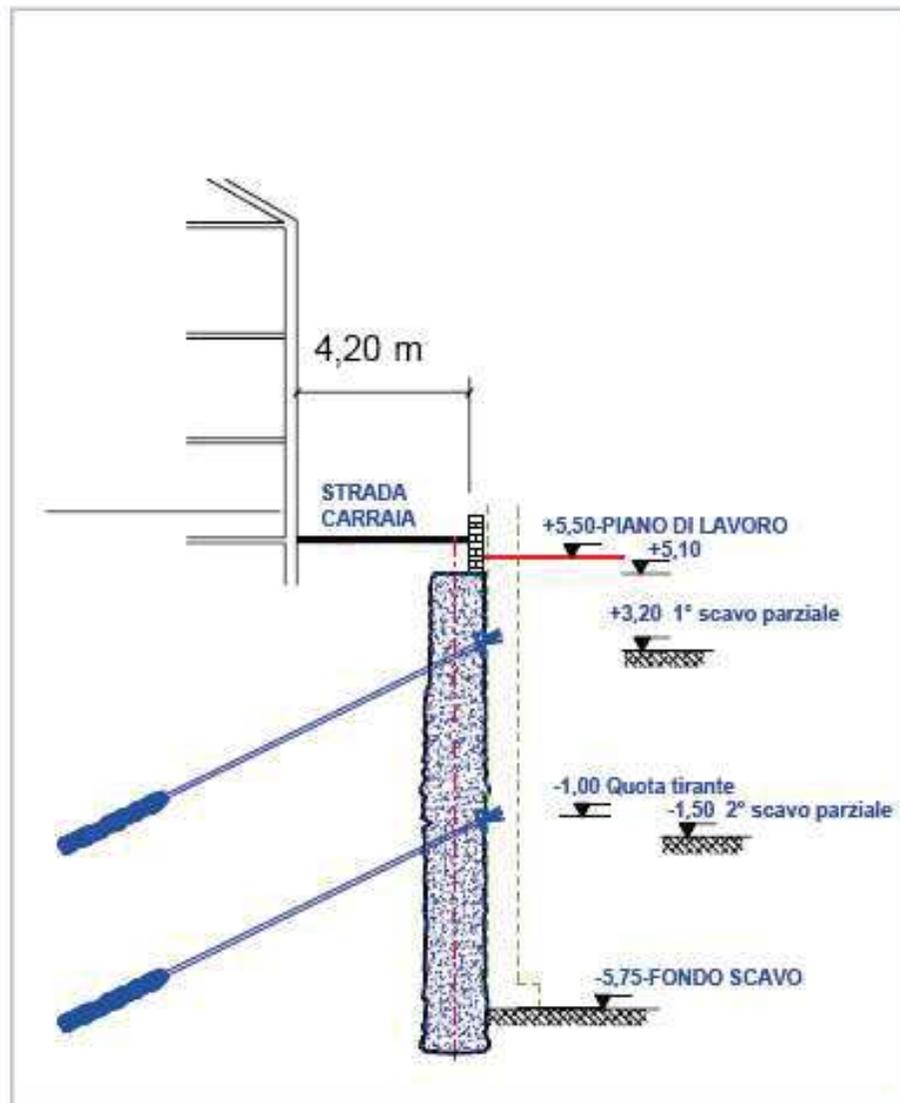


Sondermann e Toth 2001

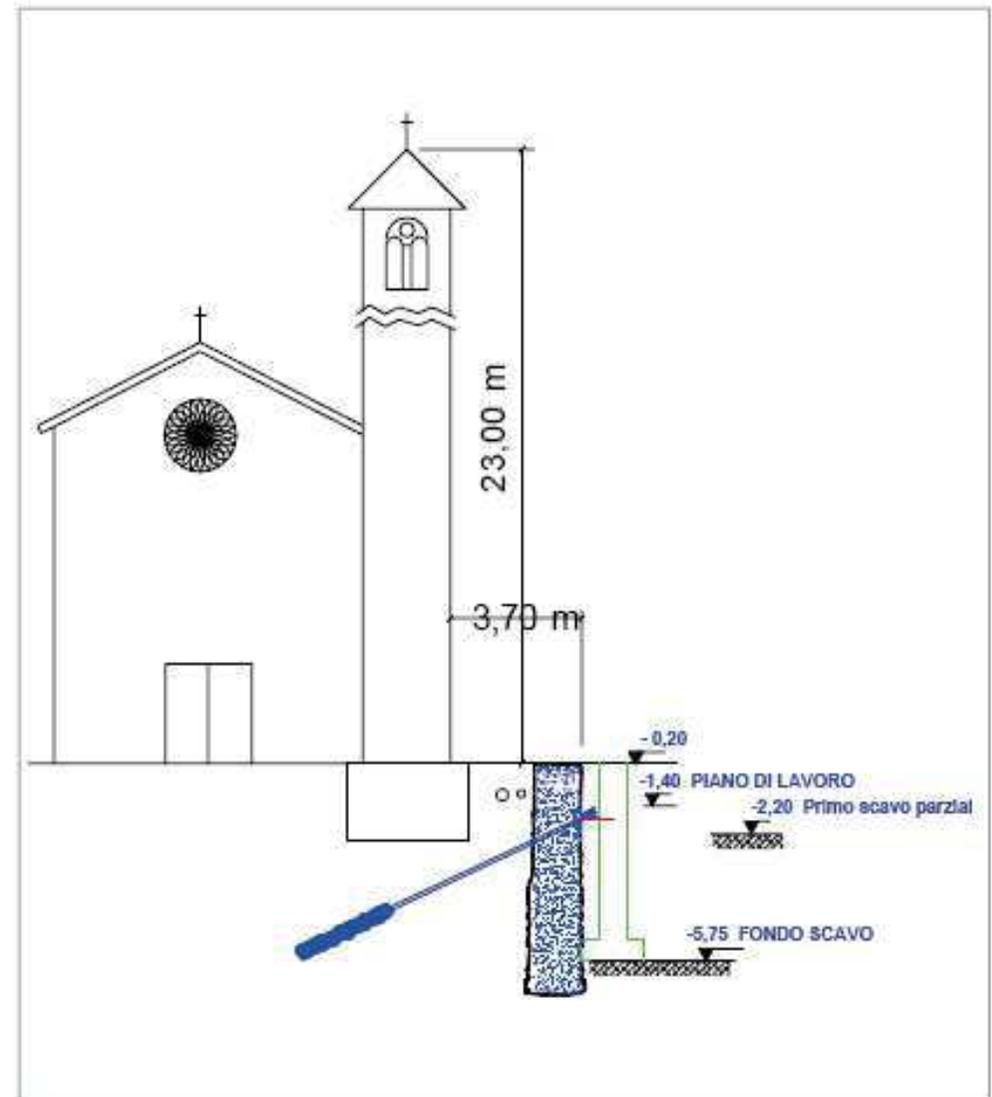


Garassino 1983

EX AREA FALK LECCO: DA KELLER



Sezione massimo sbancamento



Sezione in prossimità del campanile

EX AREA FALK LECCO: DA KELLER

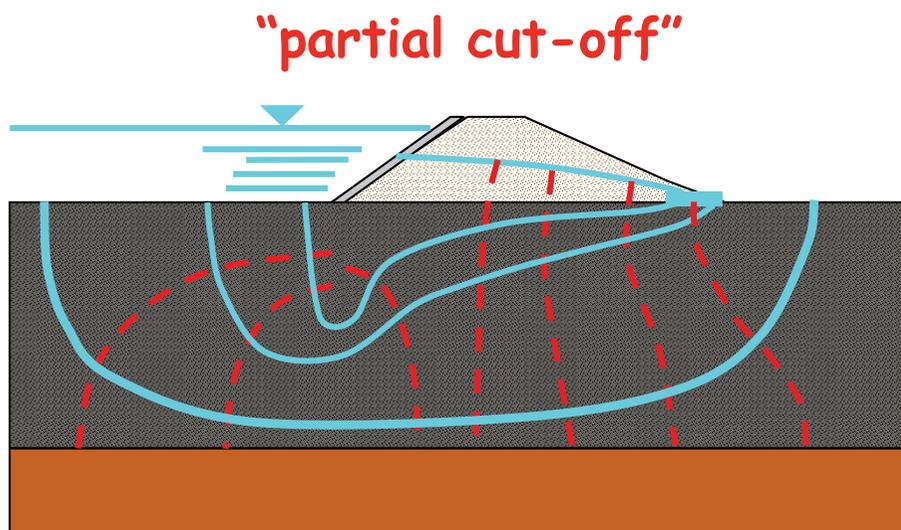
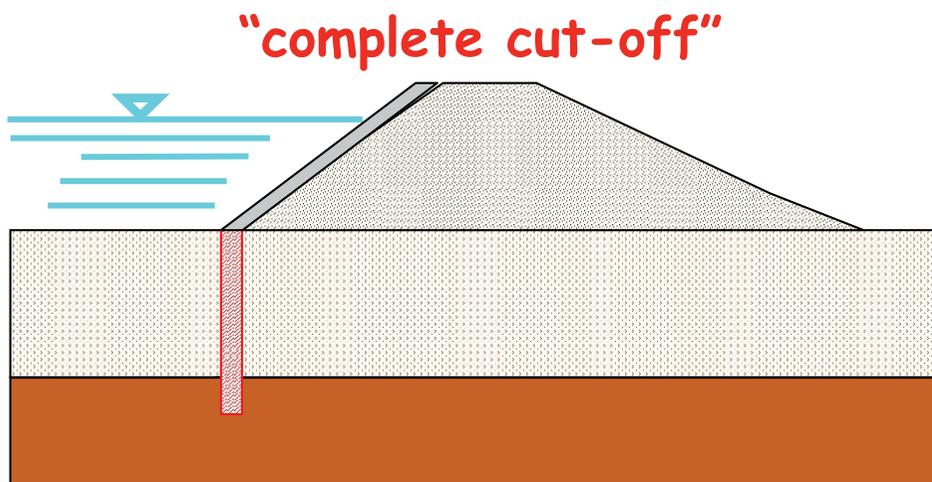


ANCORAGGI SPORT HOTEL - RASEN: DA KELLER



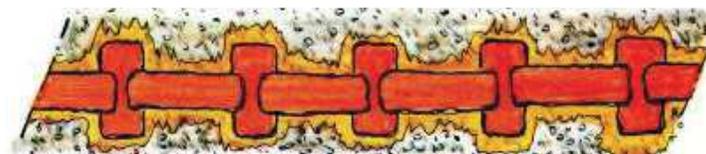
DIAFRAMMI (DIGHE)

TENUTA IDRAULICA

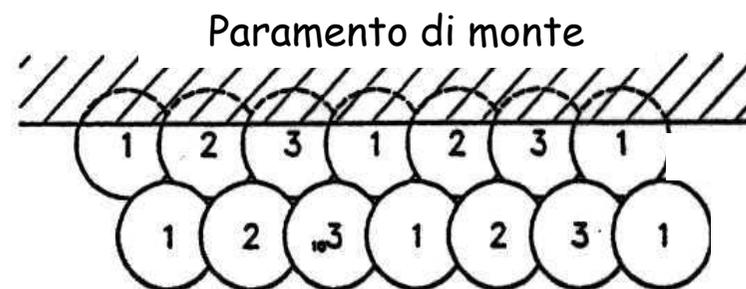


METODI COSTRUTTIVI

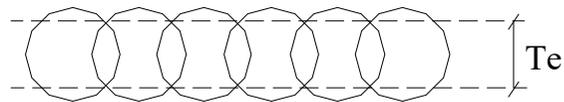
- diaframmi di calcestruzzo
- diaframmi plastici



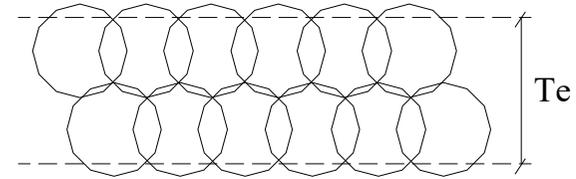
diaframmi di jet grouting



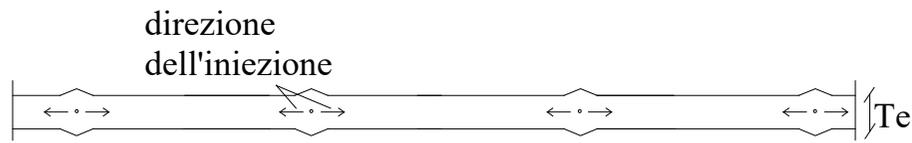
SCHEMI PROGETTUALI (da Bell , 1993)



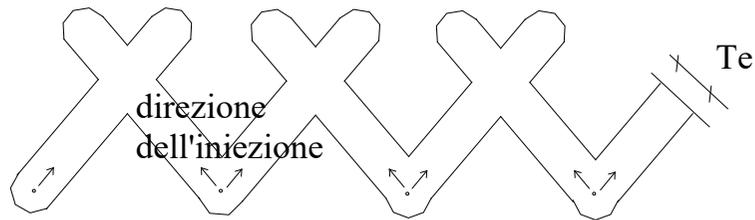
a) colonne consolidate disposte su fila singola



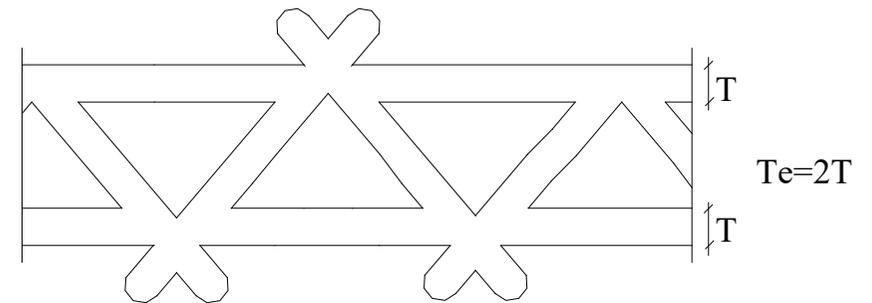
b) colonne consolidate disposte su doppia fila



c) diaframma consolidato a pannello singolo



e) pannelli consolidati a schema incrociato



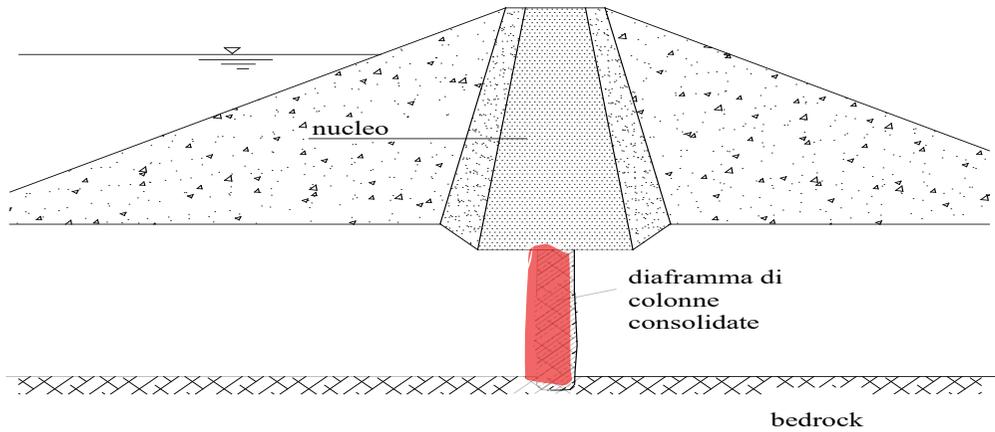
f) diaframma a doppio pannello consolidato e struttura cellulare

Te = spessore effettivo

CASI DI DIAFRAMMI IN JET GROUTING (DIGHE)

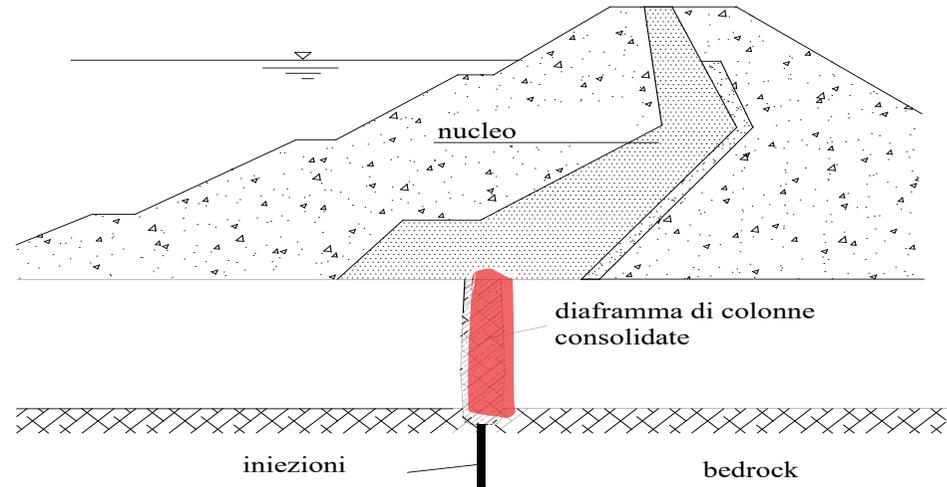
SBARRAMENTO	PAESE	TIPO	FASE ESECUTIVA	REFERENCE
Brombach	Germania			Bell, 1993
Codbeck	Gran Bretagna			Bell, 1993
Ertan	Cina			Sembenelli and Sembenelli, 1999
Forcoletta	Italia			ENEL, 2000
Isola Serafini	Italia			R.I.D., 2004
John Hart	Canada			Garner et al., 1989
Paduli	Italia			ENEL, 2000
S. Marguerite	Canada			Hammamji et al., 1999
Sorpe	Germania			Rissler, 2000
Söse	Germania			Doring, 1986
Suio	Italia			Baldovin, 1999 ENEL, 2000
Thika	Kenia			Attewill et al., 1992 Harris and Morey, 1994

DIGHE DI NUOVA COSTRUZIONE

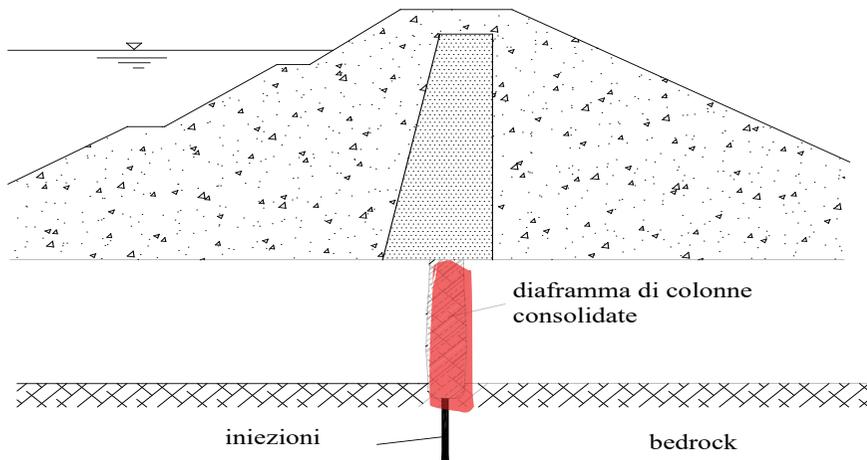


CODBECK DAM- UK
(Bell, 1993)

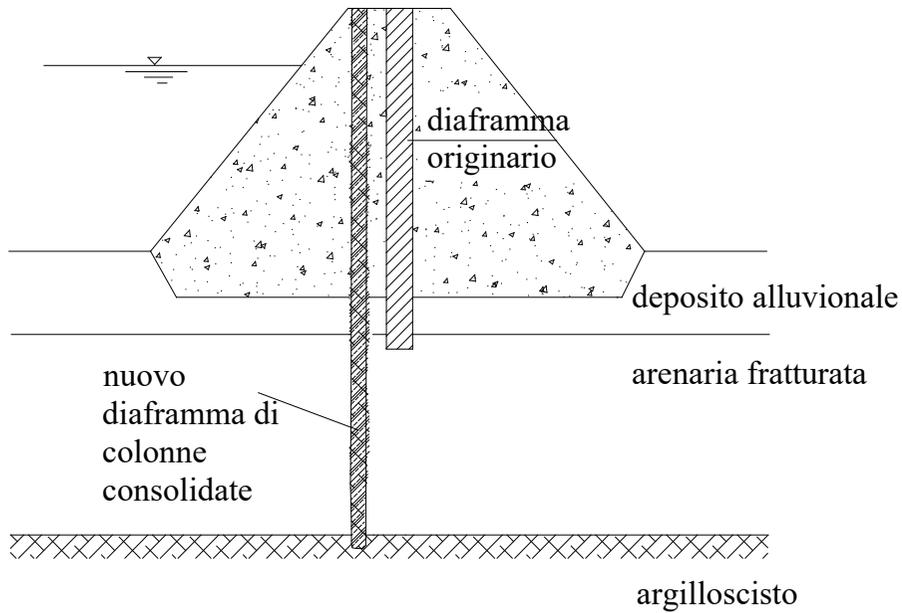
ERTAN DAM - CHINA
(Sembenelli and Sembenelli, 1999)



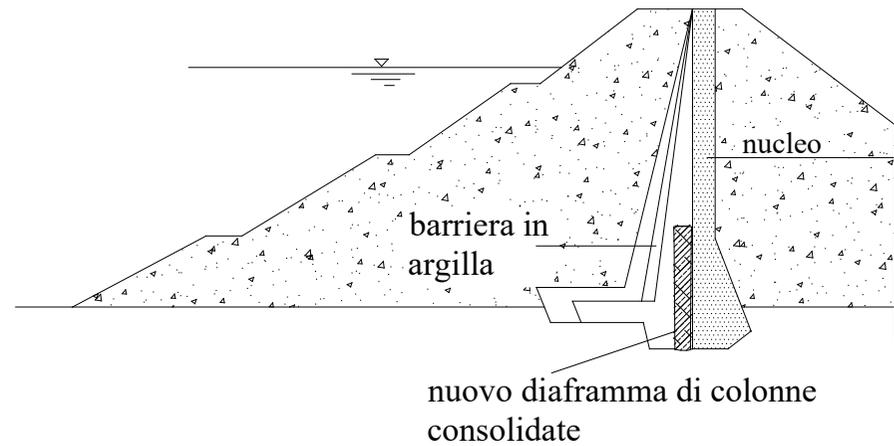
THIKA DAM - KENIA
(Attewill et al., 1992)



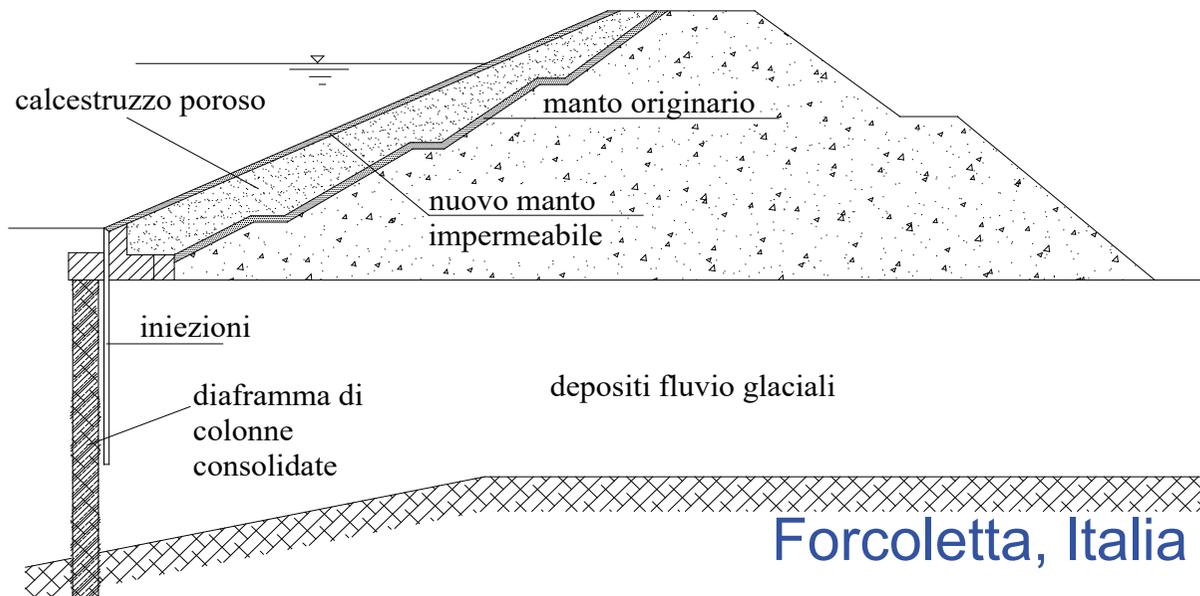
INTERVENTI SU DIGHE IN ESERCIZIO



Brombach, Germania



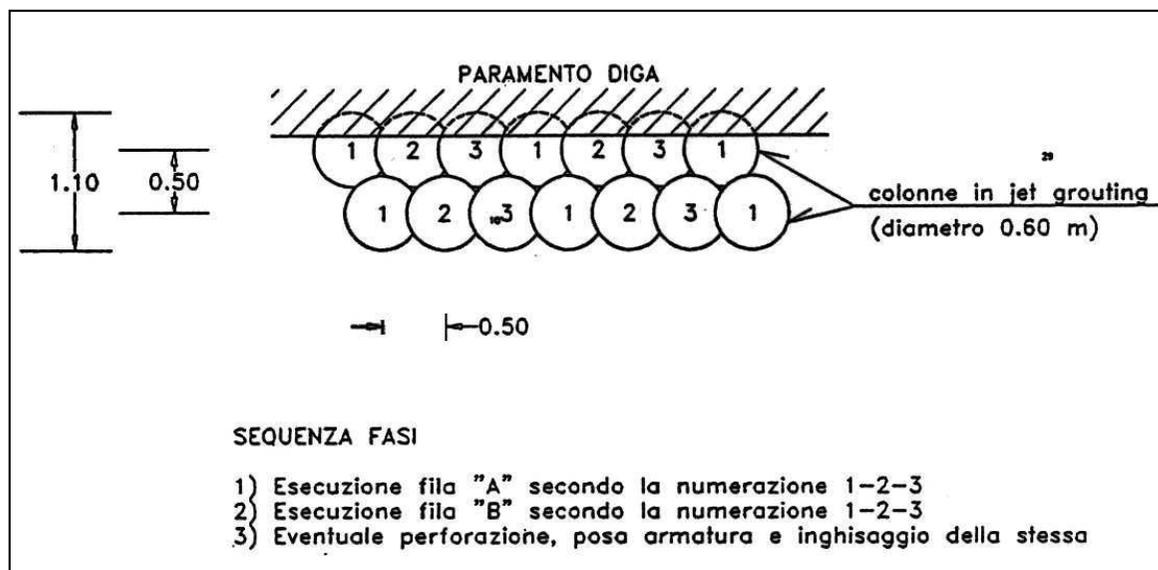
Söse, Germania



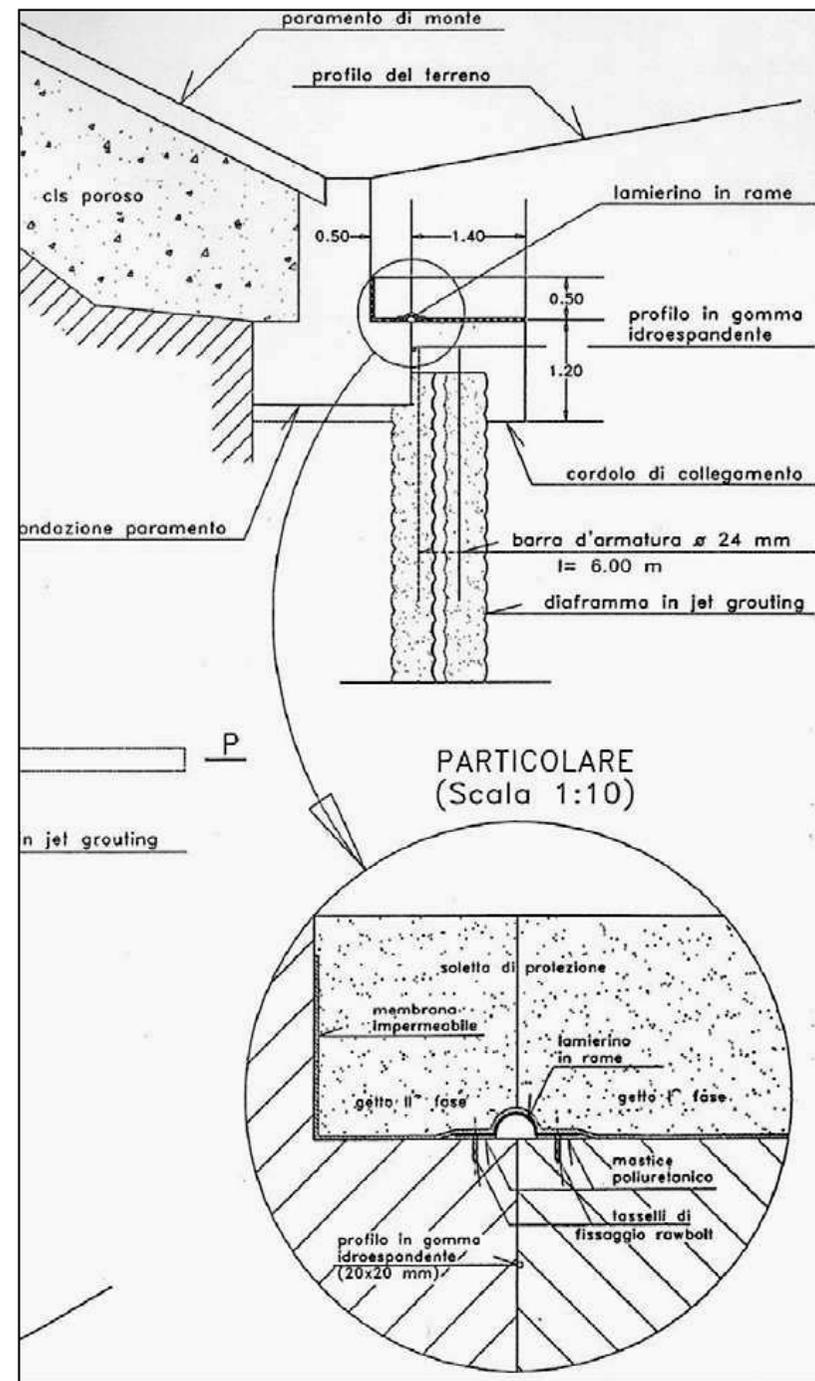
Forcoletta, Italia

DIGA DELLA FORCOLETTA

particolari costruttivi



sequenza primaria-secondaria-terzaria



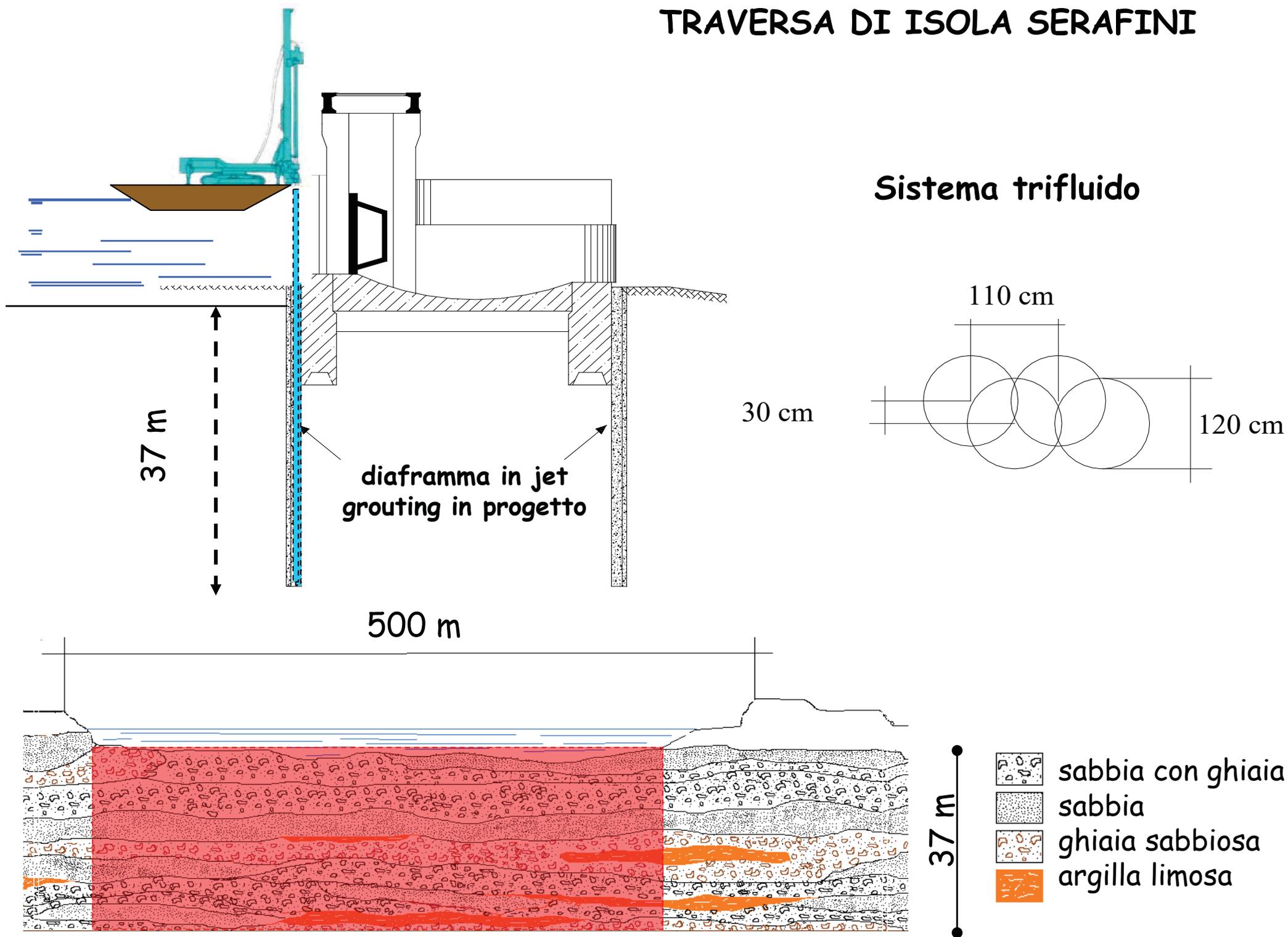
TRAVERSA DI ISOLA SERAFINI SUL FIUME PO



TRAVERSA DI ISOLA SERAFINI



TRAVERSA DI ISOLA SERAFINI



TRAVERSA DI ISOLA SERAFINI: TRATTAMENTI DA PONTONE



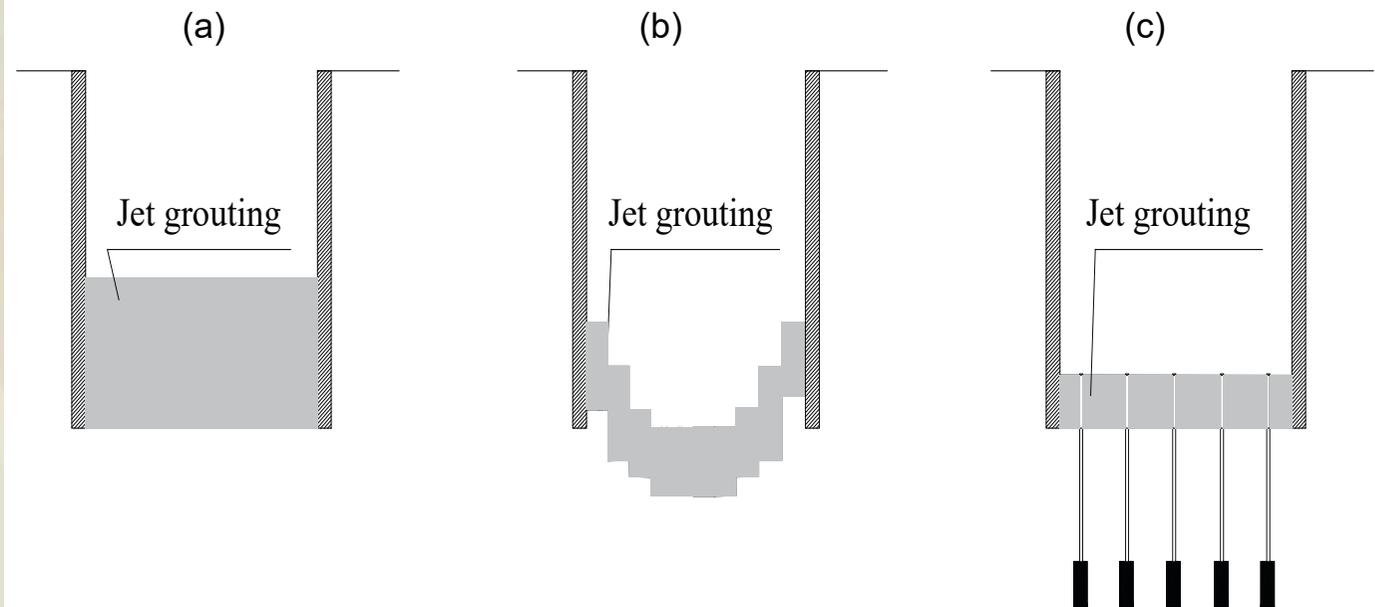
TAMPONI DI FONDO

Figura 12 - Scavo solettone galleria di sottoattraversamento del Fiume Dora



Attraversamento T.A.V. fiume Dora
(Cavallero, Ciufegni, Piovano, 2008)

Tipologie (sottospinta)

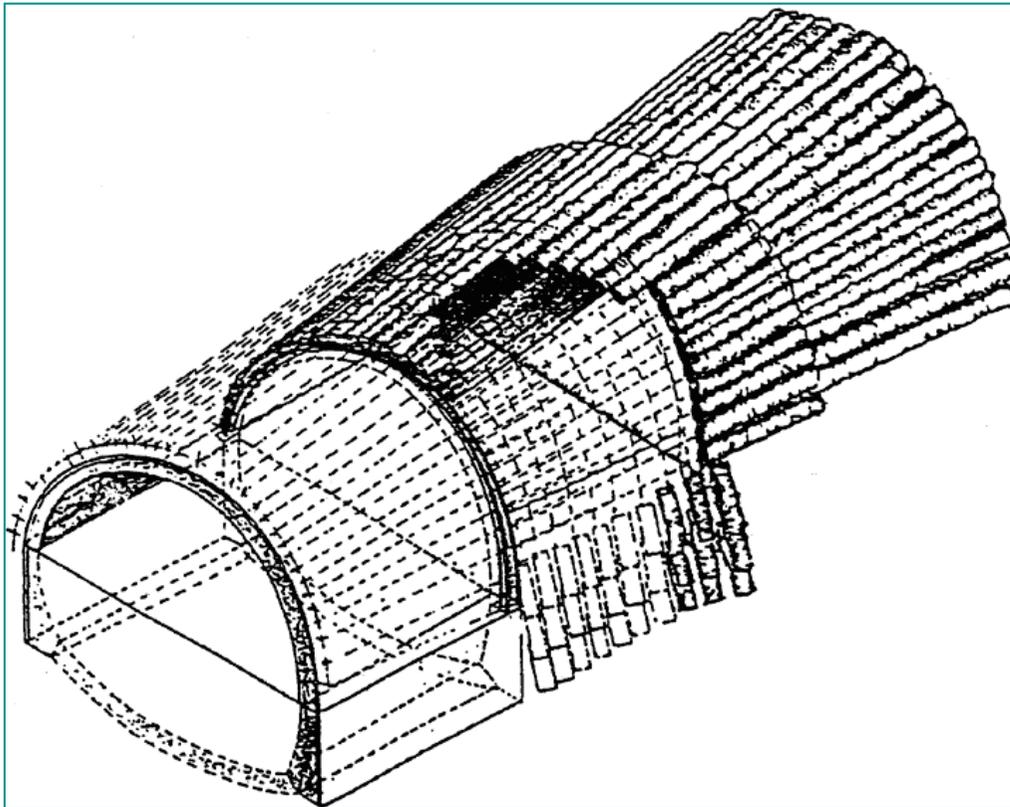


Problemi evidenziati in alcuni casi:

- a) spostamenti delle strutture contigue durante il trattamento
- b) discontinuità locali del tampone con flusso d'acqua all'interno dello scavo

IMPIEGO DEL JET GROUTING PER LA COSTRUZIONE DELLE GALLERIE

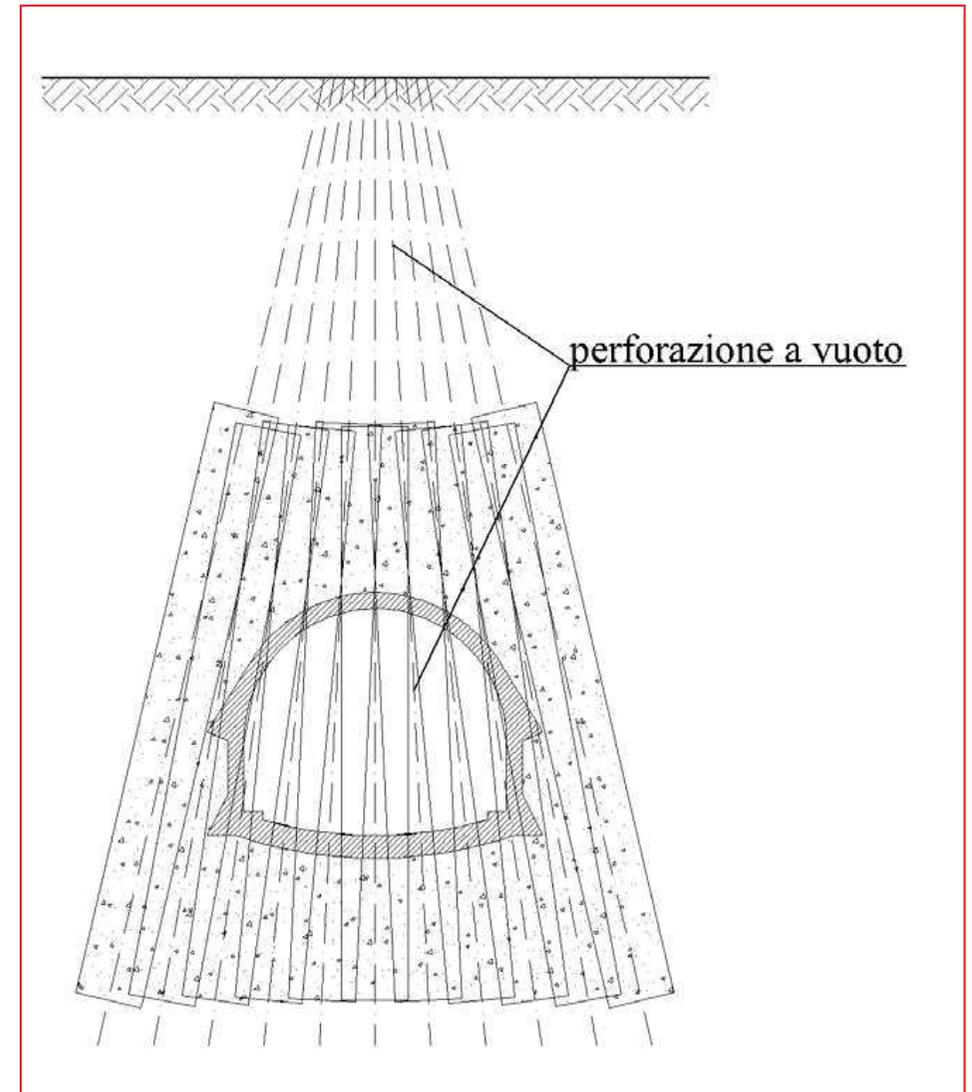
Trattamento in Avanzamento



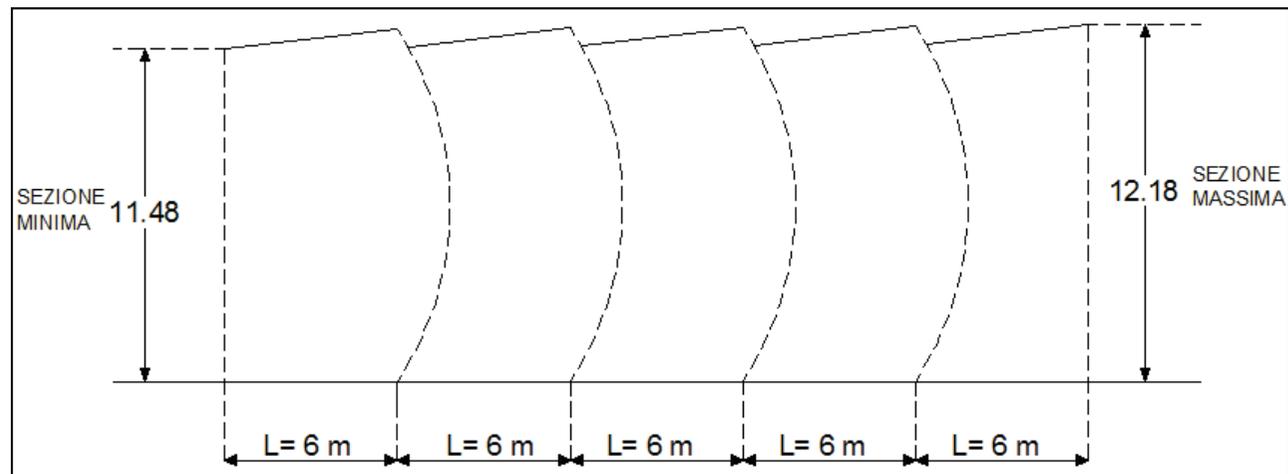
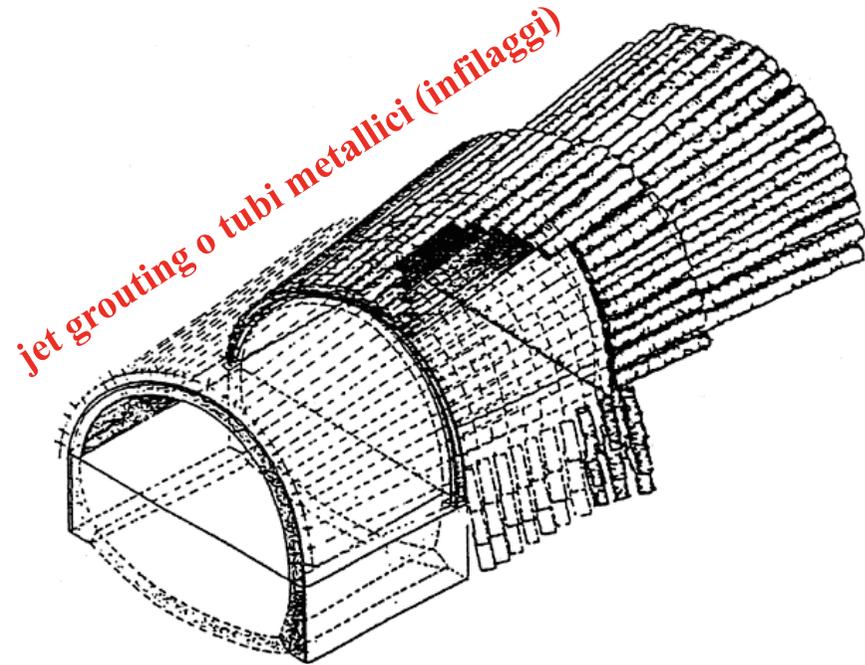
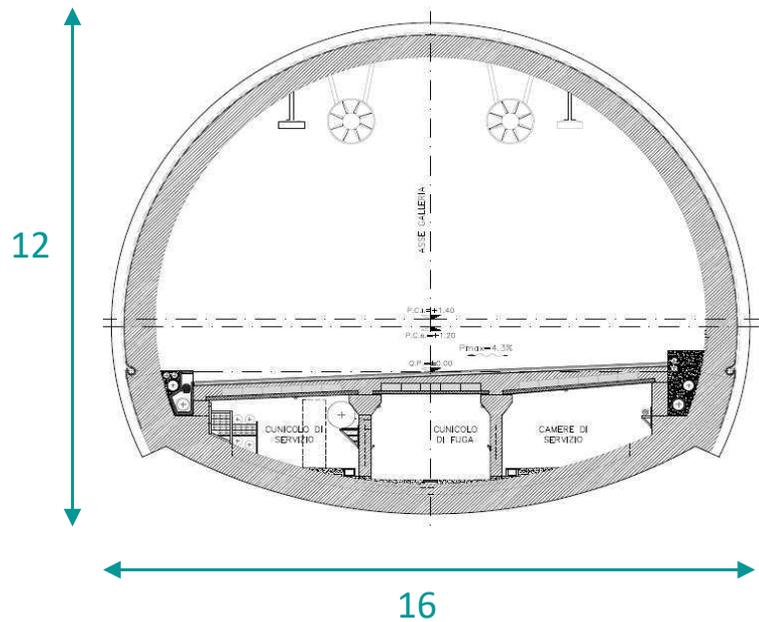
Tecnica a "Ombrello" (Canopy Technique)

N.B. Sistema Monofluido

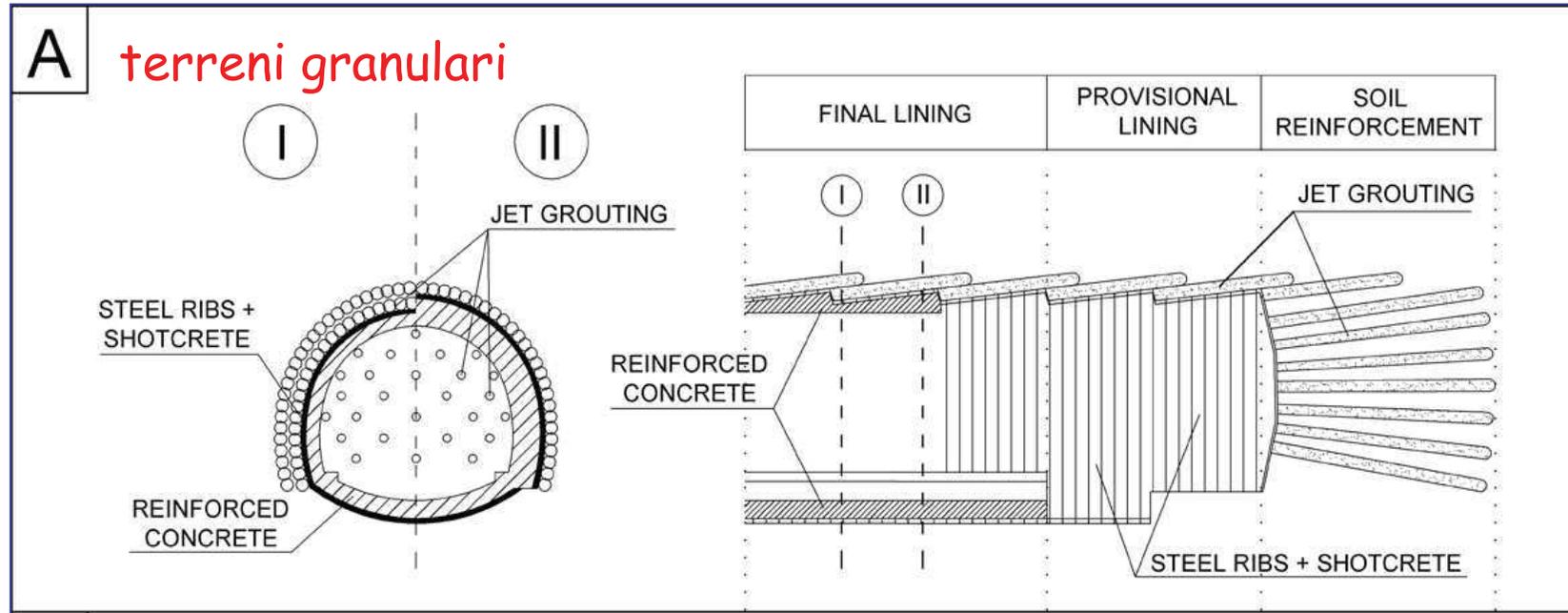
Trattamento dall'alto



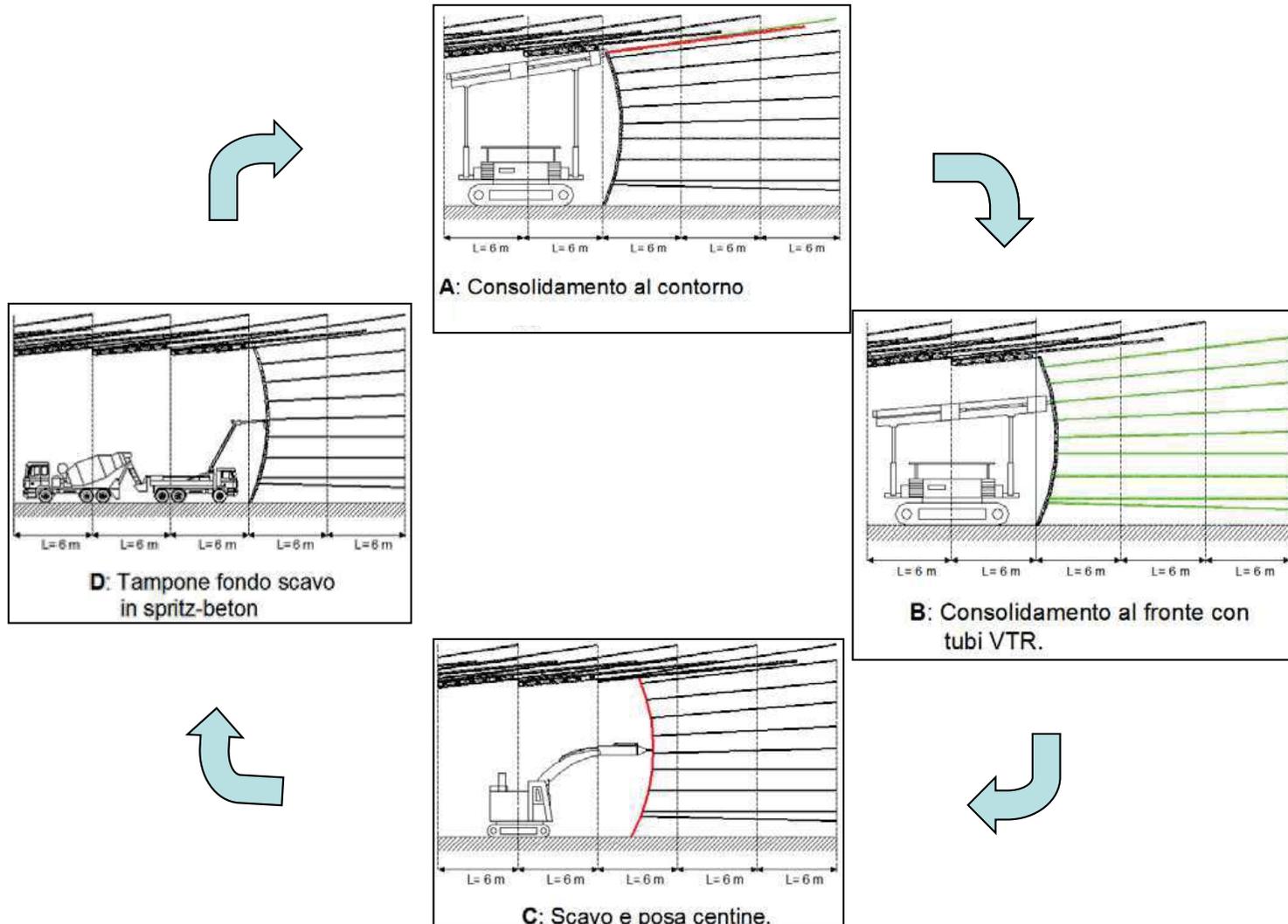
PRECONSOLIDAMENTO AD OMBRELLO



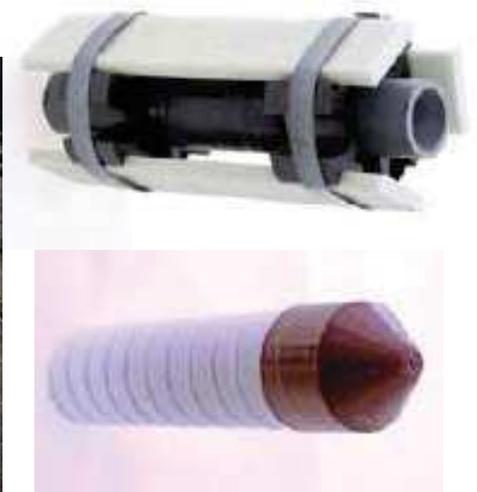
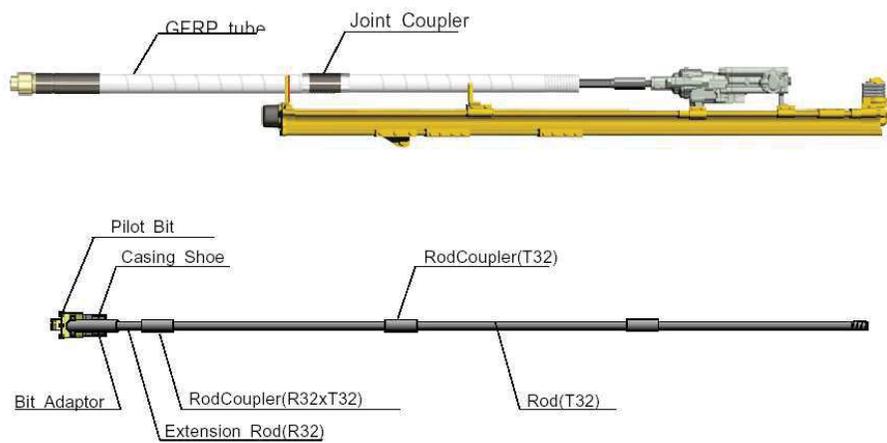
AVANZAMENTO CON PRECONSOLIDAMENTO A OMBRELLO



FASI COSTRUTTIVE

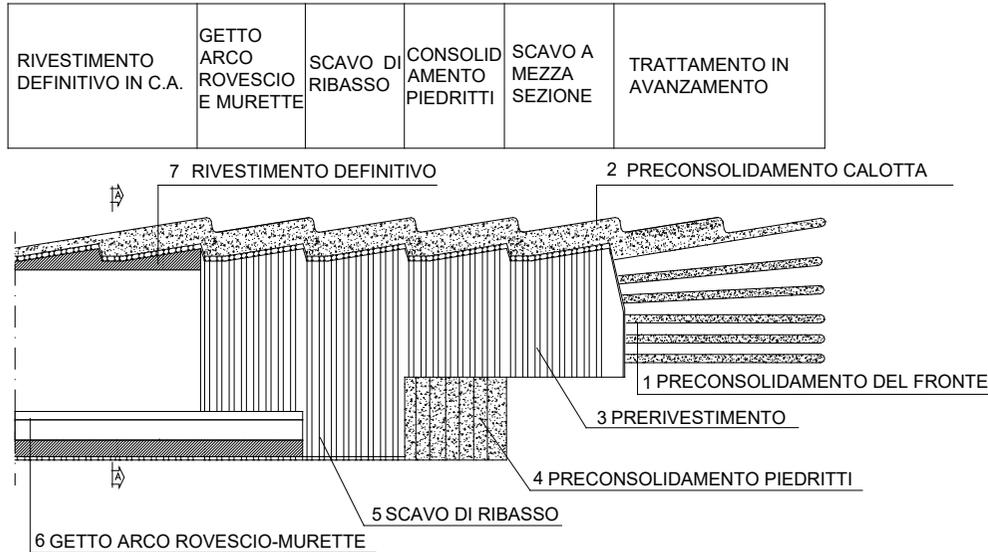


INFILAGGI IN VTR

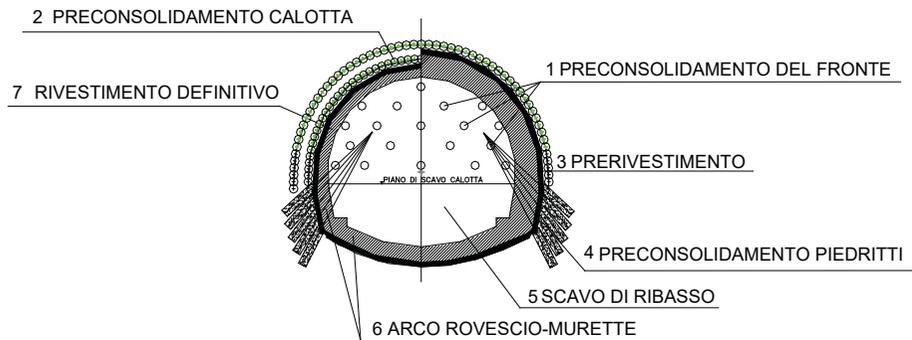


AVANZAMENTO

PROFILO LONGITUDINALE

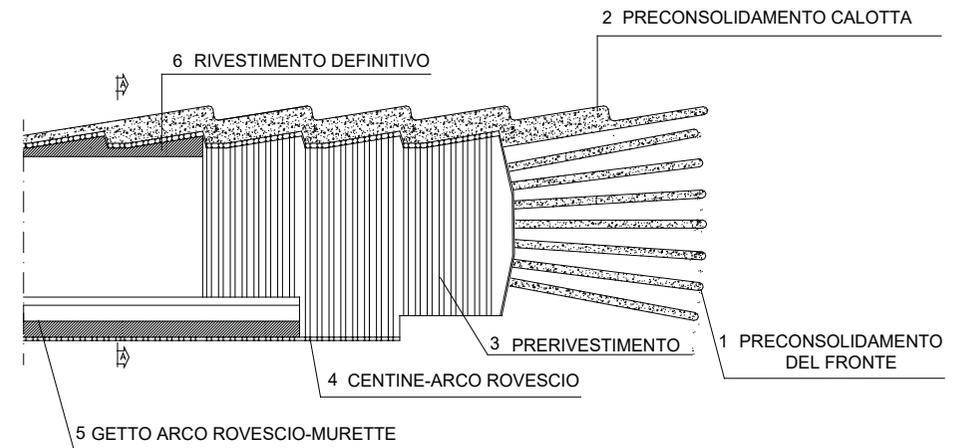


SEZIONE A-A

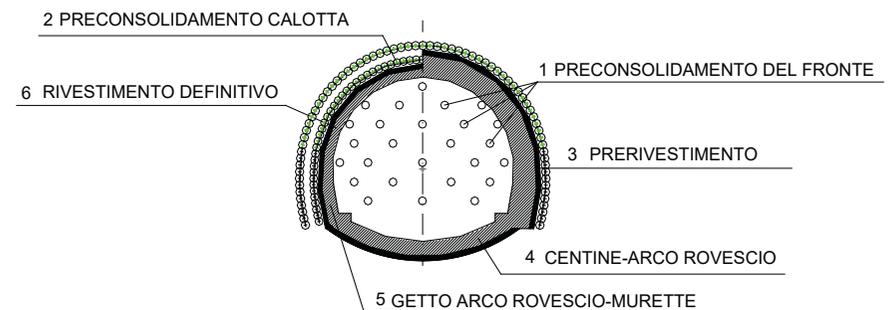


avanzamento a sezione parzializzata

PROFILO LONGITUDINALE



SEZIONE A-A



avanzamento a piena sezione

GALLERIE: CASI DI STUDIO

Galleria Les Cretes (1991-93)
Autostrada A.5 Valle d'Aosta



Galleria La Torrassa-Sants (2006-07)
Alta Velocità Ferroviaria
Barcellona



Galleria GNF2 (2001-02)
Alta Velocità Ferroviaria
Sesto Fiorentino (FI)



GALLERIE: CASI DI STUDIO



**Collettore Fognario
Emissario Sud Orientale
(2006-08)
Palermo - corso Re Ruggero**

G.R.A. Roma Galleria Trionfale 2005-2007

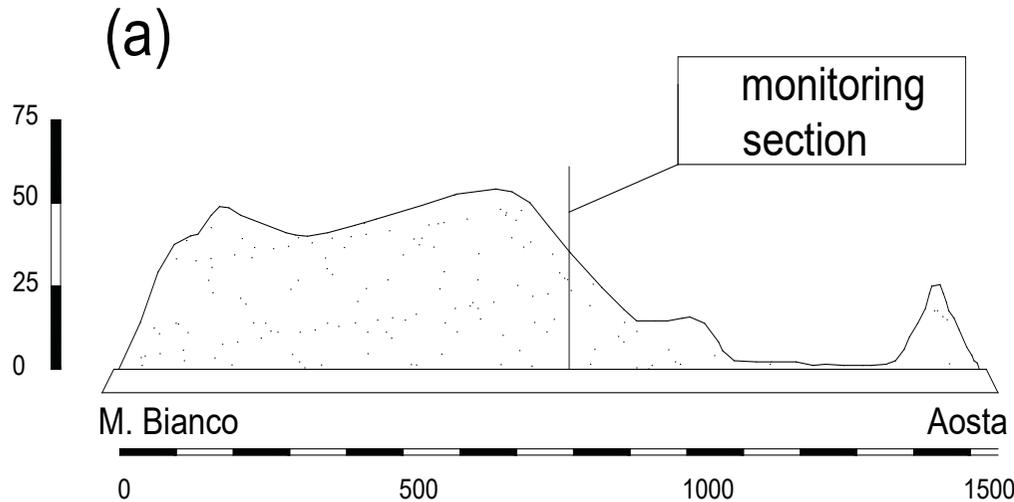


S.S. 639 Variante di Pusiano (CO) (2014)



GALLERIA LES CRETES (1991-93)

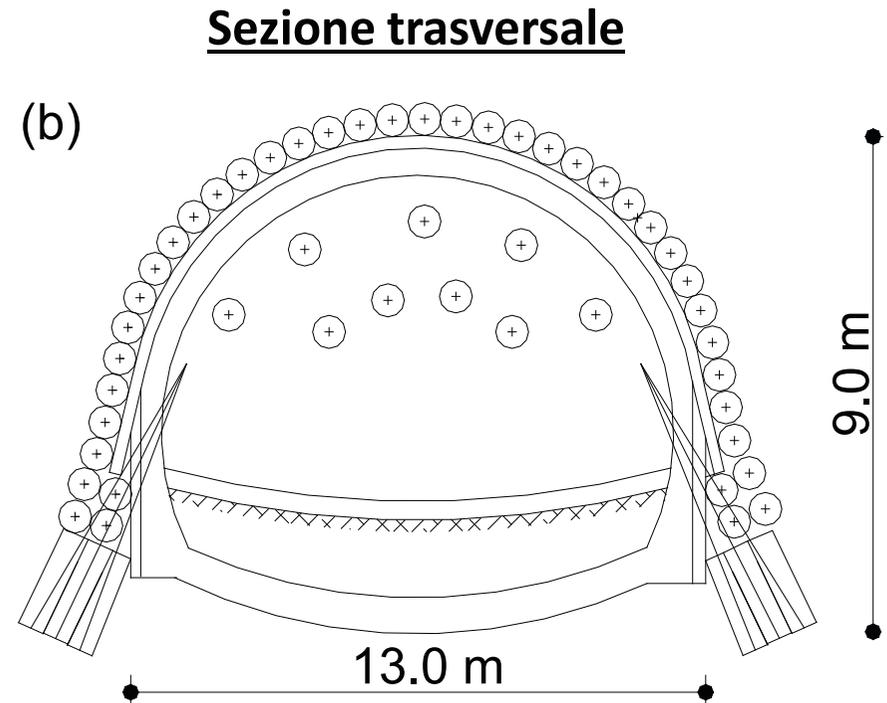
deposito morenico (sabbia e ghiaia + blocchi): sotto falda



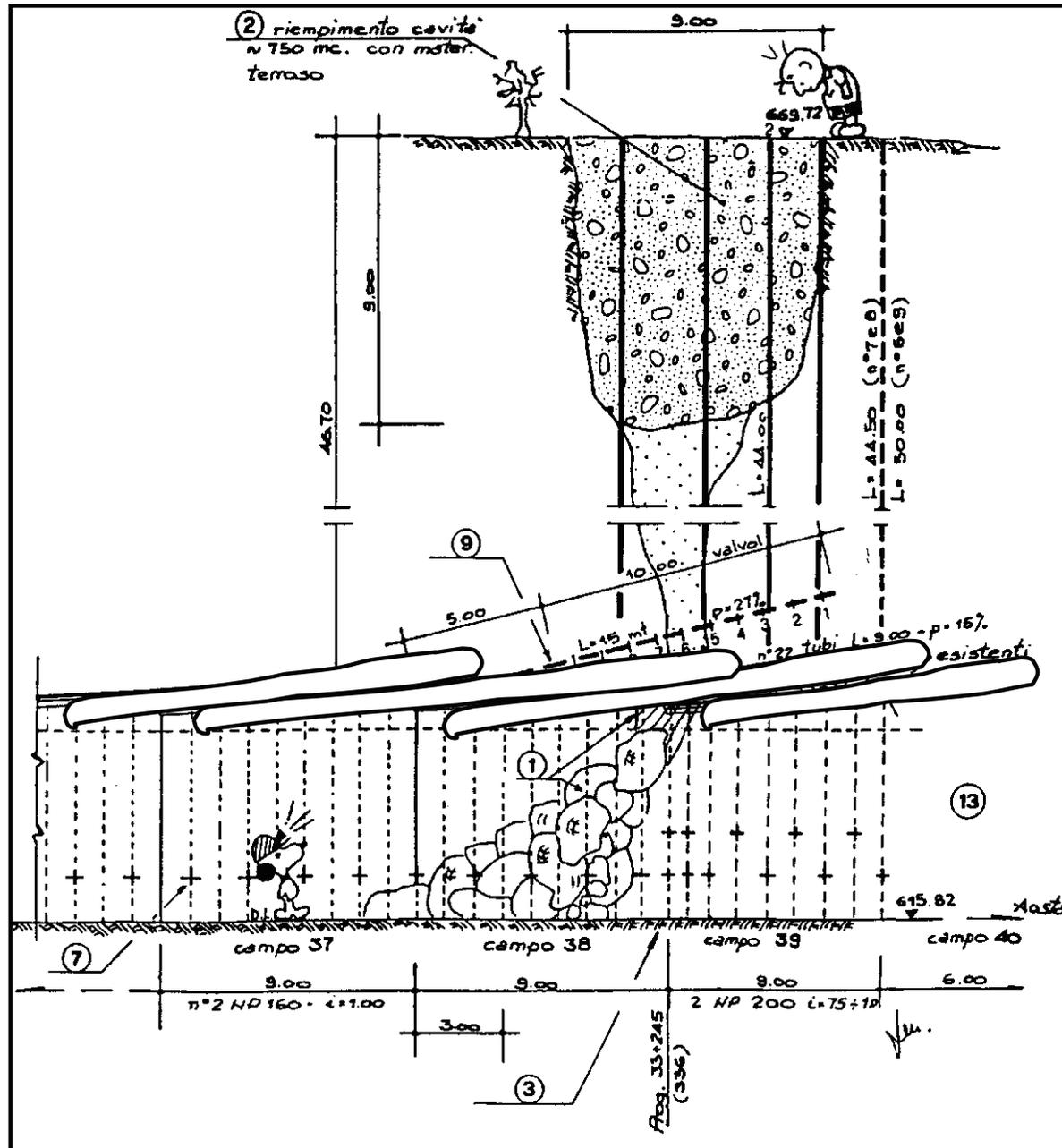
Profilo longitudinale

EPOCA PIONERISTICA

- Avanzamento a mezza sezione
- Coronella singola di colonne consolidate
- Senza armatura di rinforzo sistematica
- Senza consolidamento sistematico del fronte

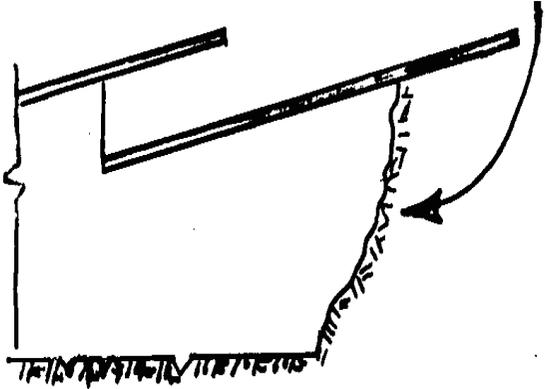


un meccanismo di collasso verificatosi durante la costruzione della galleria Les Cretes



GALLERIA LES CRETES: MECCANISMI DI COLLASSO

A

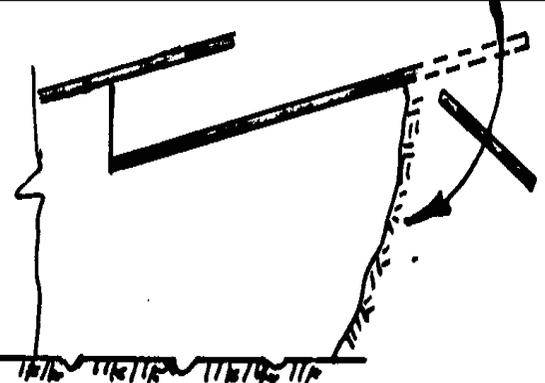


A - fronte instabile

Cause: strati di terreno scadente, sifonamento...

Possibili soluzioni: trattamento del fronte ombrello più lungo...

B1

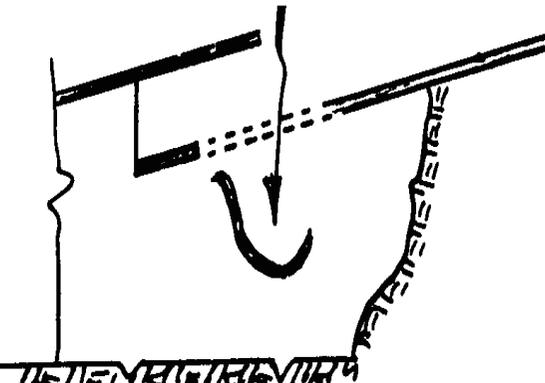


B1 - B2 ombrello instabile

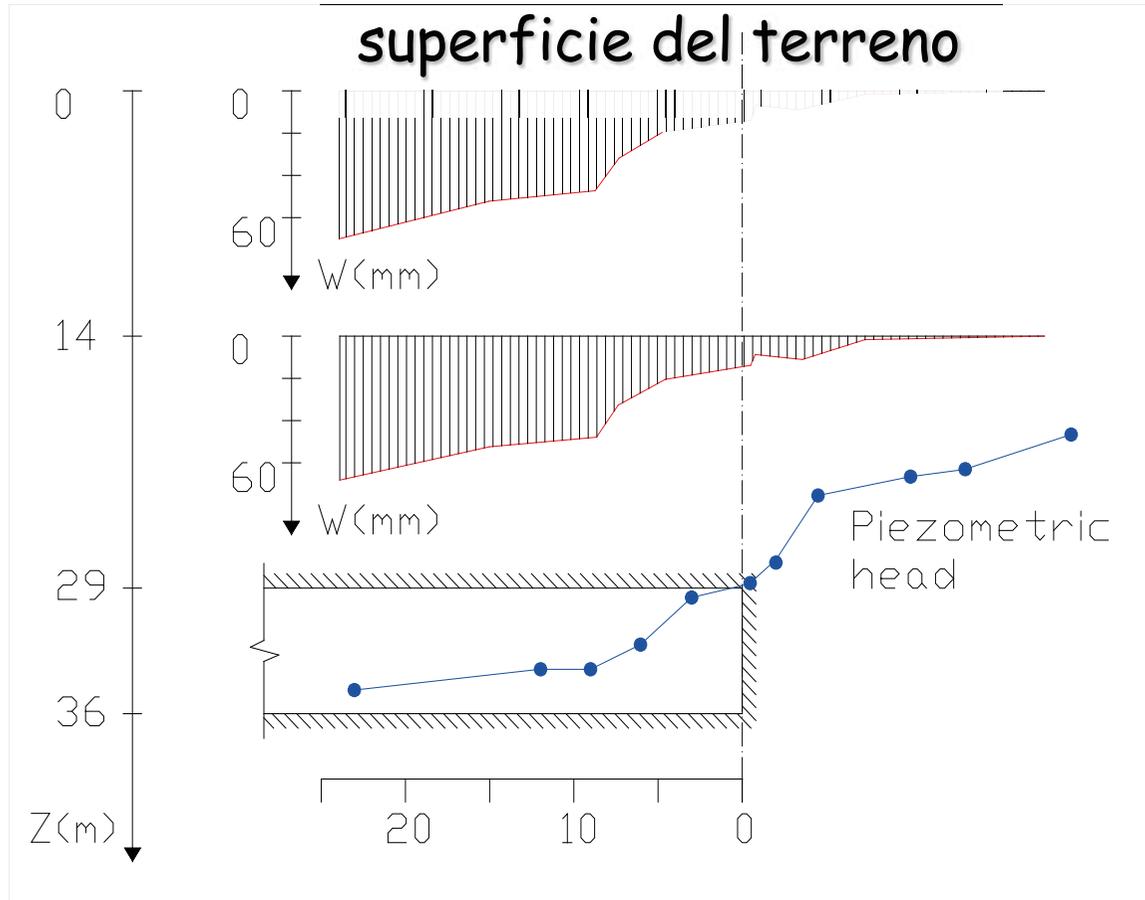
Cause: difetti locali del consolidamento

Possibili soluzioni: controlli più accurati, sovradimensionamento progettuale, armature di rinforzo.....

B2

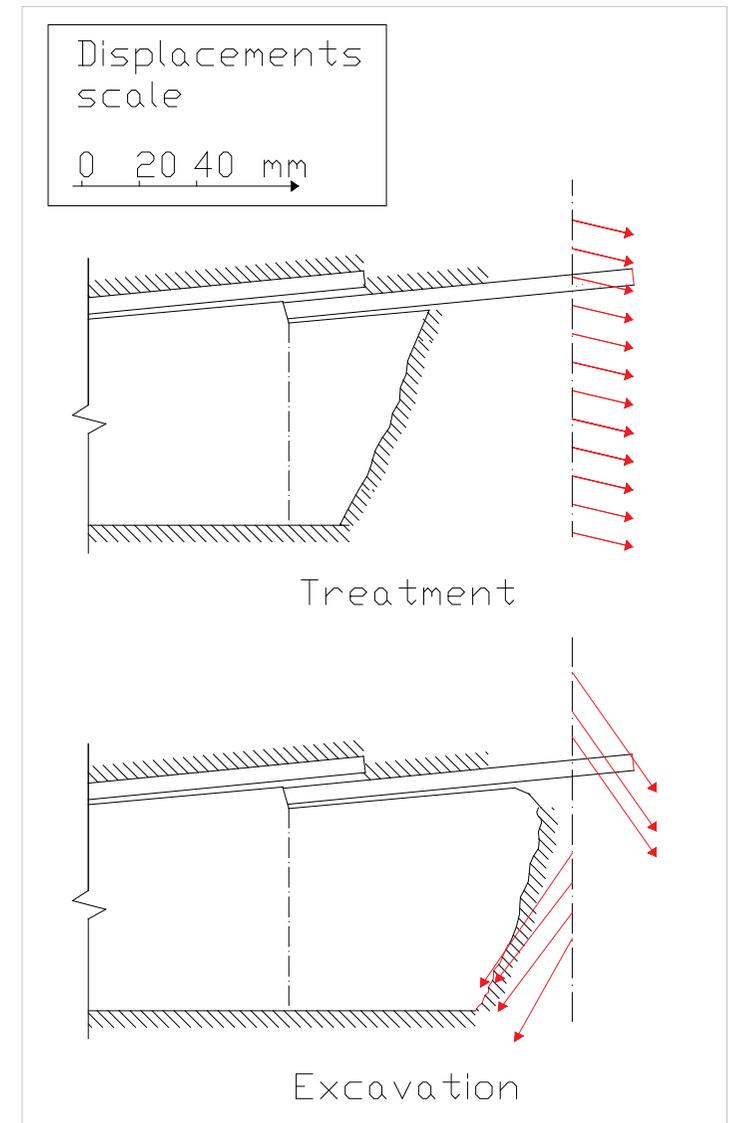


GALLERIA LES CRETES



Cedimenti Verticali

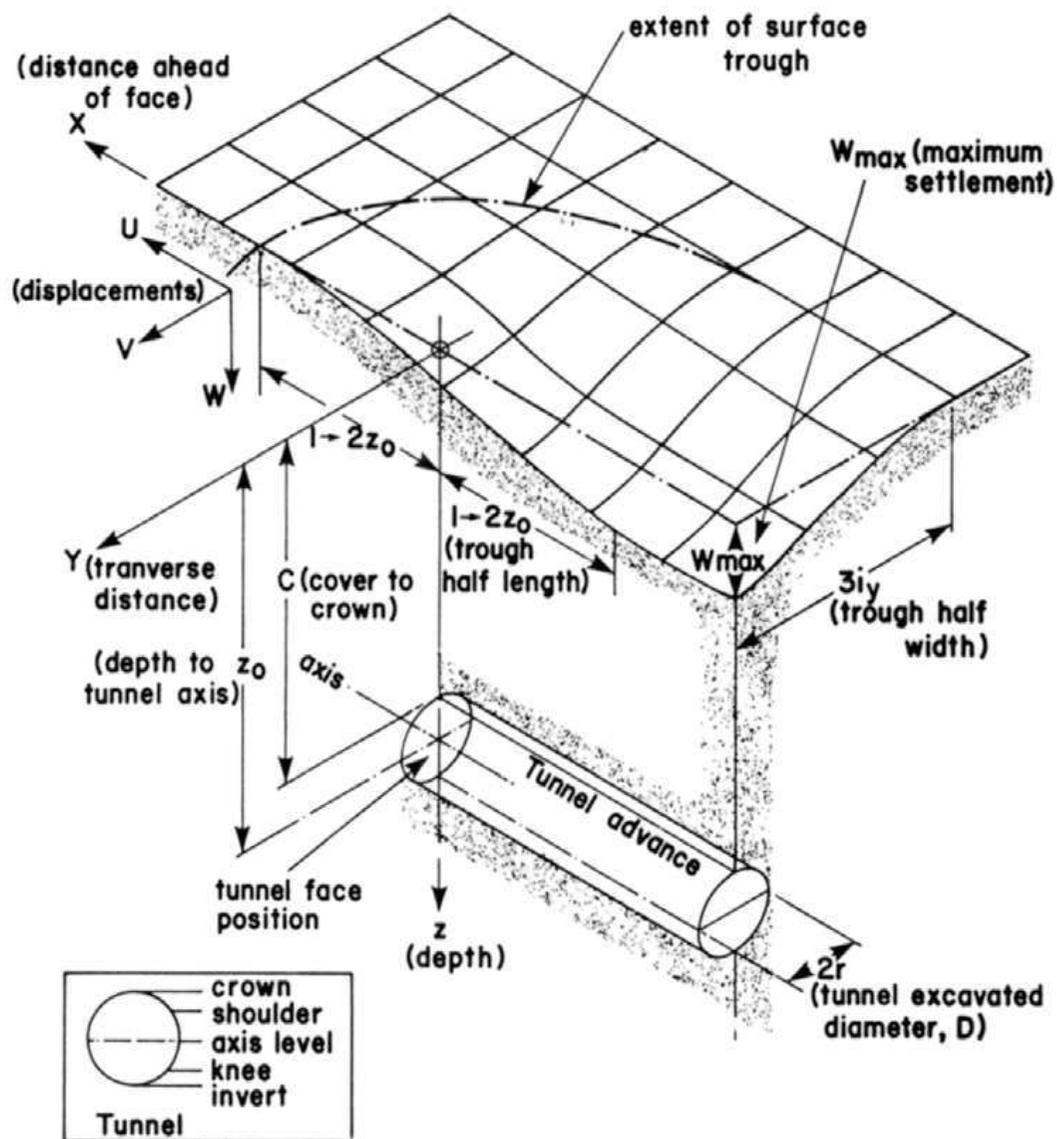
(in funzione della distanza dal fronte)



movimenti del fronte di scavo

CEDIMENTI INDOTTI 'IN CAMPO LIBERO' (FREE FIELD)

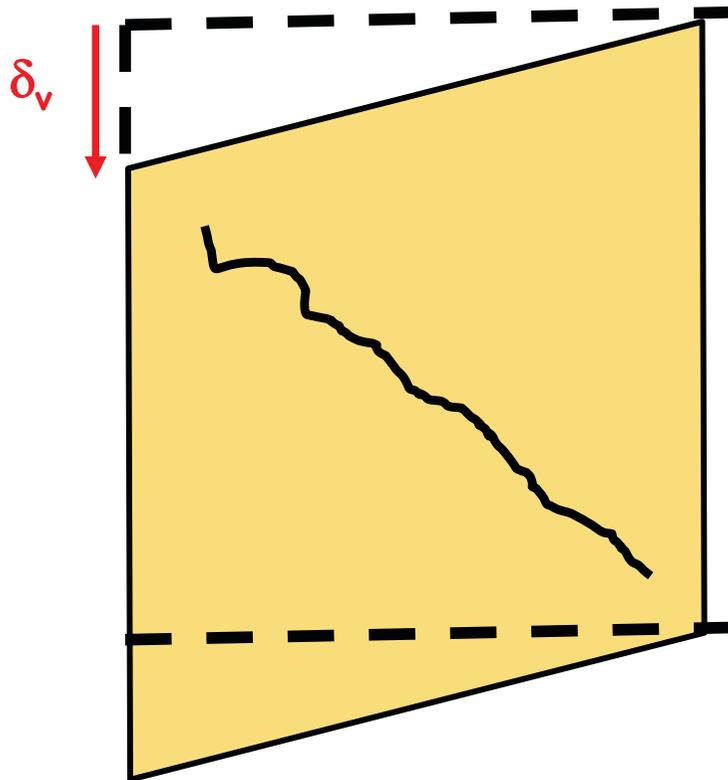
Catino di Subsidenza (Peck 1969)



EFFETTI SULLE STRUTTURE

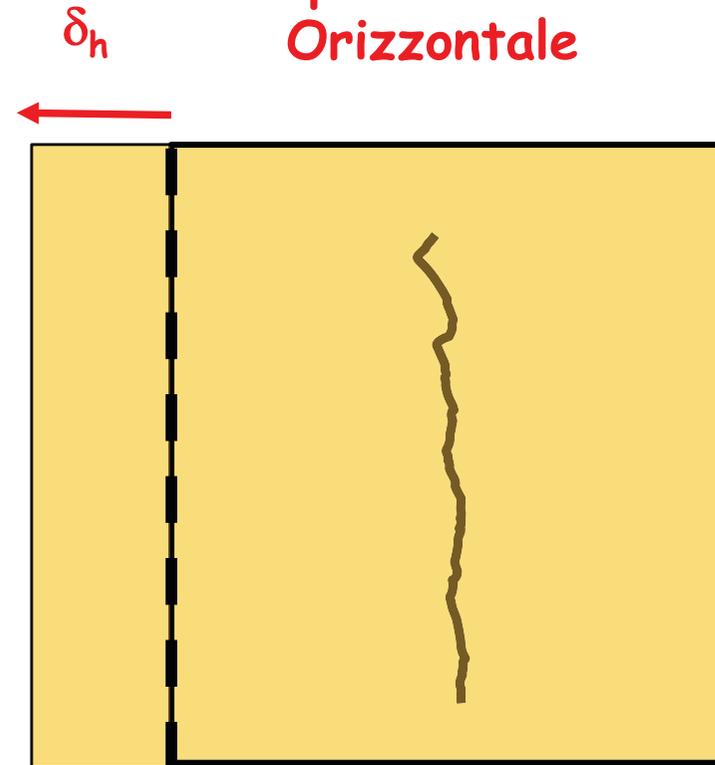
andamento tipico delle lesioni

**Cedimento
Differenziale**



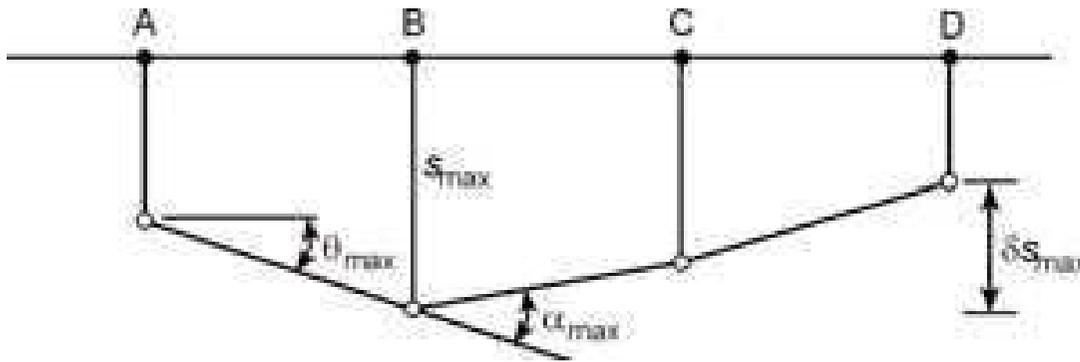
**Deformazione Diagonale
(diagonal tensile strain)**

**Spostamento
Orizzontale**

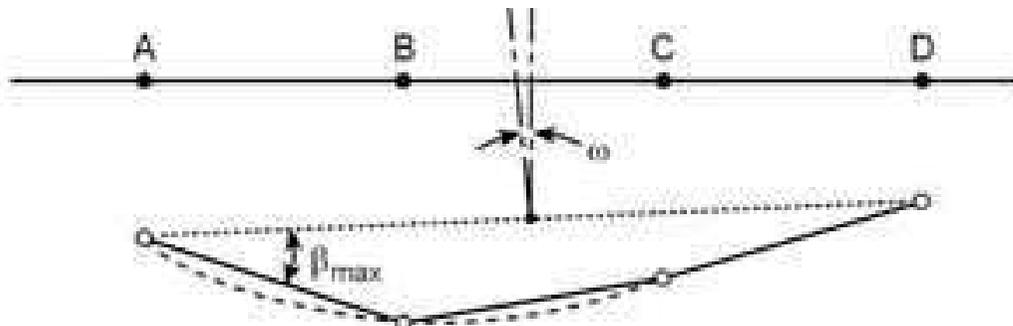
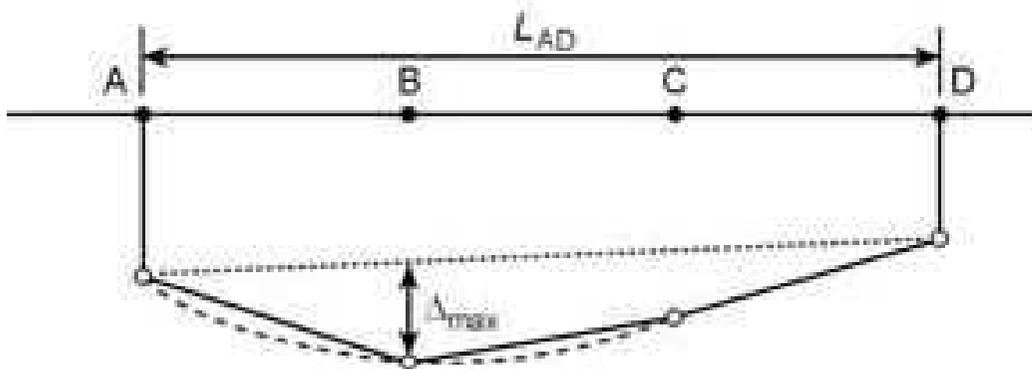


**Deformazione Orizzontale
(direct tensile strain)**

CORRELAZIONI EMPIRICHE



- Cedimento assoluto S
- Cedimento relativo δS
- Rotazione θ
- Deformazione angolare α
- Deflessione relativa Δ
- Inclinazione ω
- Distorsione angolare β



DISTORSIONI ANGOLARI LIMITE SECONDO BJERRUM

<i>Categoria di danno potenziale</i>	<i>tanβ</i>
• Limite oltre il quale possono sorgere problemi in macchinari sensibili ai cedimenti	1/750
• Limite di pericolo per strutture reticolari	1/600
• Limite di sicurezza per edifici in cui non si ammettono fessurazioni	1/500
• Limite oltre il quale possono apparire le prime fessure nei muri di tamponamento e difficoltà nell'uso dei carri ponte	1/300
• Limite oltre il quale possono essere visibili inclinazioni di edifici alti.	1/250
• Notevoli fessure in muri di tamponamento e muri portanti in laterizio.	1/250
• Limite di sicurezza per muri portanti in laterizio con $h/L < 1/4$.	1/150
• Limite oltre il quale si devono temere danni strutturali negli edifici.	1/150

RILIEVO DELLE LESIONI E CLASSIFICAZIONE DEI DANNI STRUTTURALI (modificato da Boscardin & Cording, 1989)

Categoria di danno	Descrizione del danno tipico	Apertura delle fessure (mm)	δ_{max} (cm)	δ/L
Trascurabile	Fessure capillari	< 0,1	< 3	< 1/300
Molto lieve	Sottili fessure che possono essere riparate in normali interventi di manutenzione e pitturazione. Possibili modeste fessure isolate. I muri esterni di mattoni a vista presentano fessure rilevabili con esame attento.	1	3 ÷ 4	da 1/300 a 1/240
Lieve	Le fessure possono essere facilmente sigillate; di norma è necessario il ripristino degli intonaci o almeno delle pitture. Presenti numerose modeste fessure all'interno; alcune sono visibili anche dall'esterno e può essere richiesta qualche riparazione esterna per assicurare l'impermeabilità. Possibili difficoltà nell'apertura di porte e finestre .	3	4 ÷ 5	da 1/240 a 1/175
Moderato	Le fessure richiedono l'allargamento e la riparazione da parte di un muratore; all'esterno può essere necessario il rifacimento di piccole porzioni di muratura. Le fessure ricorrenti possono essere mascherate con opportuni rivestimenti. Porte e finestre si bloccano; le tubazioni dei servizi possono rompersi; l'impermeabilità non è assicurata	5 ÷ 15 ovvero numerose fessure ≤ 3	5 ÷ 8	da 1/175 a 1/120
Intenso	Necessari importanti lavori di riparazione con rimozione e sostituzione di zone di muratura, specialmente al di sopra di porte e finestre. I telai di porte e finestre sono distorti; i pavimenti visibilmente inclinati; i muri fuori piombo o spanciati. Possibili perdite di appoggio delle travi. Tubazioni dei servizi distrutte.	15 ÷ 25 ma comunque dipendente dal numero di fessure	8 ÷ 13	da 1/120 a 1/70
Molto intenso	Richiesti importanti lavori di riparazione con demolizione e ricostruzione parziale o totale dell'edificio. Le travi perdono appoggio; i muri si inclinano sensibilmente e richiedono puntelli. Le finestre si rompono. Pericolo di crollo.	In genere > 25 ma comunque dipendente dal numero di fessure		

Alta Velocità Ferroviaria

GNF2 Tunnel (L=49m) - via Gramsci, Sesto Fiorentino (2001-2002)

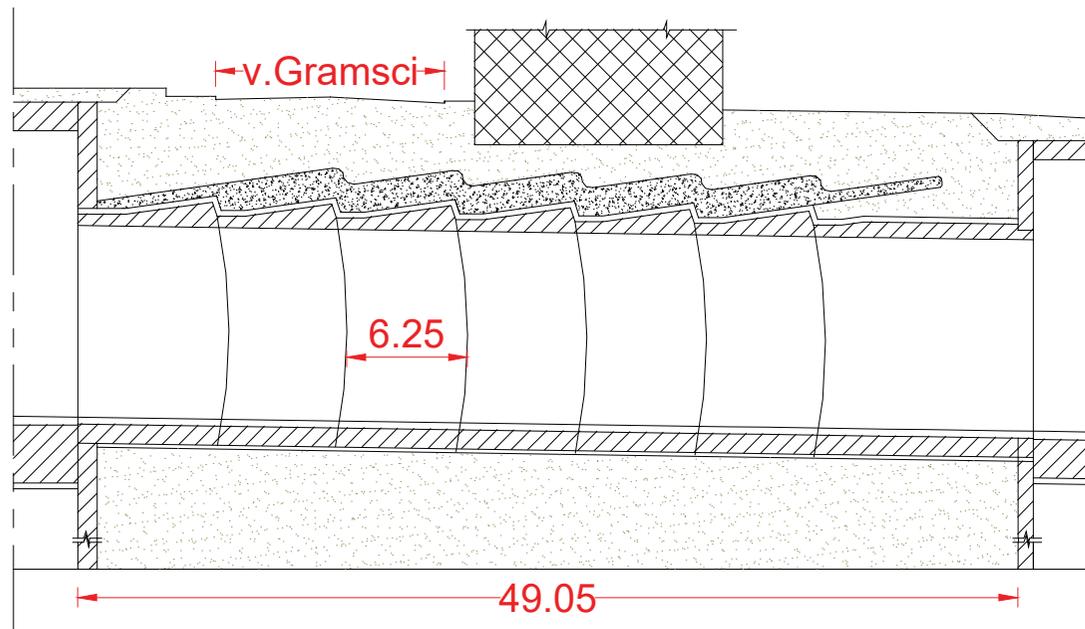
2003



2018



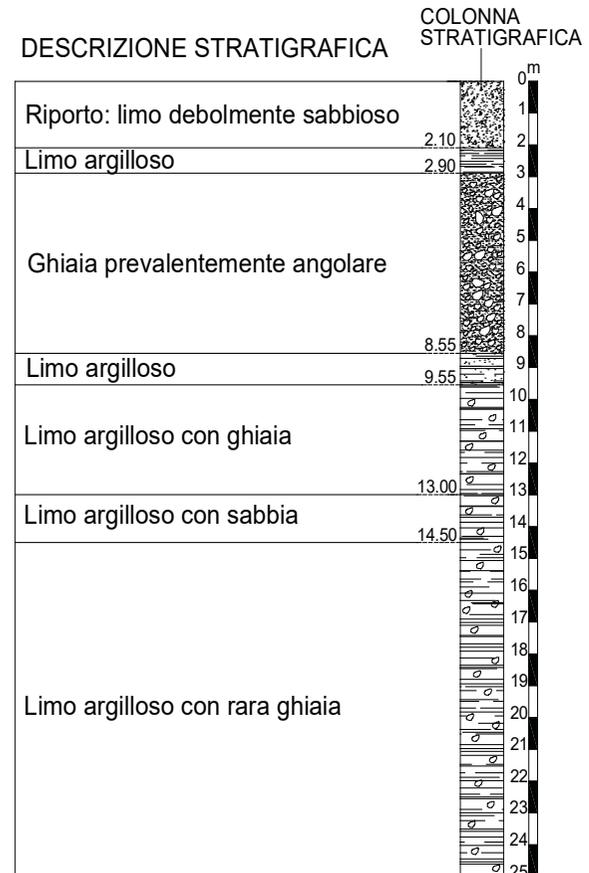
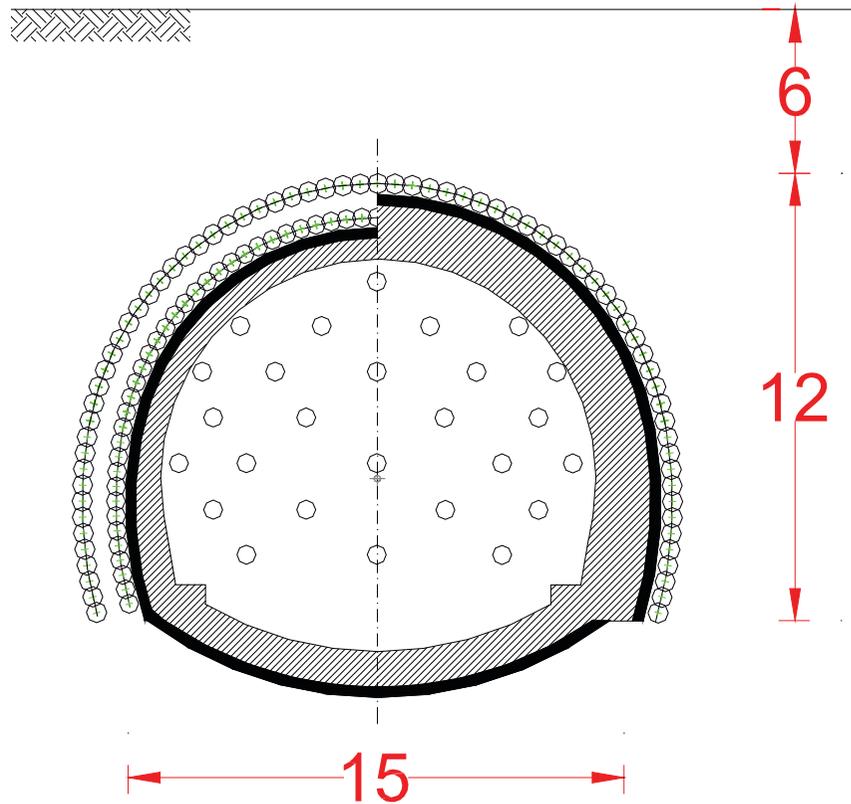
GNF2 - SEZIONE LONGITUDINALE



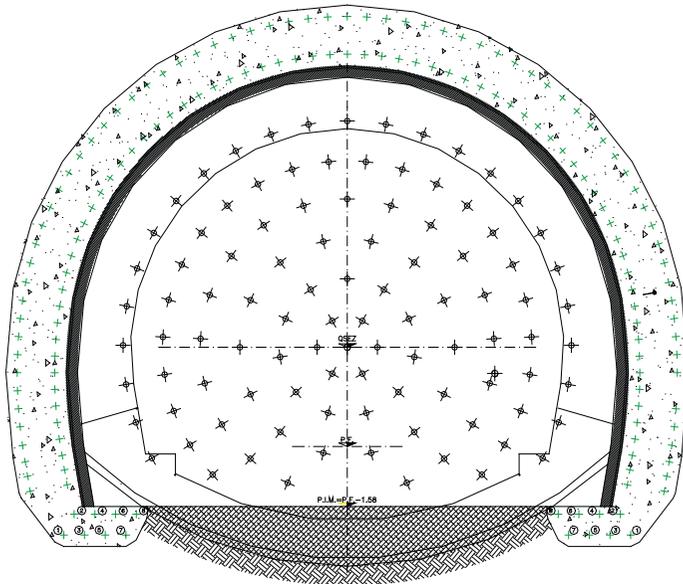
• lunghezza complessiva $L = 49$ m

• lunghezza campo $l = 6.25$ m

GNF2 - SEZIONE TRASVERSALE



GNF2 - PROCEDIMENTO COSTRUTTIVO



Trattamento del fronte:

- 99 tubi vetroresina (L=24 m)

Trattamenti al contorno:

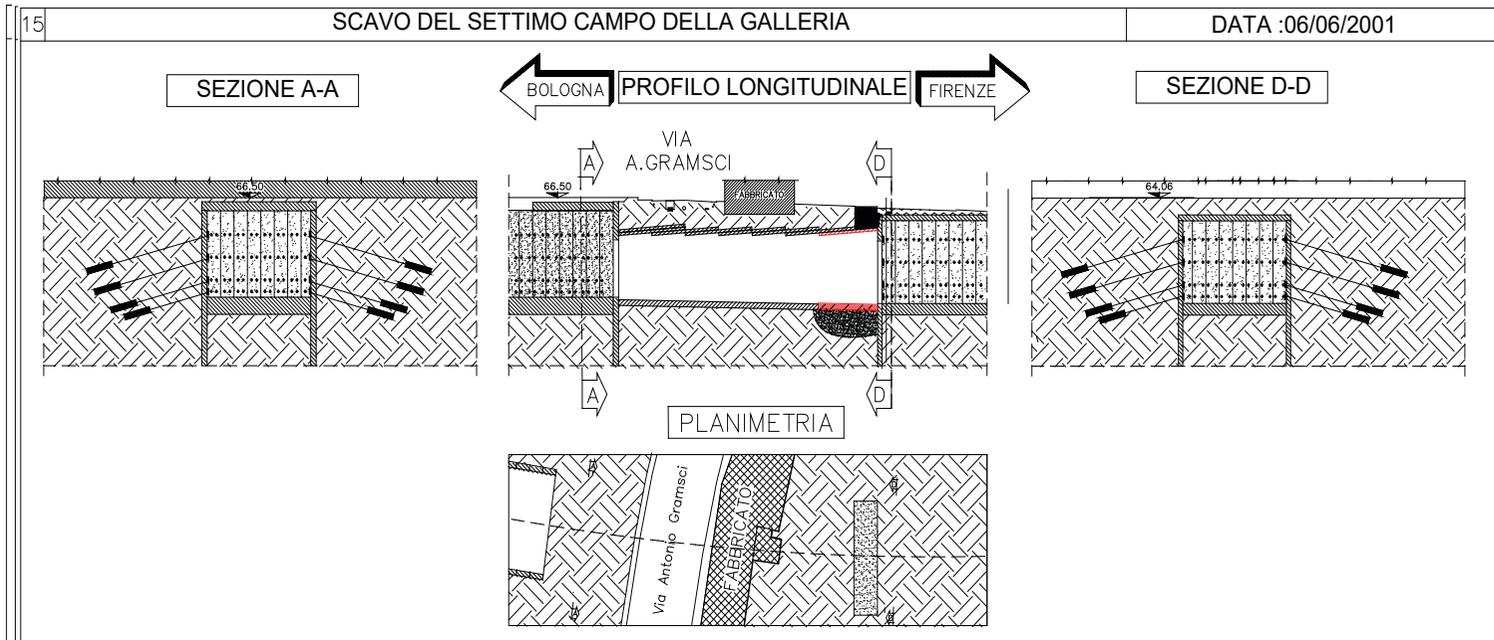
- 71 colonne jet-grouting (I=40 cm, L= 13 m)
- tubi di acciaio (I=40 cm d = 88.9 mm)

Rivestimento Provvisorio:

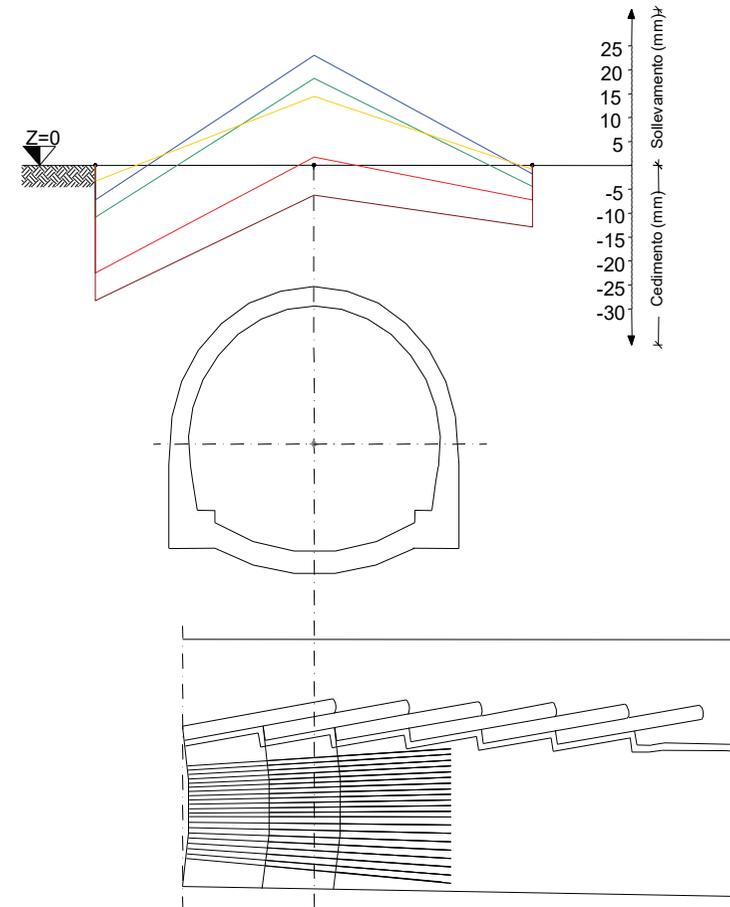
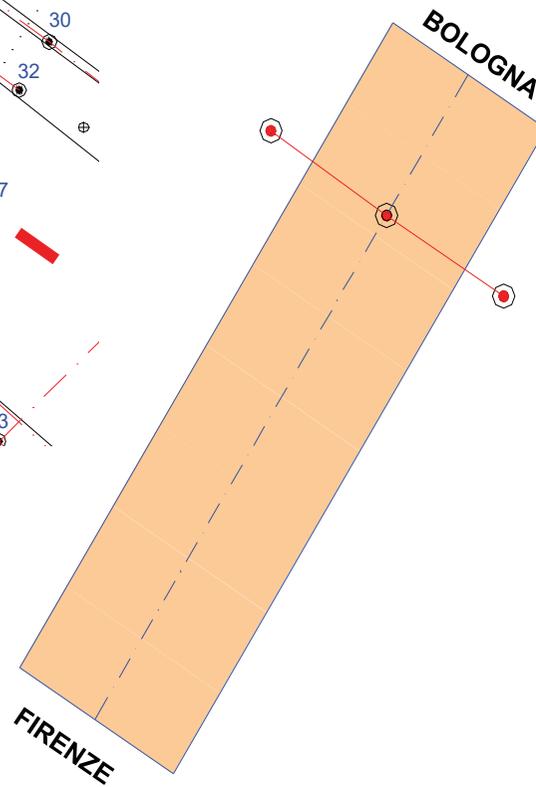
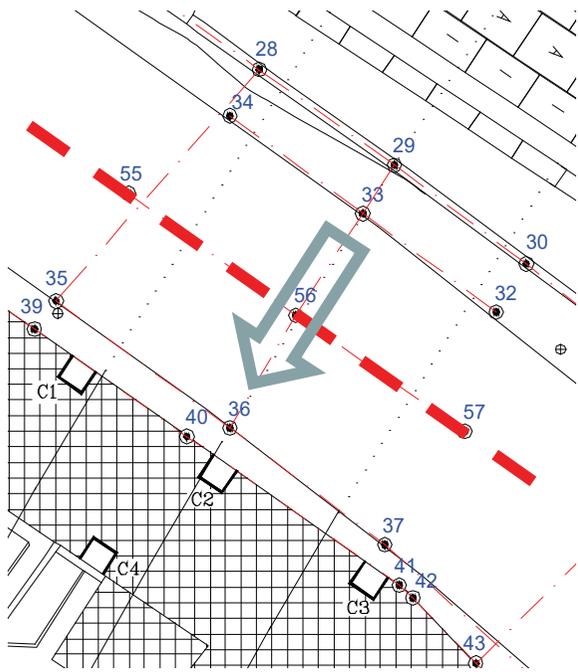
- Centine: 2 IPN 200 (I = 75 cm)
- Spritz Beton fibrorinforzato (s = 30 cm)

Rivestimento Definitivo in CLS

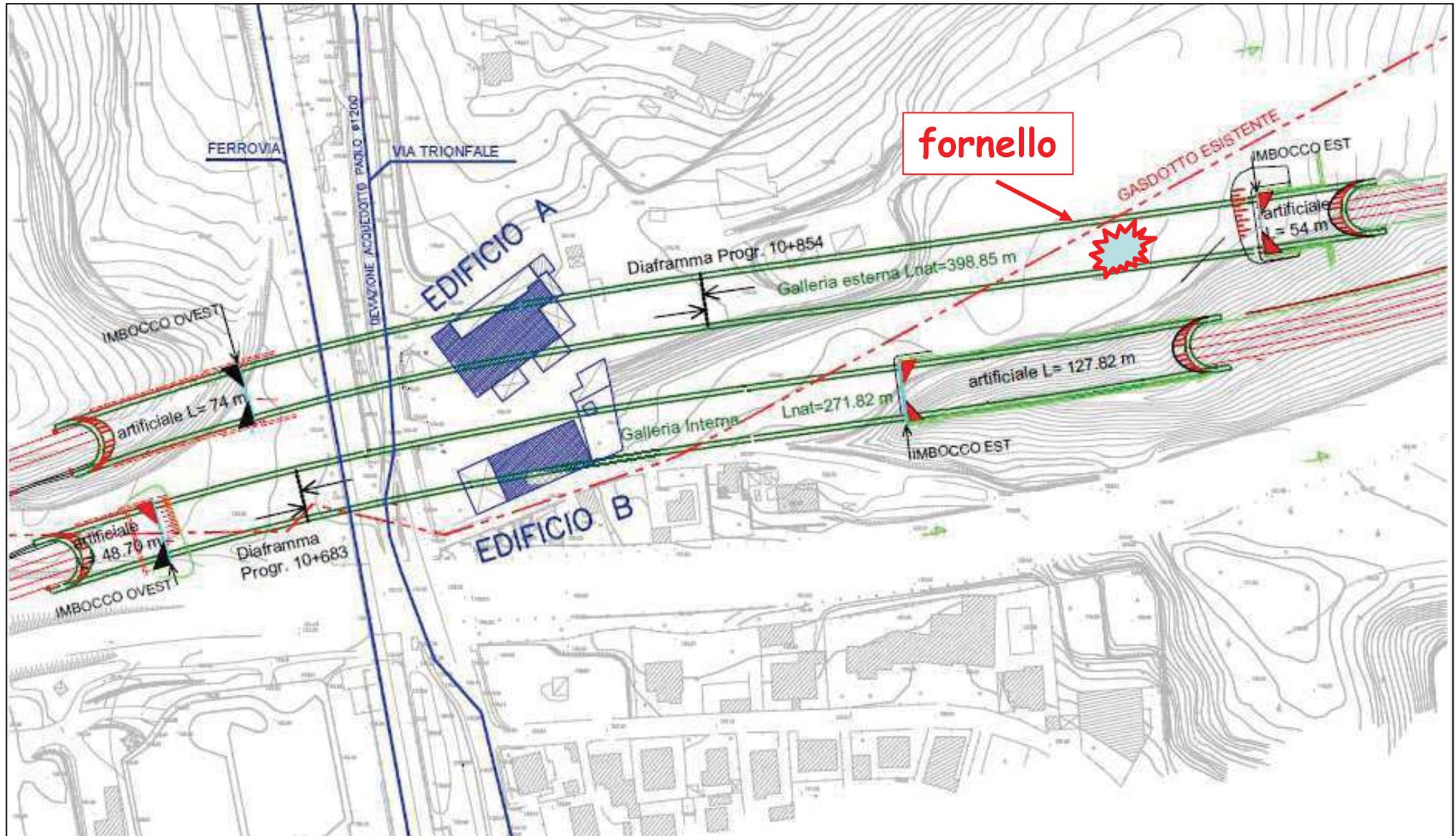
GNF2 - SEQUENZA COSTRUTTIVA



MISURE TOPOGRAFICHE (Sez. Trasversale)

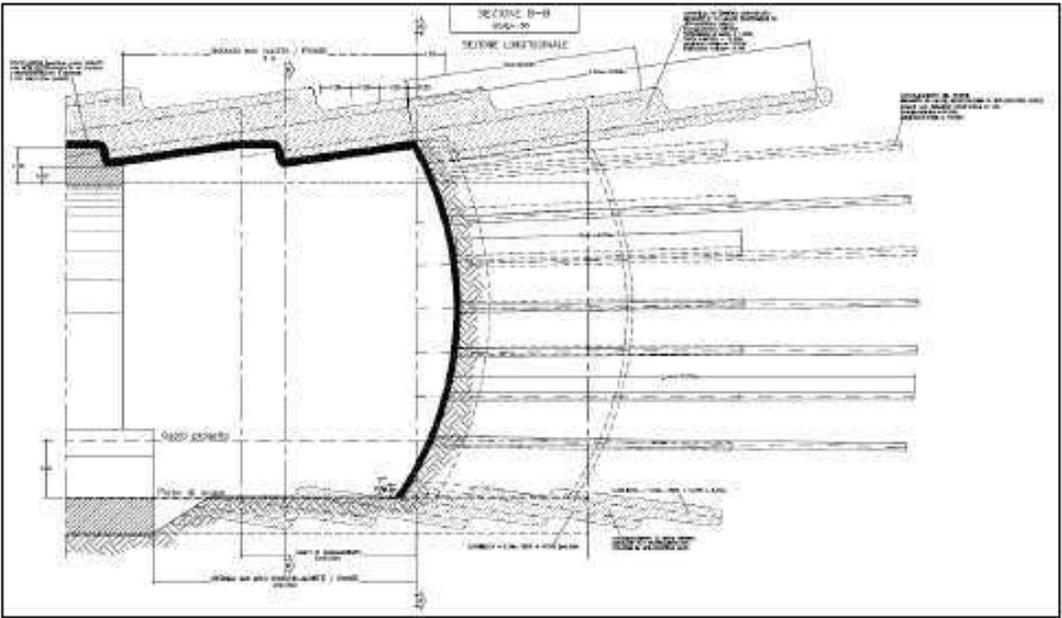
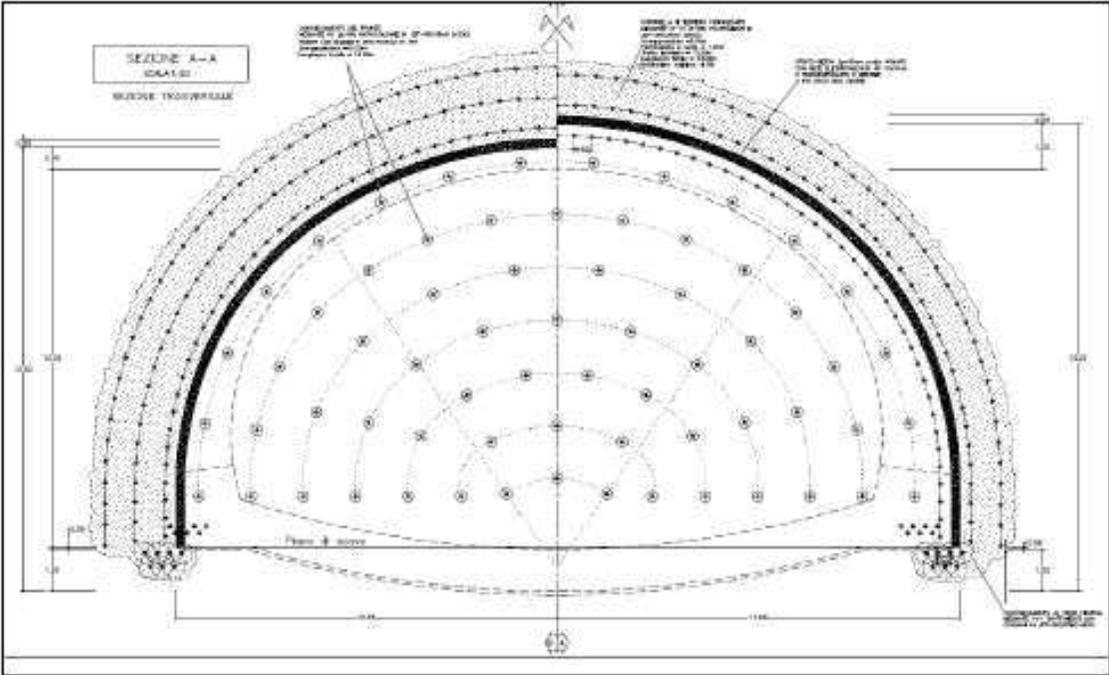


G.R.A. Roma. Galleria Trionfale (2005-2007)



SEZIONE TIPO

H = 13 m
L = 22 m
Cop. = 8 – 18 m



TERRENI



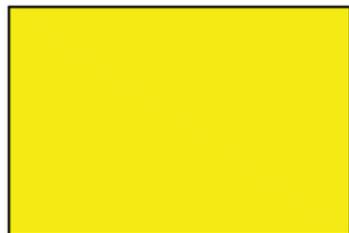
Terreno vegetale e materiale di riporto a matrice prevalentemente limo-sabbiosa con inclusi litoidi eterogenei e residui di sostanze plastiche.



Argilla limosa o limo argillosa mediamente, talvolta contenente materiale organico in tracce

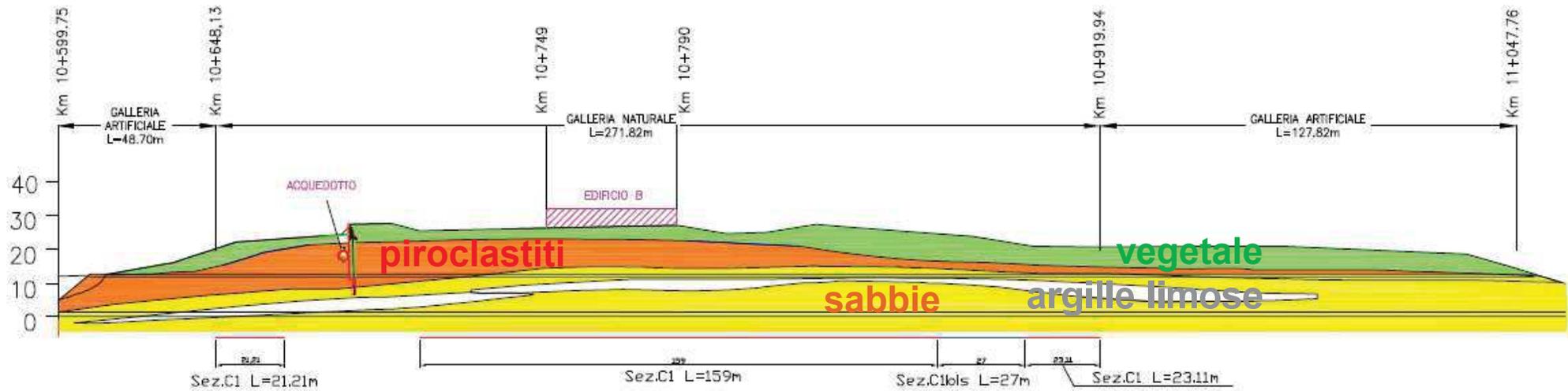
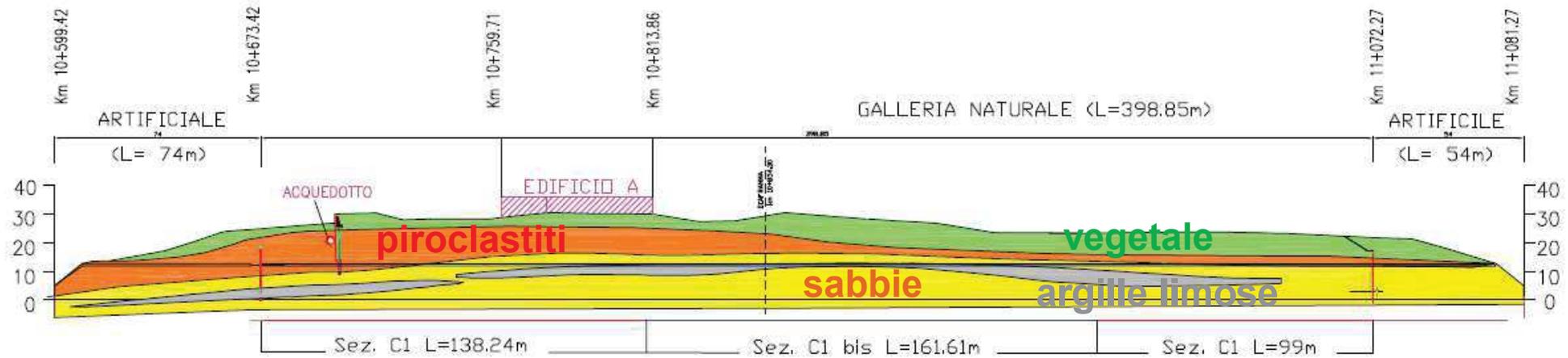


Terreni piroclastici costituiti da sabbie limose marroni, talora debolmente cementate, con intercalazioni di livelli argillificati a rari sottili passaggi litoidi



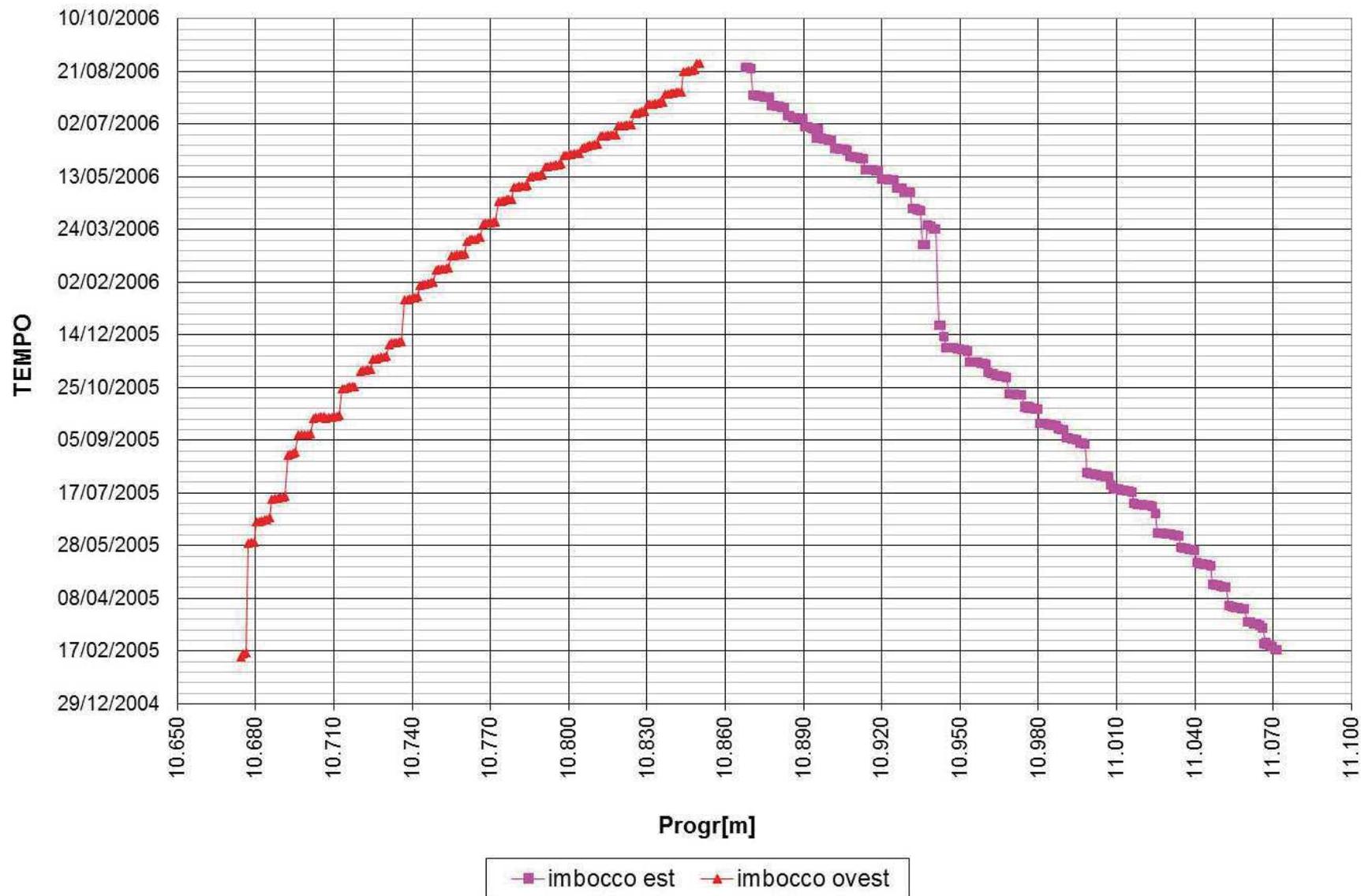
Sabbie fini limose avana giallastre

PROFILO GEOLOGICO



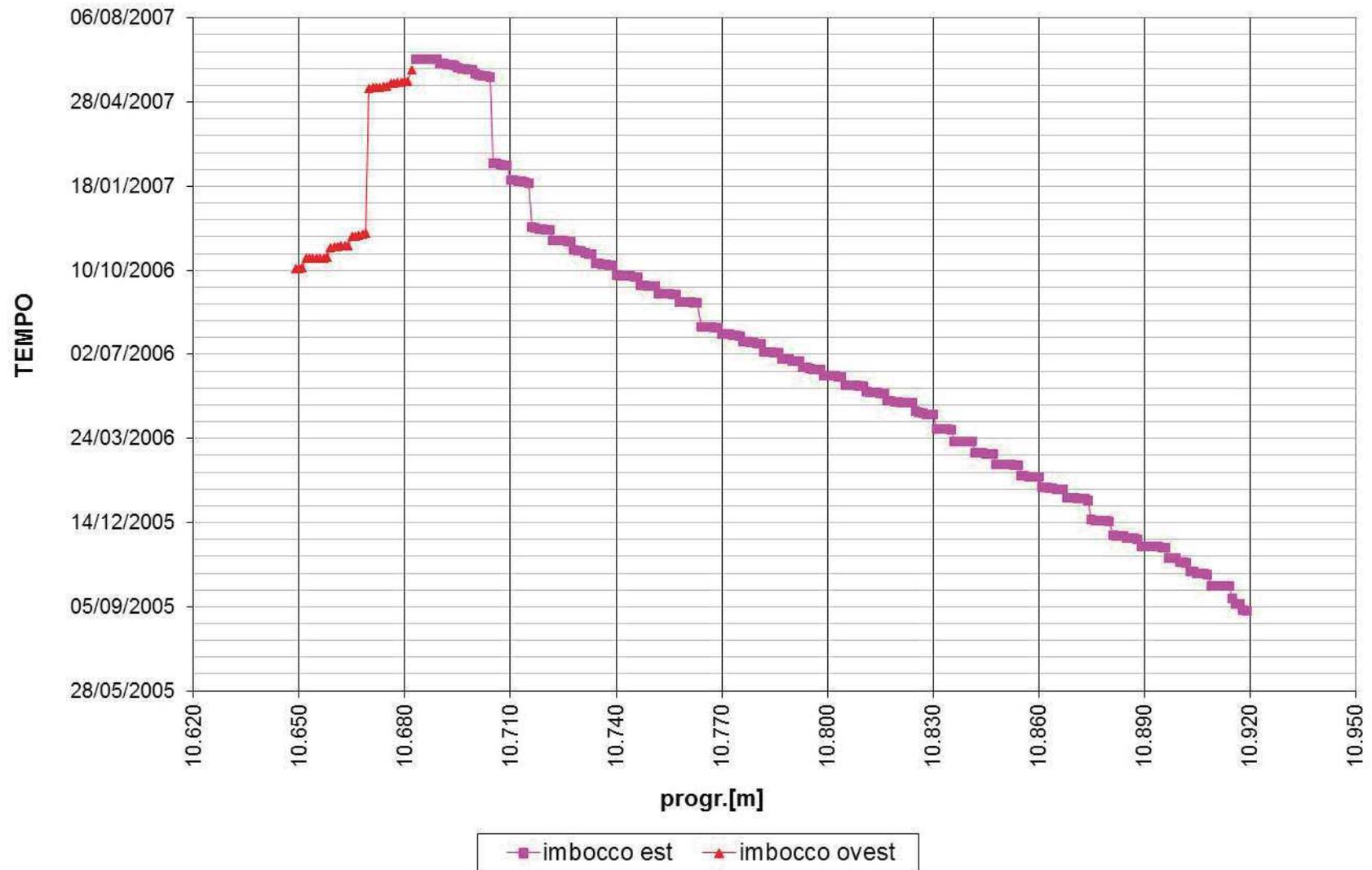
AVANZAMENTO

Carreggiata esterna - Avanzamento fronte



AVANZAMENTO

Carreggiata interna - Avanzamento fronte



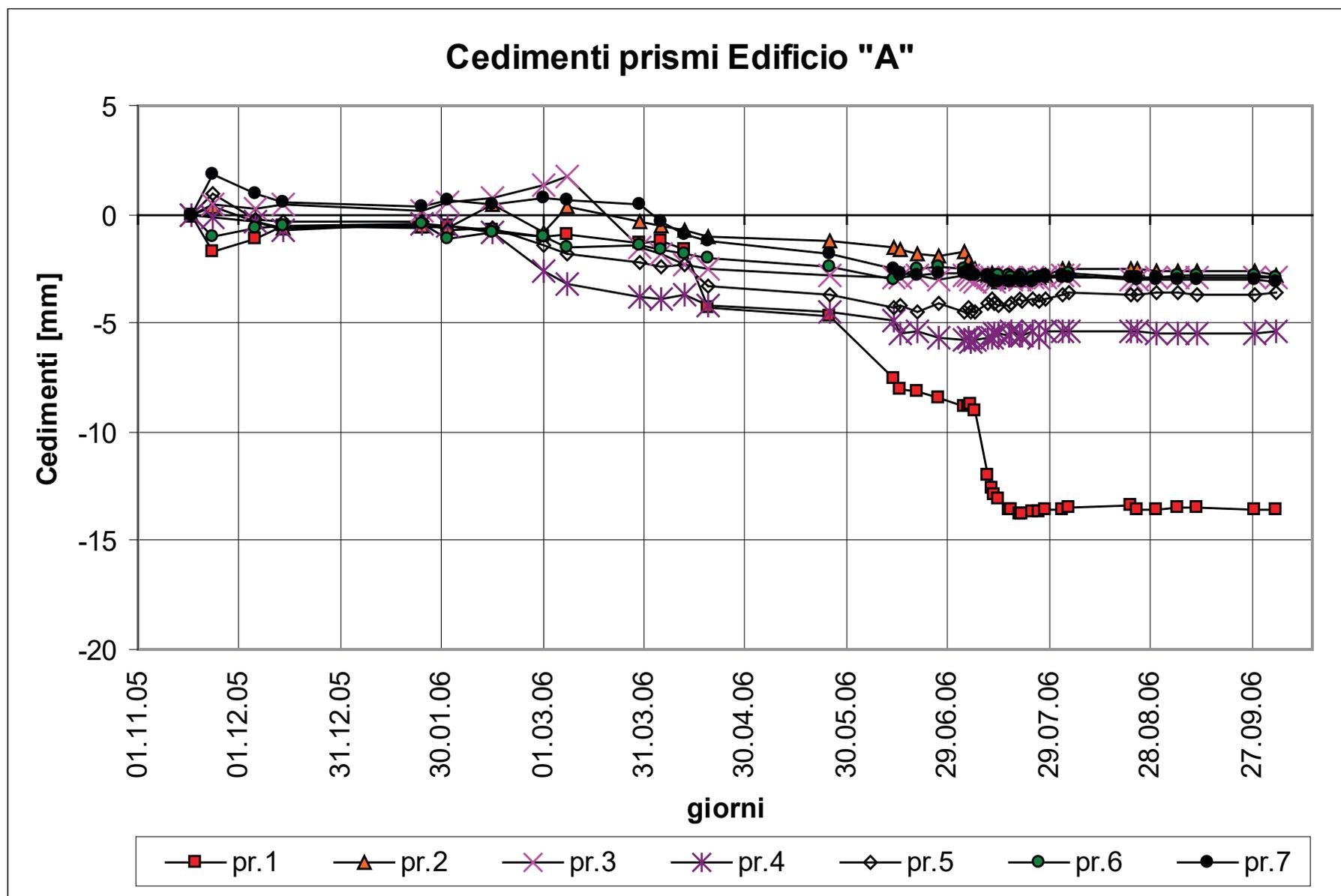
FORNELLO



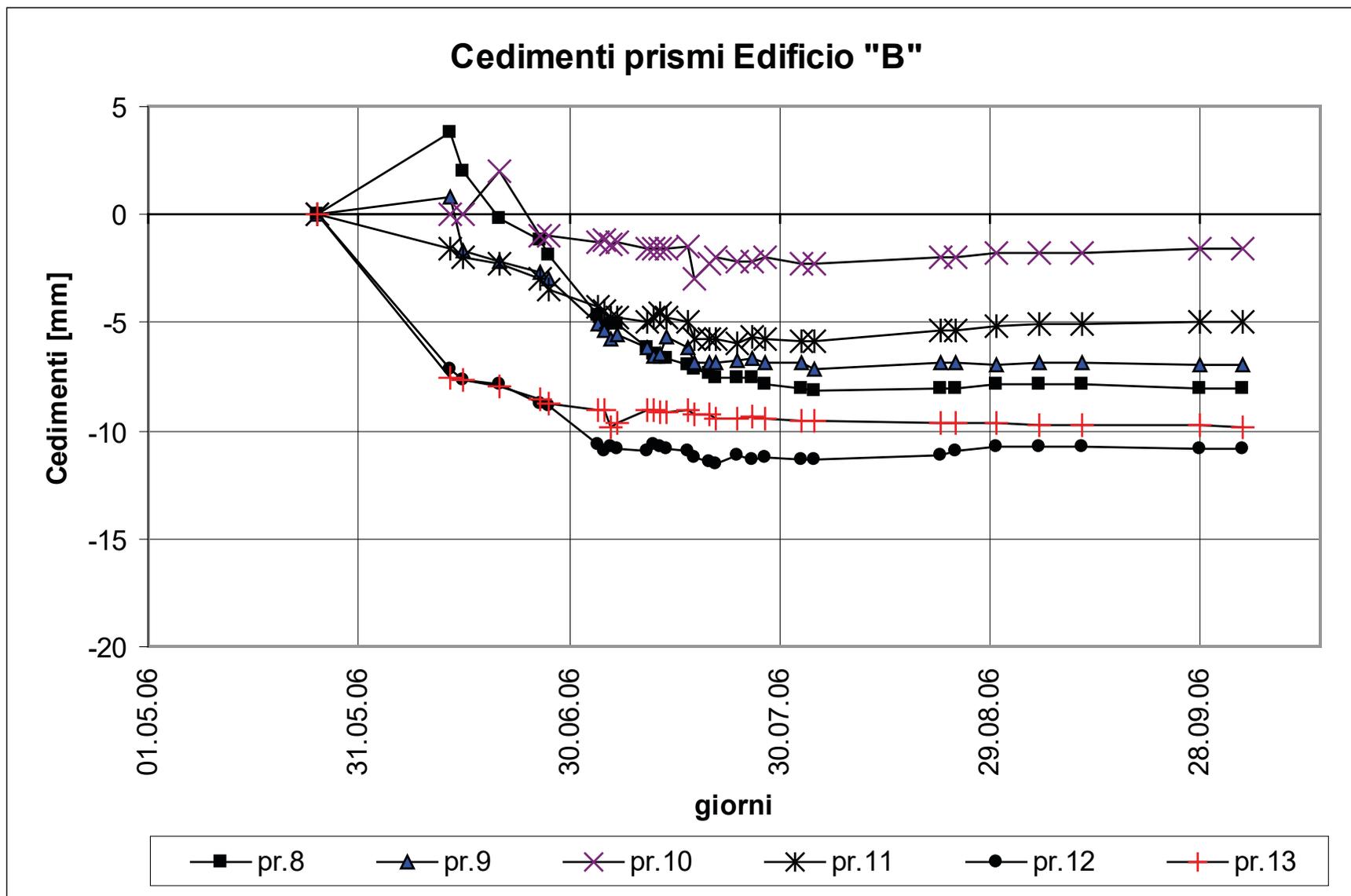
FORNELLO



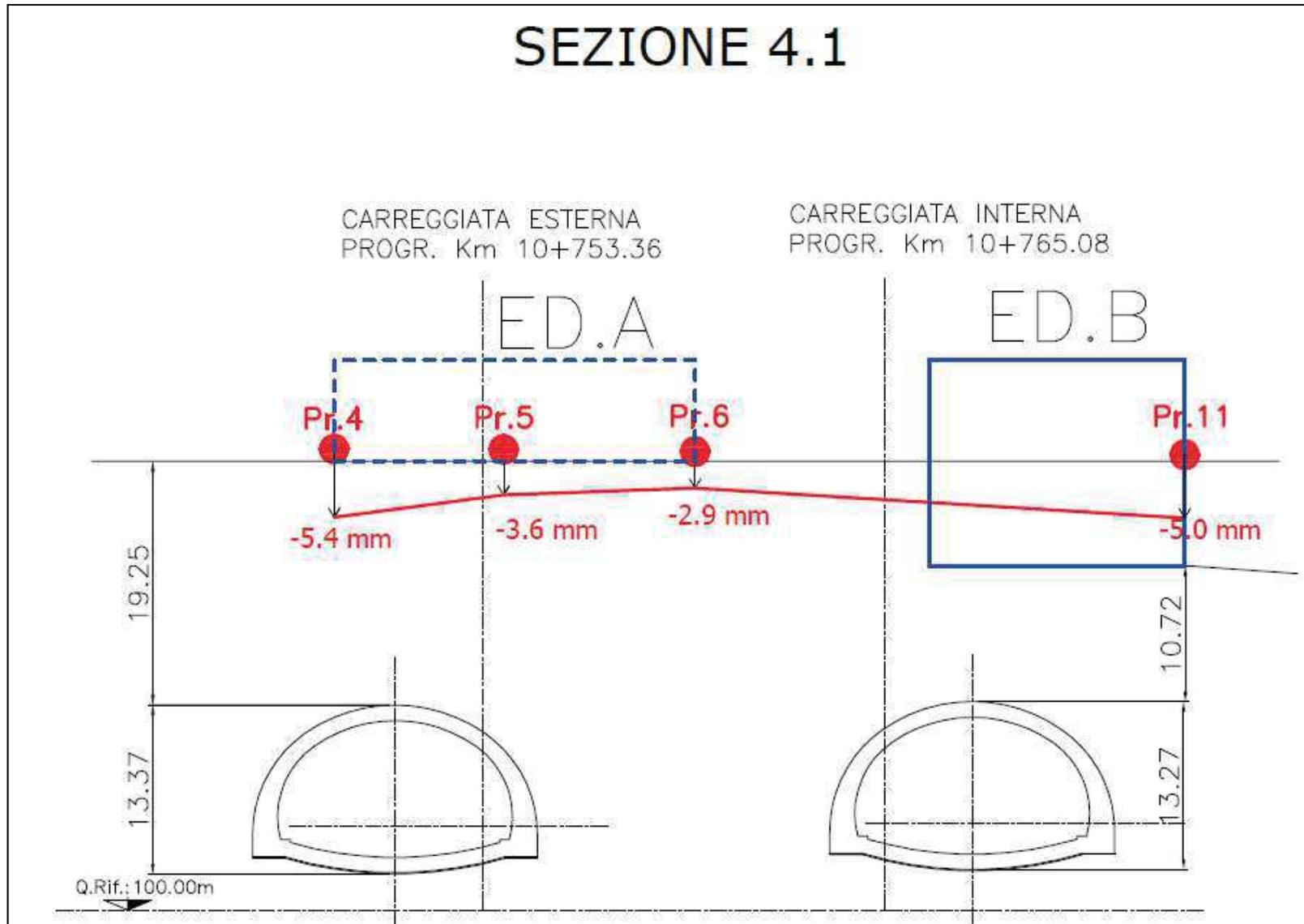
ANDAMENTO CEDIMENTI



ANDAMENTO CEDIMENTI

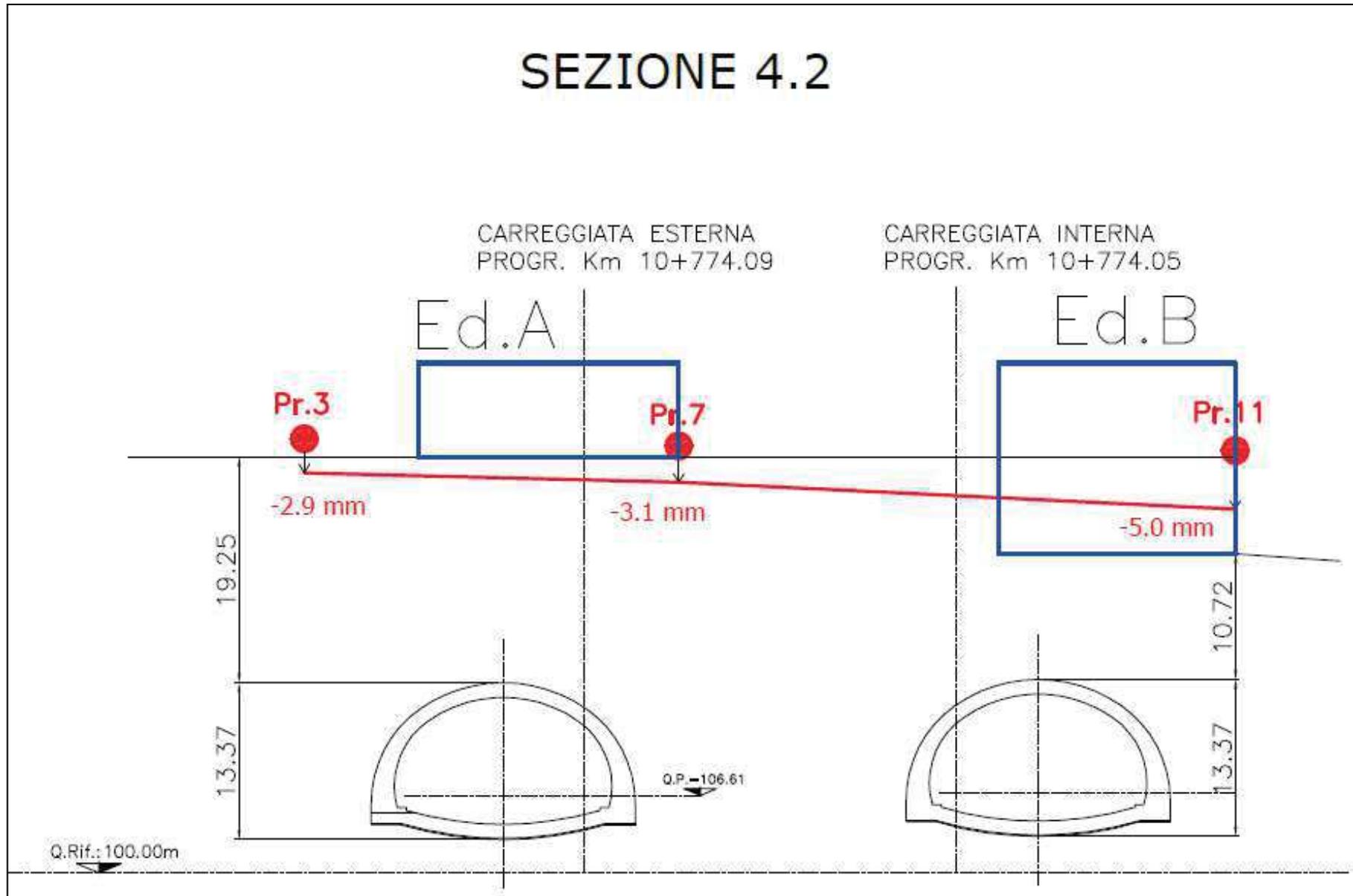


CEDIMENTI FINALI



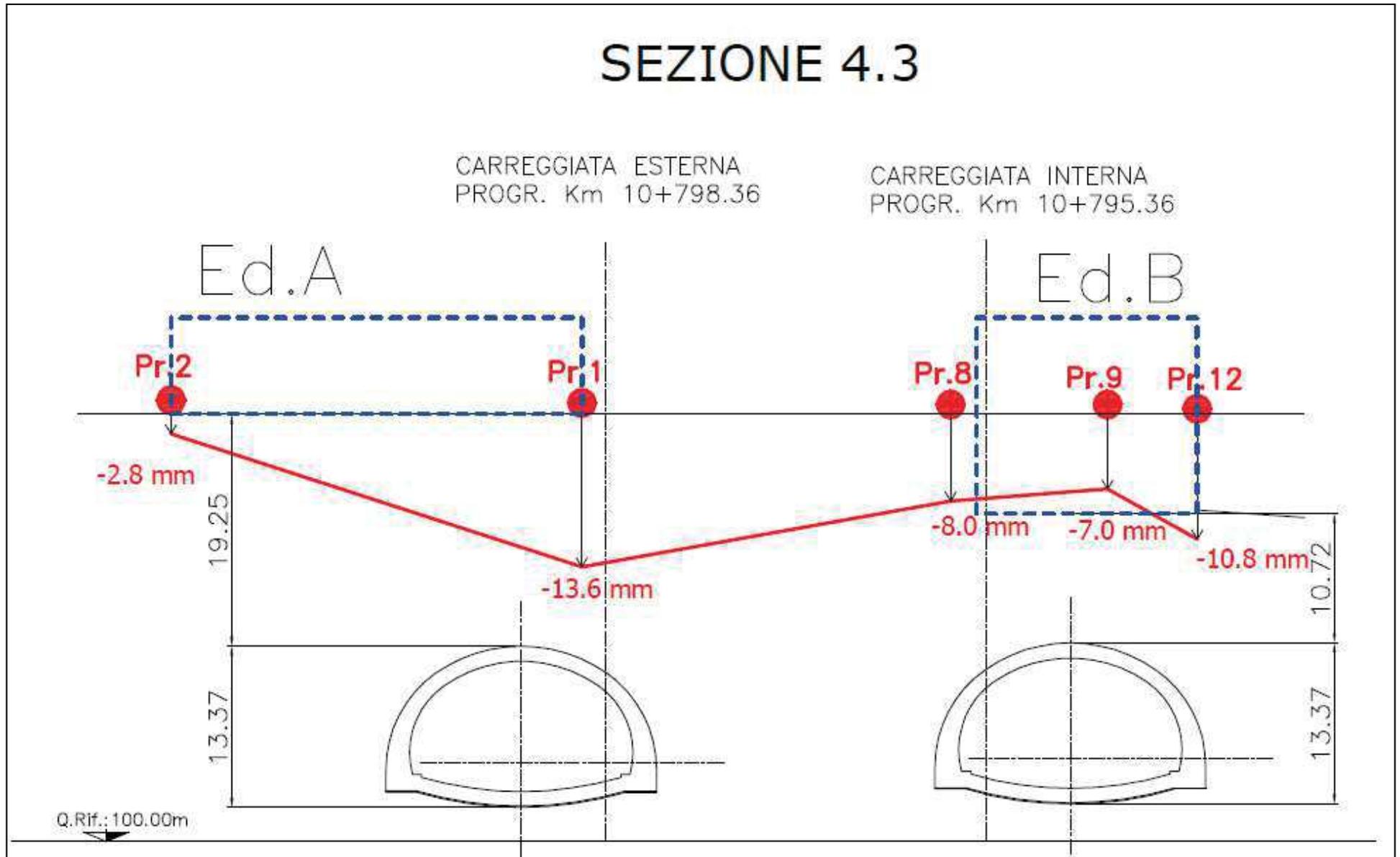
CEDIMENTI FINALI

SEZIONE 4.2



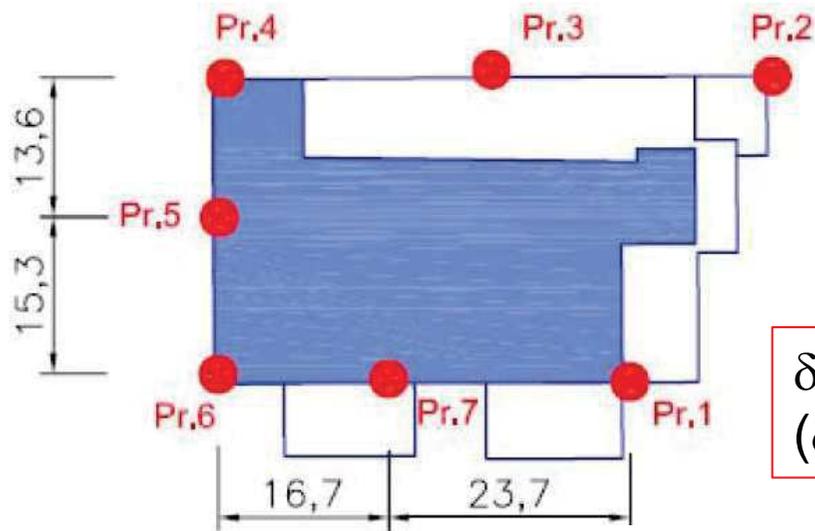
CEDIMENTI FINALI

SEZIONE 4.3

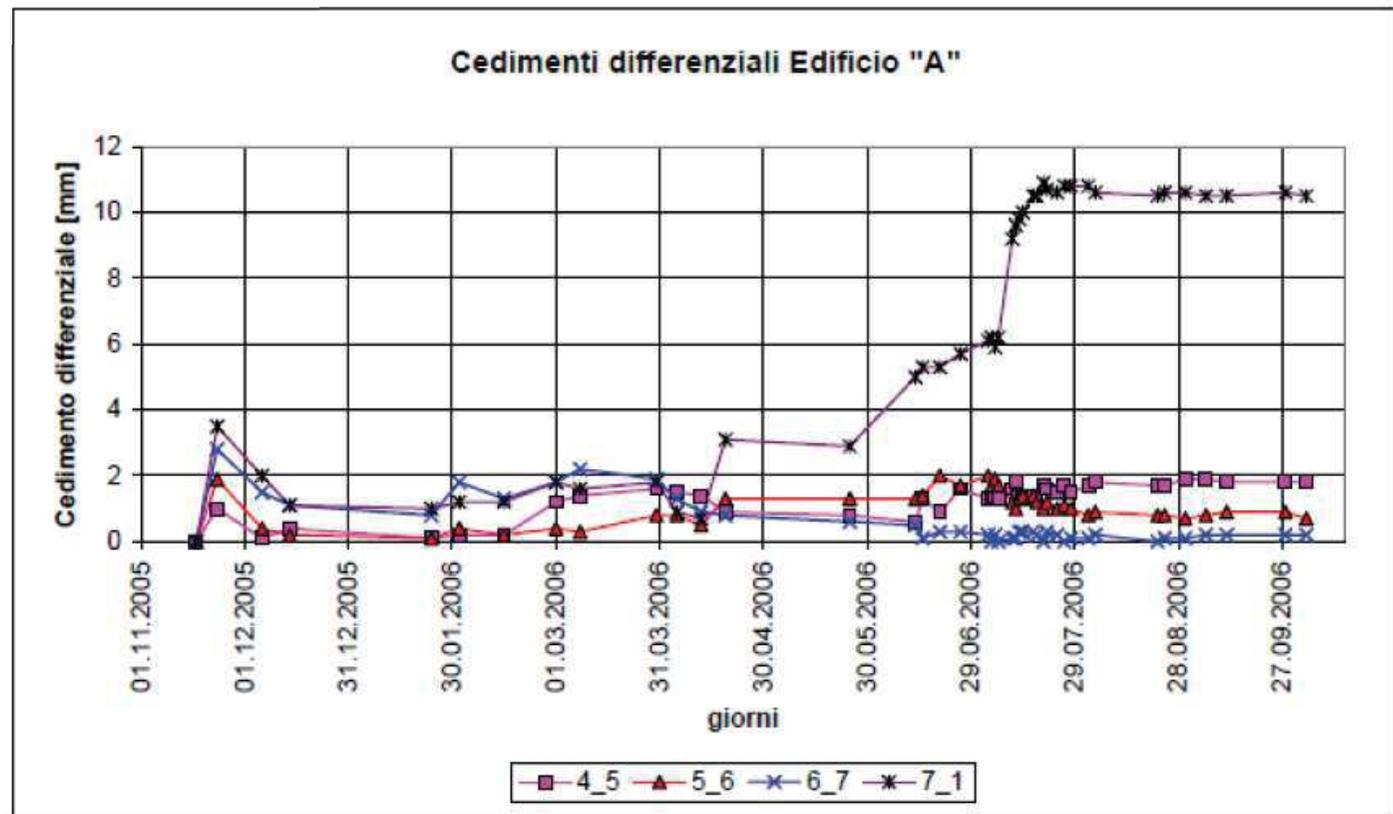


EDIFICIO A

Cedimenti Differenziali & Distorsioni Angolari

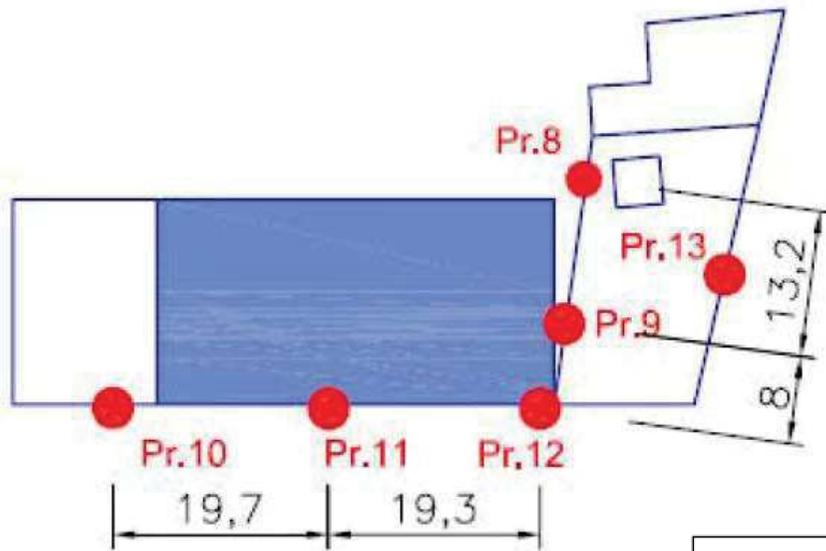


$\delta_{\max} = 11\text{mm}$
 $(\delta/l)_{\max} = 1/2000 < 1/500$ (limite fess. Bjerrum)

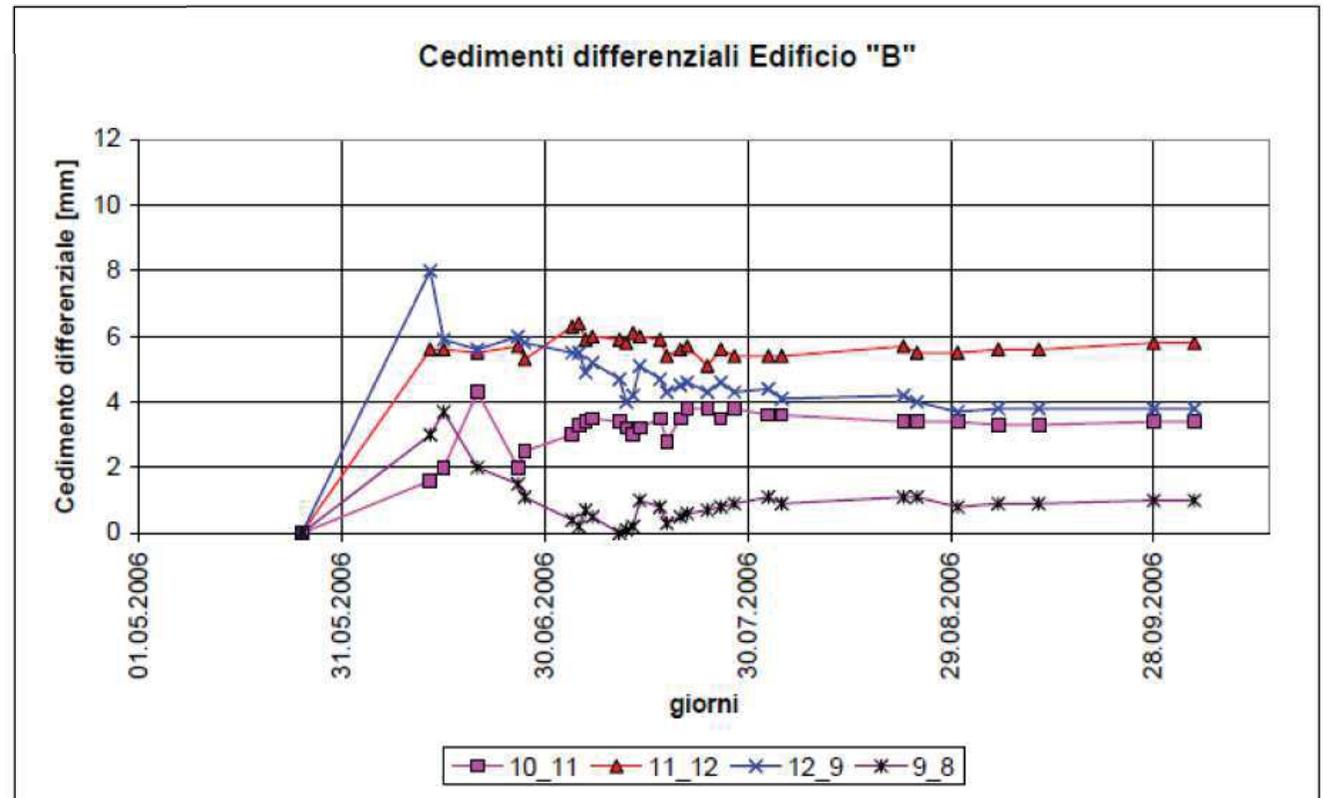


EDIFICIO B

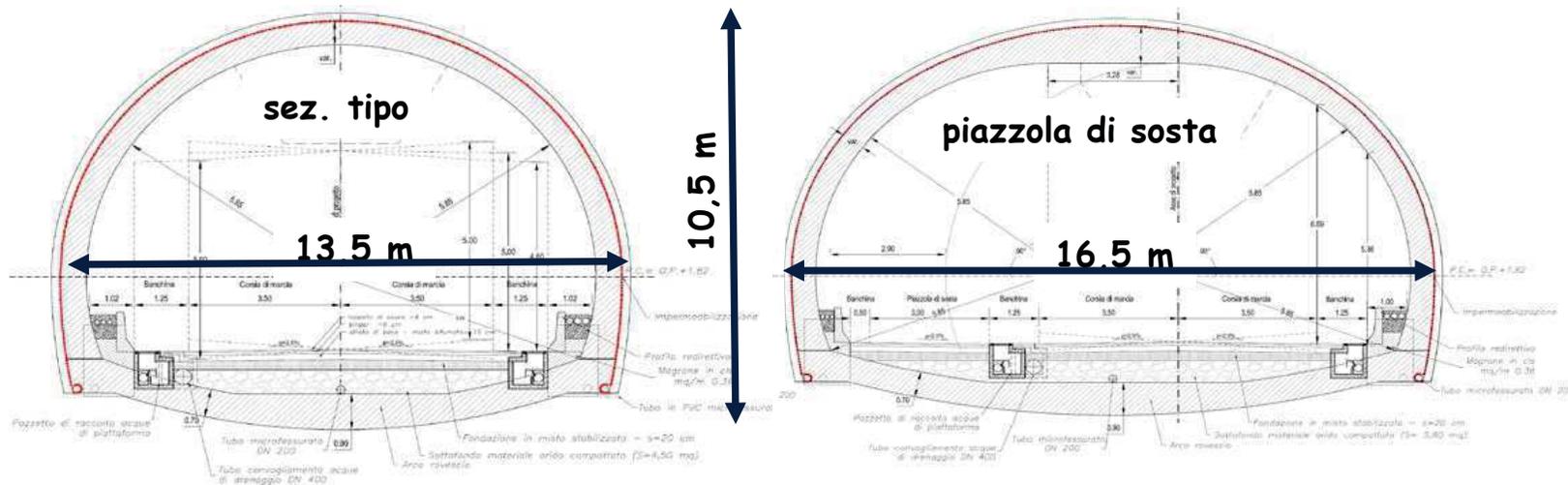
Cedimenti Differenziali & Distorsioni Angolari



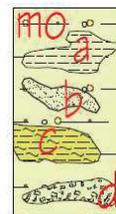
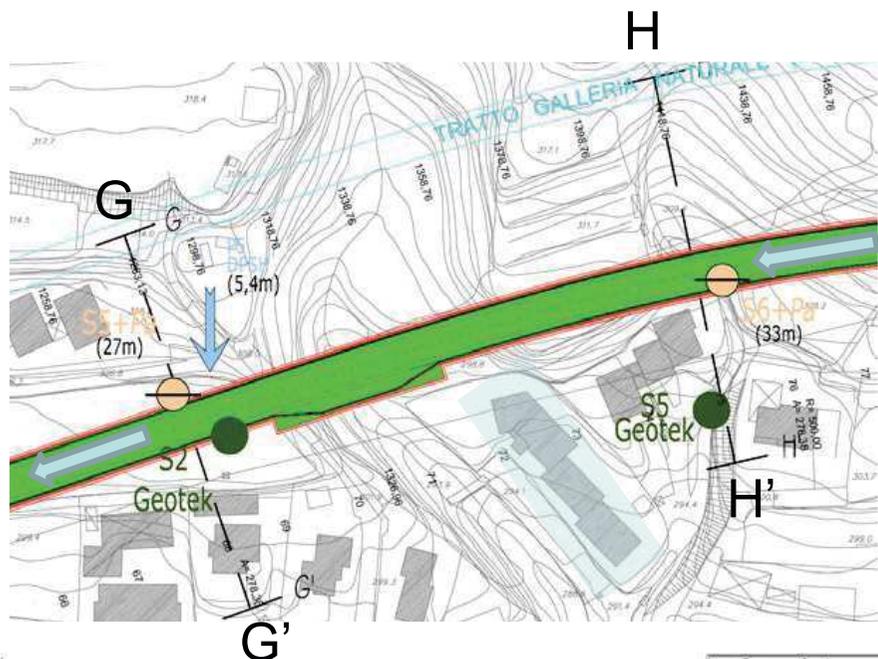
$\delta_{\max} = 8\text{mm}$
 $(\delta/l)_{\max} = 1/1000 < 1/5000$ (limite fess. Bjerrum)



S.S. 639 Variante di Pusiano (2014)



Galleria Pusiano: Sezioni Geologiche



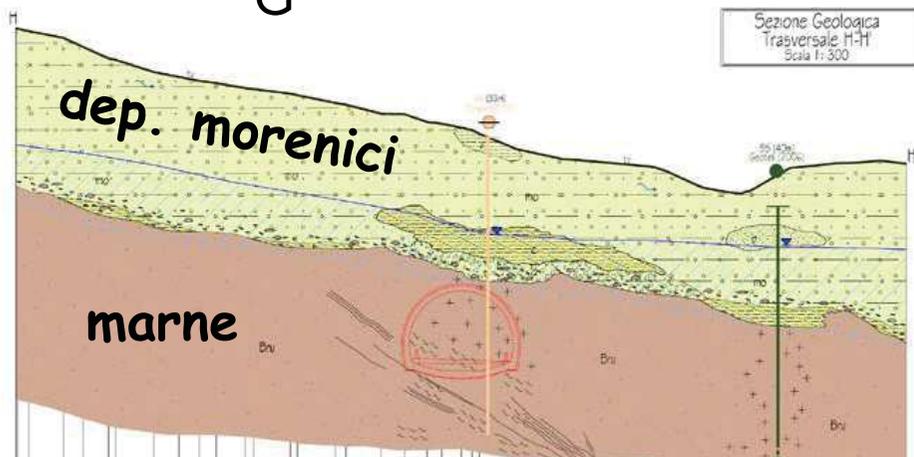
(mo) Depositi morenici costituiti da sedimenti eterogenei di detrito, ghiaia, ghiaia con sabbia di natura poligenica immersi in abbondante matrice limo argillosa e talora sabbiosa. a) livelli con prevalenza di ghiaia con sabbia. b) livelli con prevalenza di sabbia e sabbia limosa. c) intercalazioni di orizzonti limo-sabbiosi. d) livelli morenici cementati.



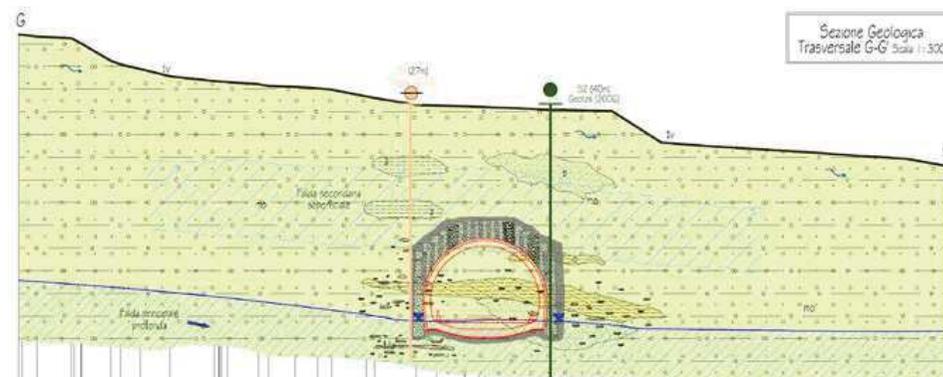
(Bru) Formazione delle Marne di Bruntino: marne e marne calcaree da grigio scuro a rosso violacee, in strati sottili e medi; verso l'alto seguono arenarie sottilmente stratificate e calcari marnosi in banchi.

Livelli calcareo marnosi compatti di colore grigio scuro.

Livelli prettamente marnosi sottilmente stratificati e mediamente iratturati.

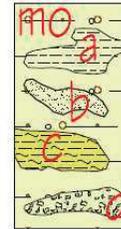


Sez. H-H'



Sez. G-G'

Eterogeneità dei Depositi Morenici



(mo) Depositi morenici costituiti da sedimenti eterogenei di detrito, ghiaia, ghiaia con sabbia di natura poligenica immersi in abbondante matrice limo argillosa e talora sabbiosa. a) livelli con prevalenza di ghiaia con sabbia. b) livelli con prevalenza di sabbia e sabbia limosa. c) intercalazioni di orizzonti limo-sabbiosi. d) livelli morenici cementati.



SONDAGGIO S3: Cassetta n.4 da 15,00 m a 20,00 m

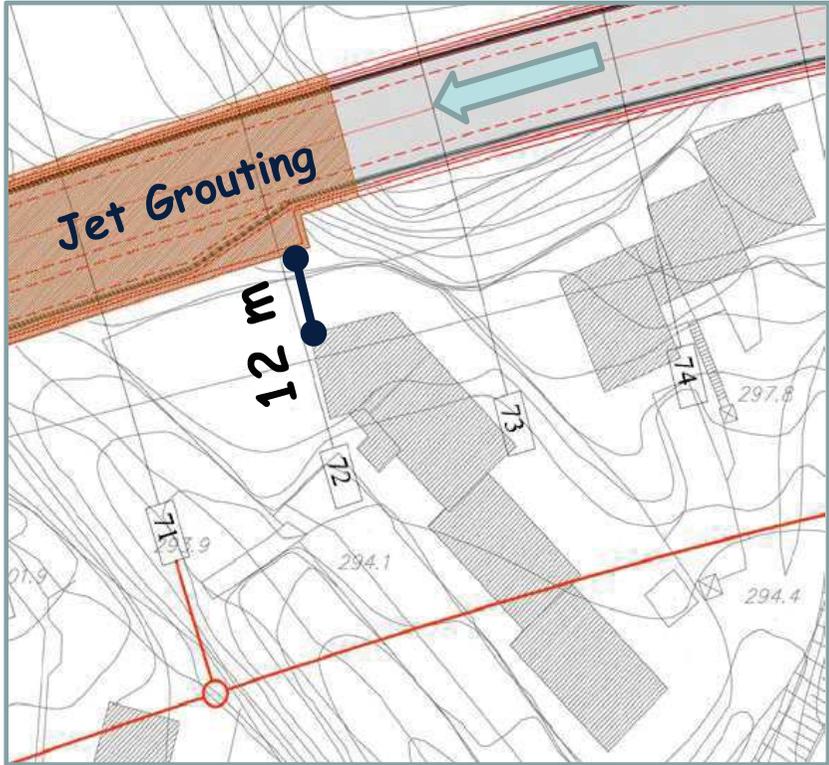
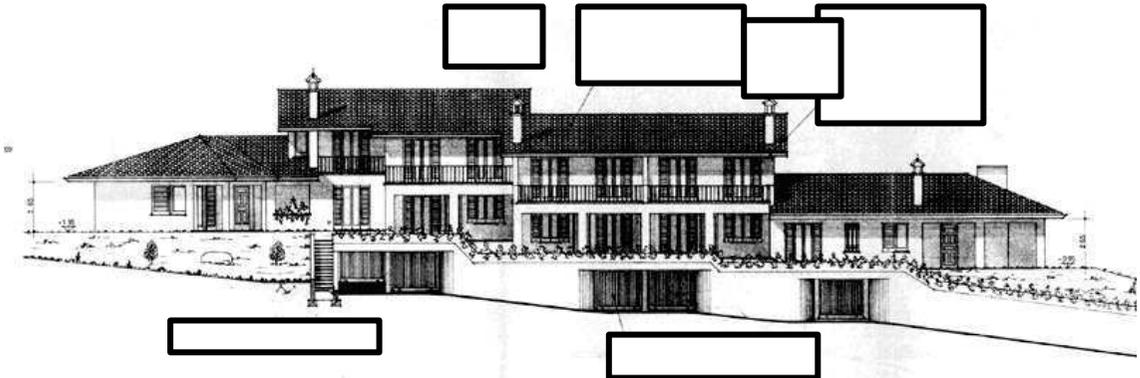
Depositi morenici con prevalenza di ghiaia e ciottoli in matrice limo-argillosa (da 15 a 18 m, parte alta della cassetta) e termini con prevalenza di sabbia ghiaiosa di colore giallastro (da 18 a 20 m, parte bassa)



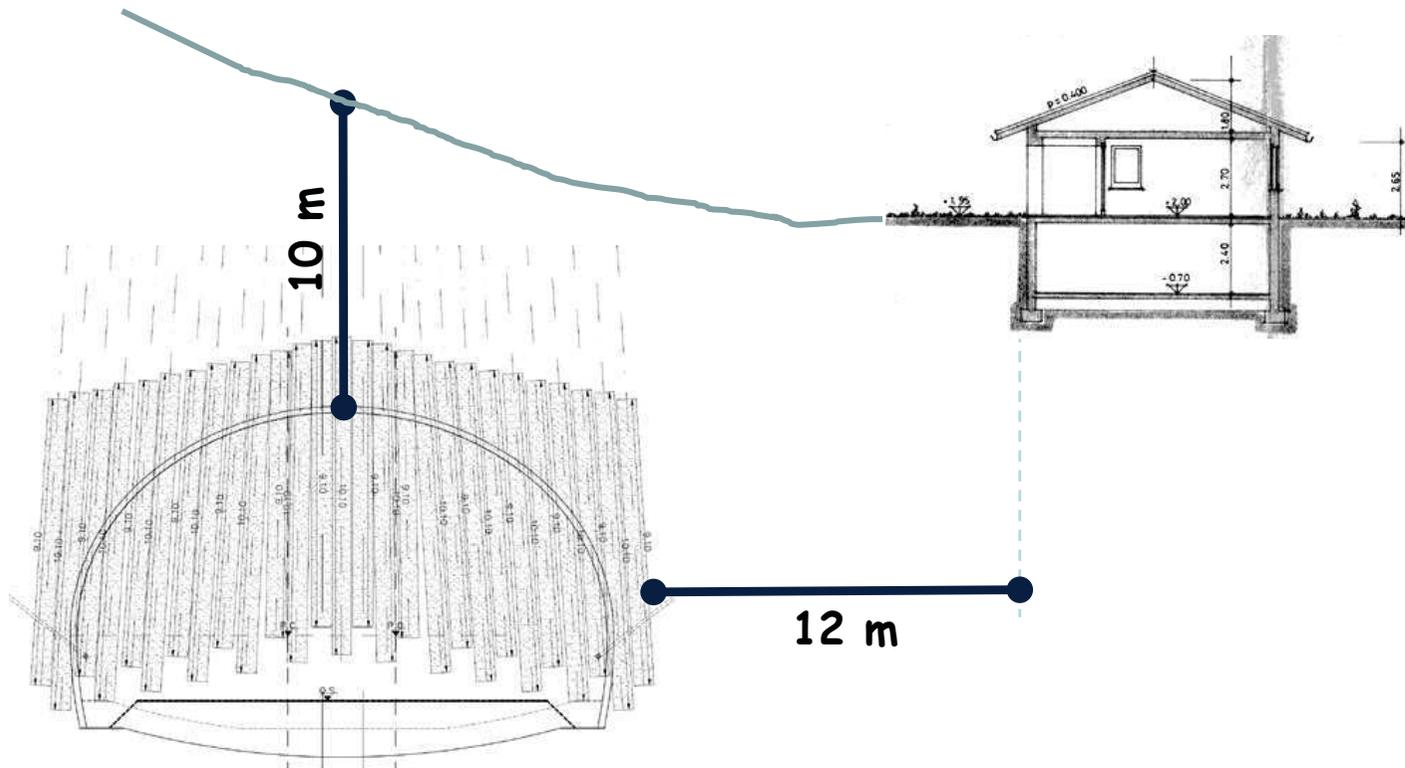
SONDAGGIO S6: Cassetta n.3 da 10,00 m a 15,00 m

Depositi morenici: livelli di limo sabbioso marrone chiaro (da 10 a 13 m, parte alta della cassetta) e termini conglomeratici cementati (da 13 a 15 m, parte bassa)

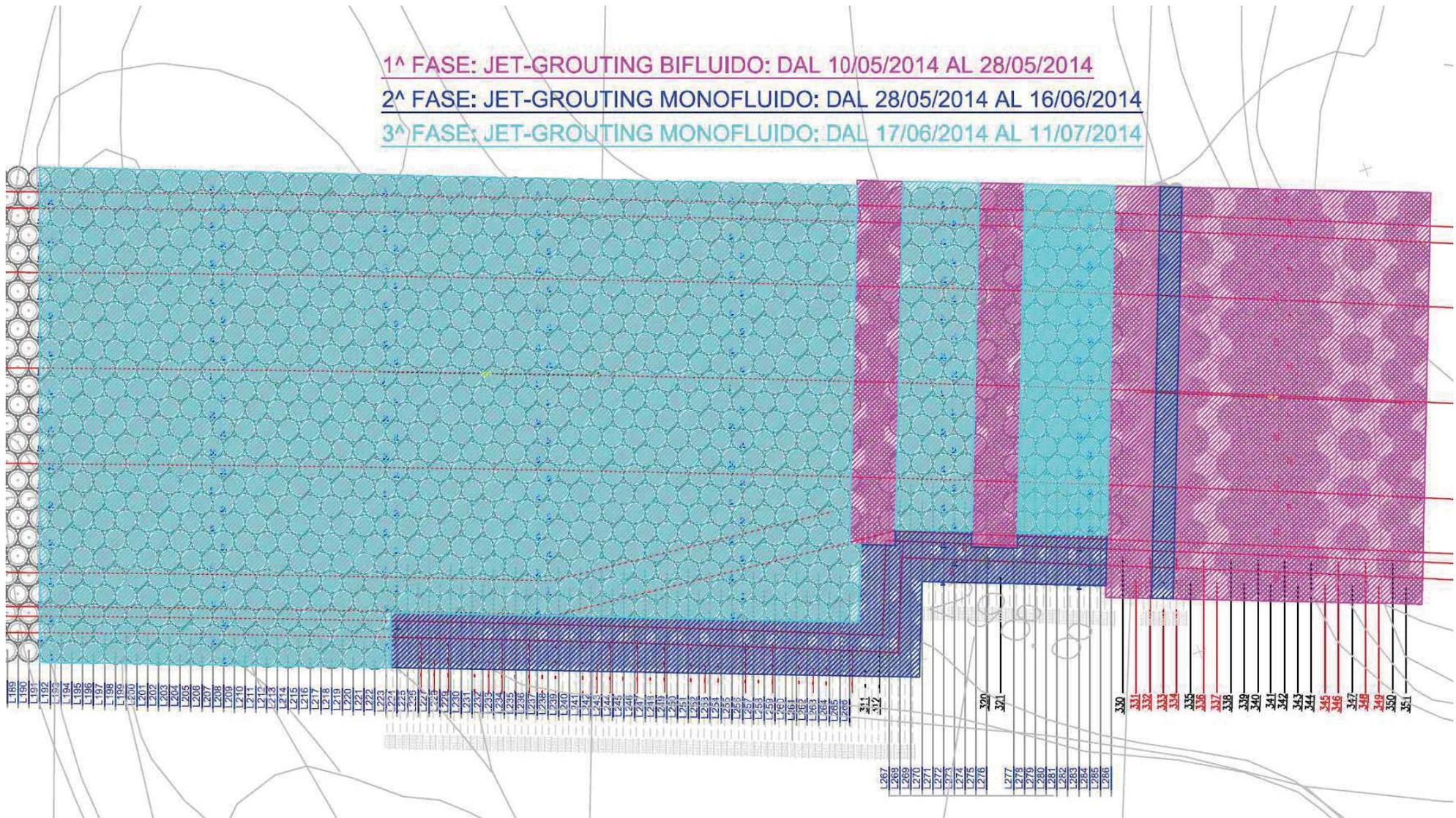
Villette a Schiera



Consolidamento dall'alto mediante Jet-grouting



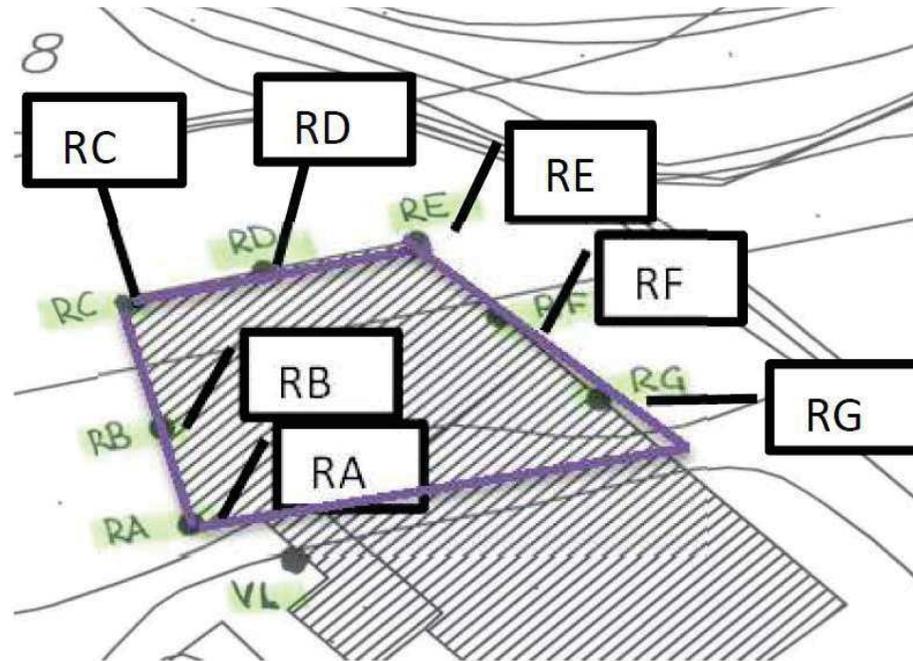
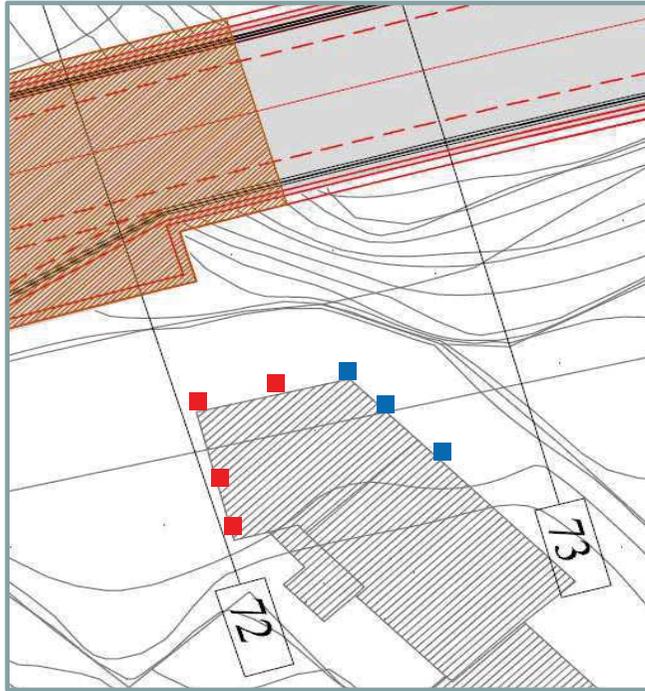
Pianta dei Consolidamenti



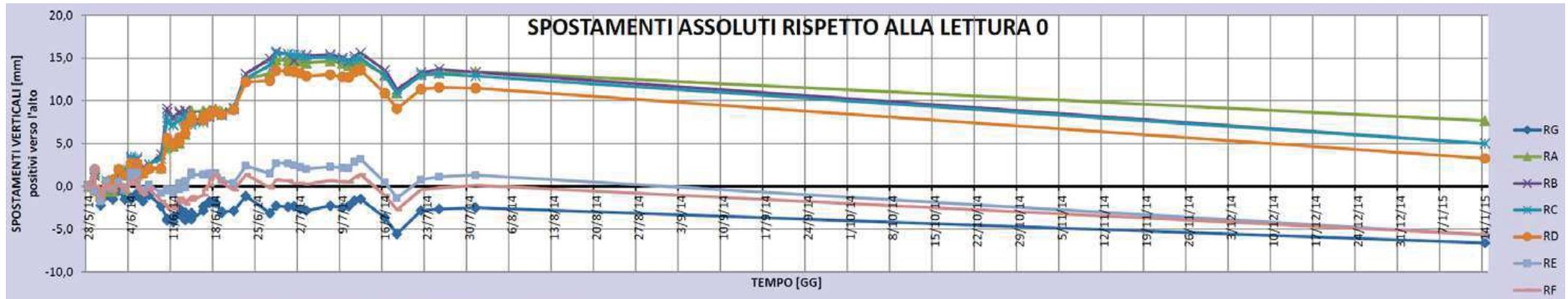
Effetti «collaterali» del jet-grouting



Monitoraggio dei Cedimenti (prima villetta)

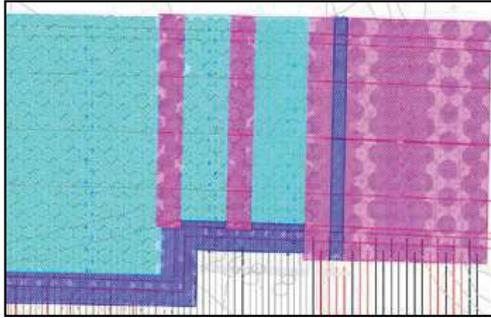


**A, B, C, D
si sollevano**

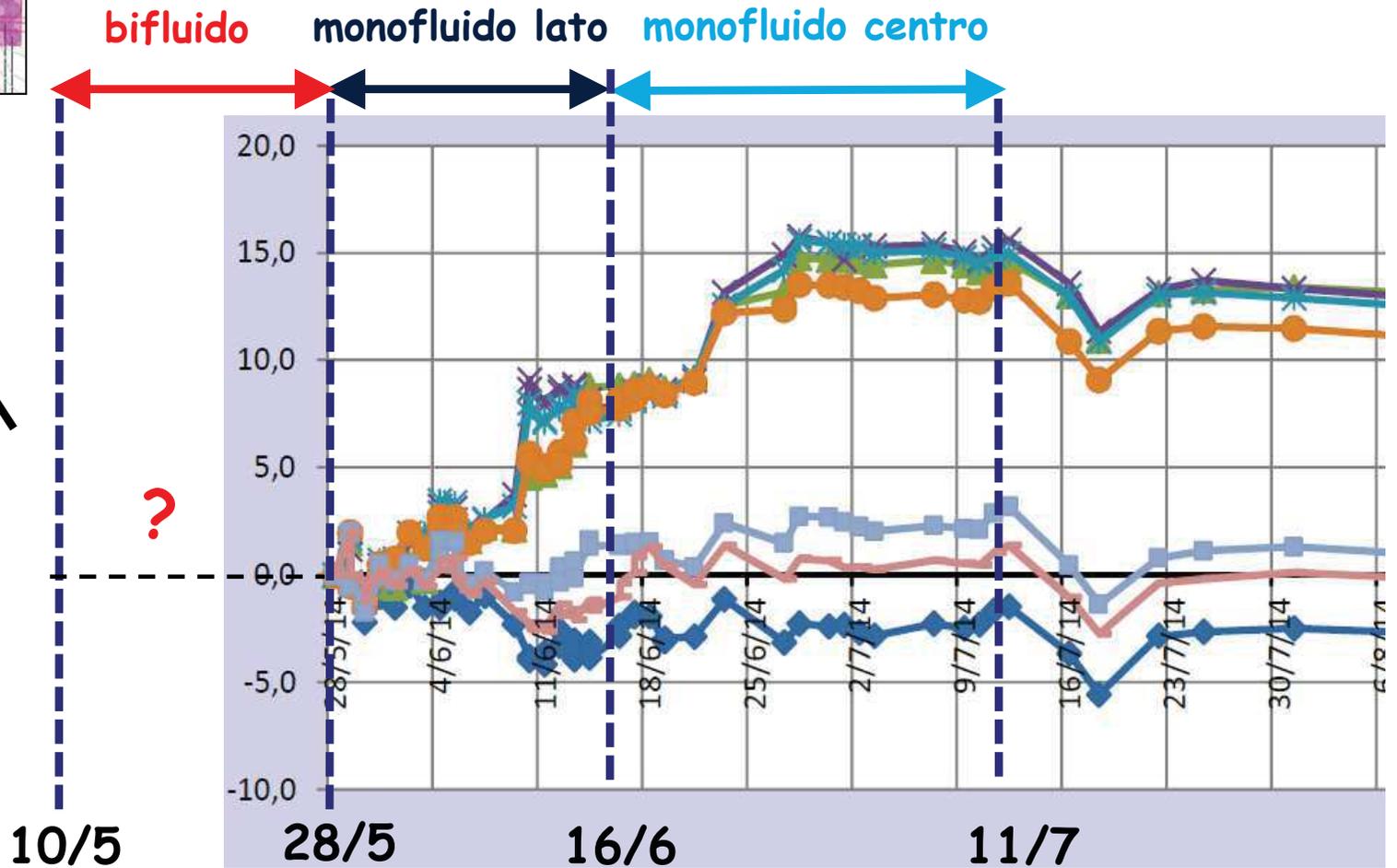
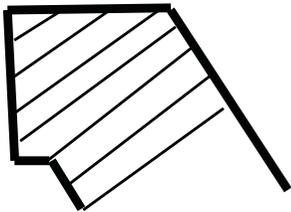


Correlazione temporale Consolidamenti - Cedimenti

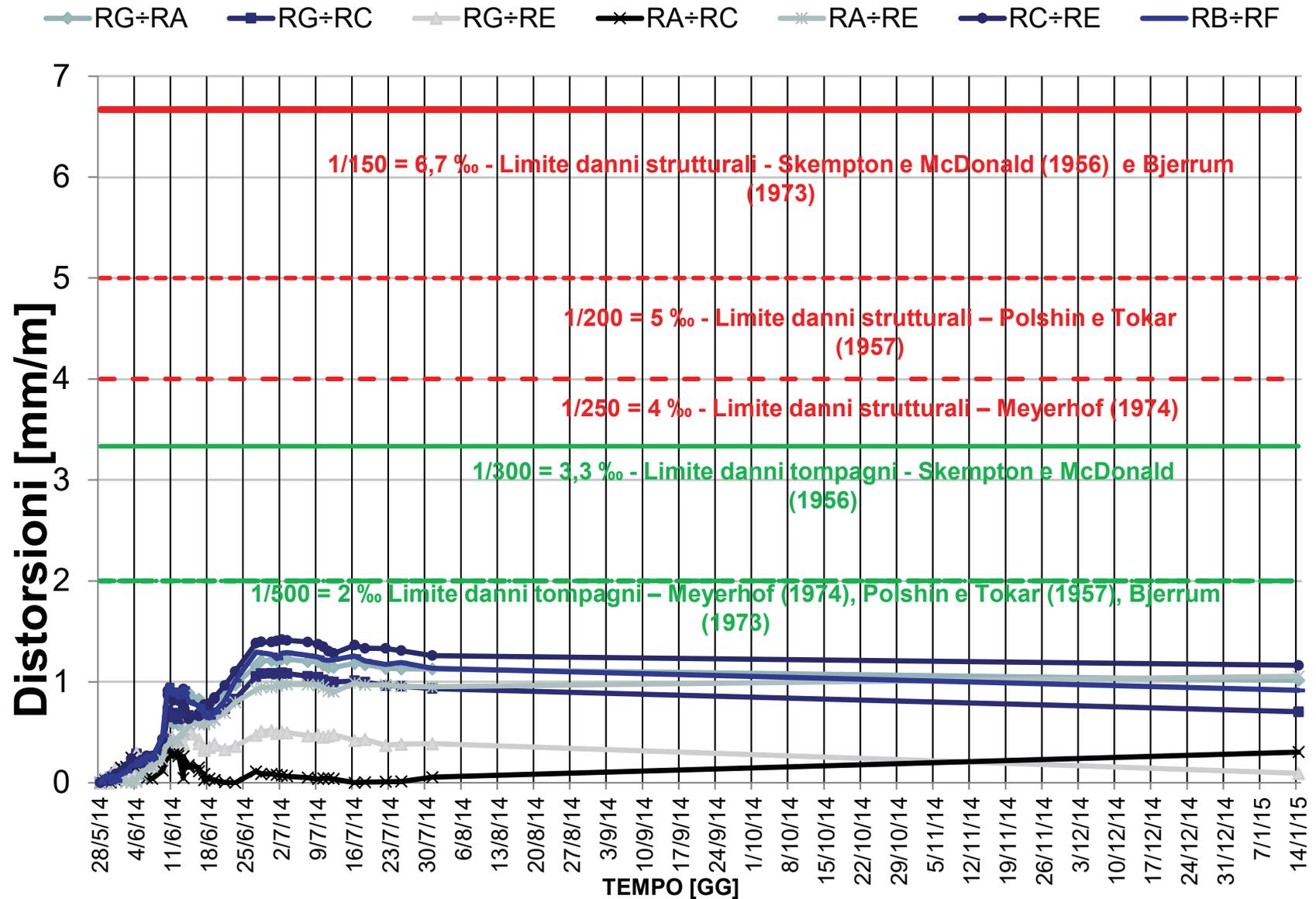
pianta trattamenti



villetta



Distorsioni angolari $\beta = \Delta/L$ (cedimento differenziale/distanza orizzontale)



Quadro Fessurativo e Classe di Danno: prima villetta) (Boscardin & Cording, 1989)

