



**Società Italiana Gallerie**  
*Italian Tunnelling Society*

*Member of International Tunnelling Association ITA/AITES*

# LE GRANDI INFRASTRUTTURE FERROVIARIE ALPINE IN COSTRUZIONE: LE SCELTE PROGETTUALI E COSTRUTTIVE PER LA REALIZZAZIONE DI TUNNEL LUNGI E PROFONDI

SAMOTER 2017 – Verona (VR), 23-24 Febbraio 2017

## Tunnel di Base del Brennero lato Italia: Lotto Mules 2-3 Le scelte di progetto dei rivestimenti definitivi



**RTI 4P**

Mandataria

**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**

c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612



**PRO  
ITER**  
Progetto  
Infrastrutture  
Territorio S.r.l.

**Progettista Generale / Generalplaner**  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

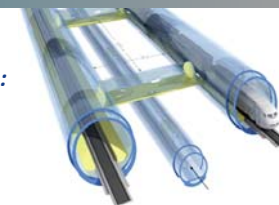
Mandanti



**piniswiss engineers**

**PASQUALI-RAUSA**  
ENGINEERING S.r.l.

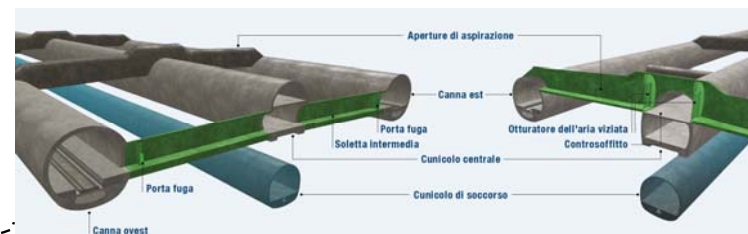
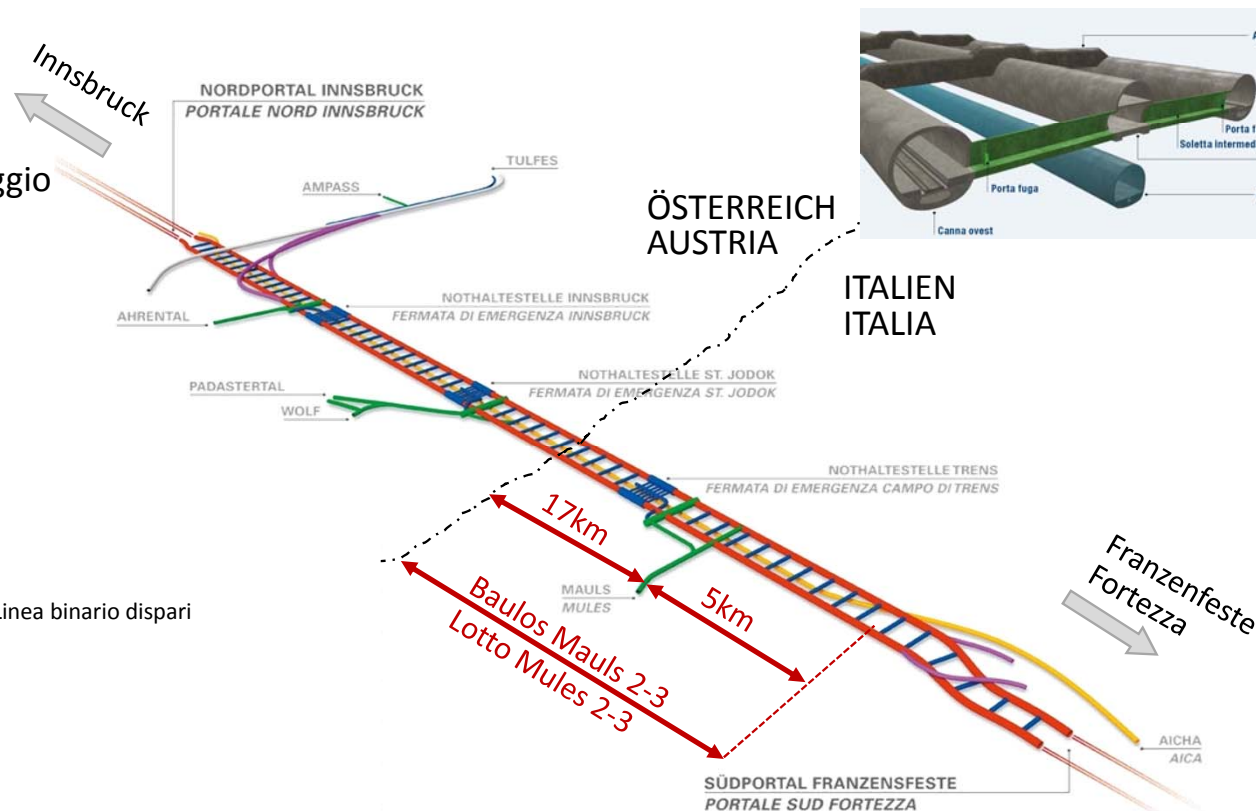
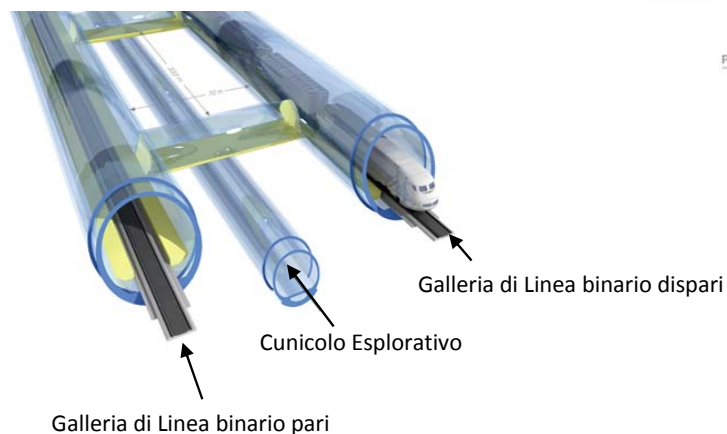
***Autori della memoria:**  
Ing. M. Moja  
Ing. E.M. Pizzarotti*



## INQUADRAMENTO DEL PROGETTO – LOTTO MULES 2-3

### DATI DELL'OPERA:

- 2 canne L=55km D≈10.6m
- By-pass ogni 333m
- 1 Cunicolo esplorativo e di drenaggio
- 3 Finestre di accesso
- 3 Fermate di emergenza



**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**

c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612



**Progettista Generale / Generalplaner**  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

Progetto  
Infrastrutture  
Territorio S.r.l.

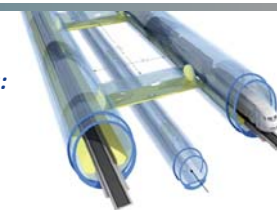
Mandanti



**Autori della memoria:**

Ing. M.Moja

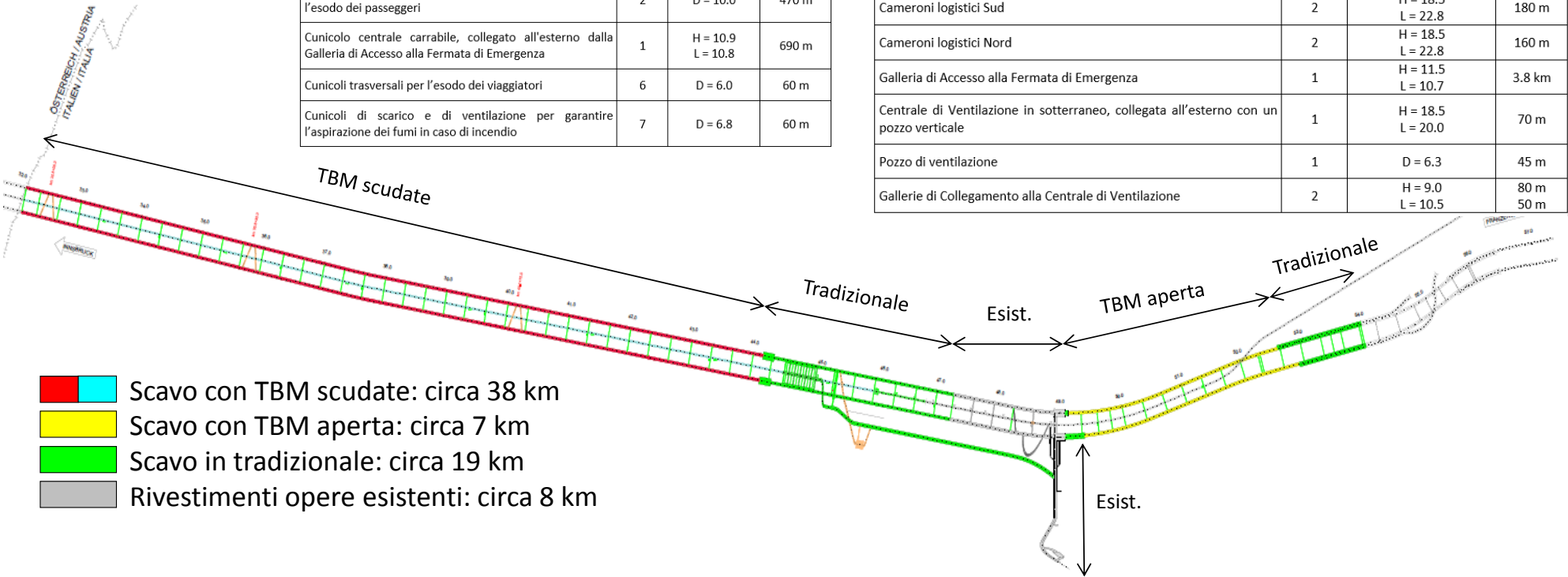
Ing. E.M.Pizzarotti



MODALITA' DI SCAVO

Opere della Fermata di Emergenza	n.	Dimensioni di scavo [m]	L
Gallerie ferroviarie parallele con sezione allargata per l'esodo dei passeggeri	2	D = 10.0	470 m
Cunicolo centrale carrabile, collegato all'esterno dalla Galleria di Accesso alla Fermata di Emergenza	1	H = 10.9 L = 10.8	690 m
Cunicoli trasversali per l'esodo dei viaggiatori	6	D = 6.0	60 m
Cunicoli di scarico e di ventilazione per garantire l'aspirazione dei fumi in caso di incendio	7	D = 6.8	60 m

Opere	n.	Dimensioni di scavo [m]	L
Gallerie ferroviarie parallele	2	D = 10.6	22.0 km
Cunicolo Esplorativo e di Servizio (normalmente collocato in posizione intermedia alle due canne principali e a una quota di 12 m inferiore)	1	D = 6.8	17.0 km
Cunicoli Trasversali per l'esodo dei passeggeri e l'alloggiamento degli impianti (ogni 333 m lungo il tracciato)	77	D = 5.7 (Tipo 1) D = 9.6 (Tipo 2)	60 m
Fermata di Emergenza	1	D = 10.0	470 m
Finestra di Accesso di Mules e gallerie logistiche	1	H = 9.0 L = 10.5	1.9 km
Cameroni logistici Sud	2	H = 18.5 L = 22.8	180 m
Cameroni logistici Nord	2	H = 18.5 L = 22.8	160 m
Galleria di Accesso alla Fermata di Emergenza	1	H = 11.5 L = 10.7	3.8 km
Centrale di Ventilazione in sotterraneo, collegata all'esterno con un pozzo verticale	1	H = 18.5 L = 20.0	70 m
Pozzo di ventilazione	1	D = 6.3	45 m
Gallerie di Collegamento alla Centrale di Ventilazione	2	H = 9.0 L = 10.5	80 m 50 m



- Scavo con TBM scudate: circa 38 km
- Scavo con TBM aperta: circa 7 km
- Scavo in tradizionale: circa 19 km
- Rivestimenti opere esistenti: circa 8 km



Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P  
cio Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612

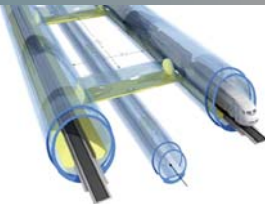


Progettista Generale / Generalplaner  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

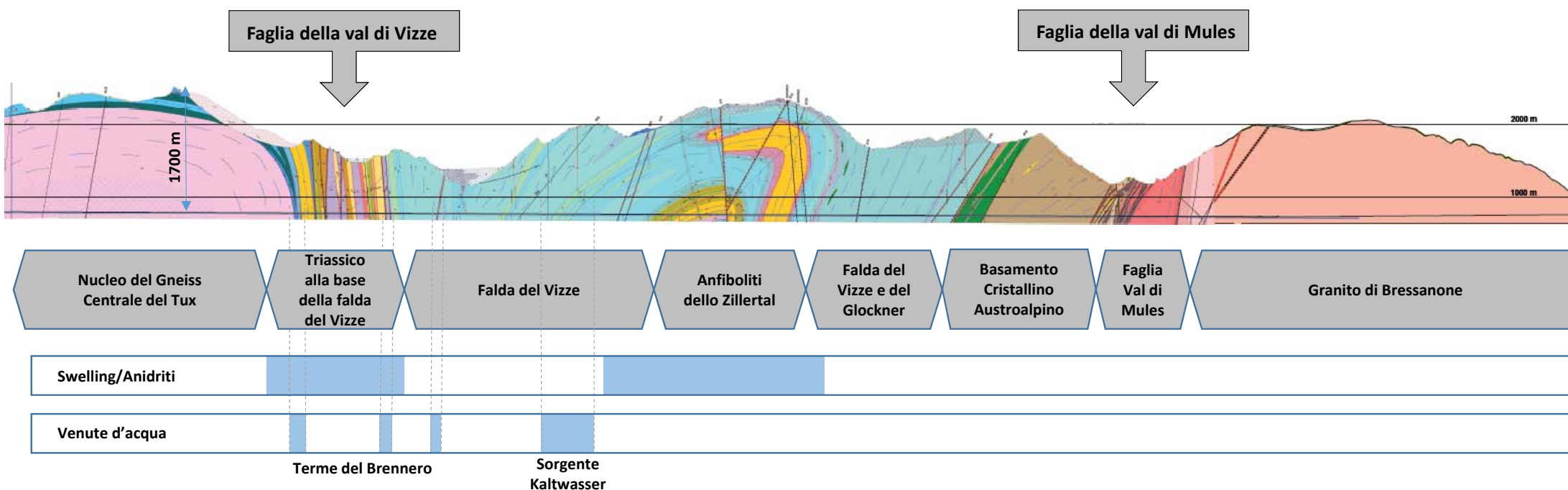
Mandanti



**Autori della memoria:**  
Ing. M.Moja  
Ing. E.M.Pizzarotti



## PROFILO GEOLOGICO DI PREVISIONE



RTI 4P

Mandataria



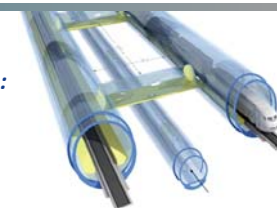
**PRO ITER**  
Progettista Generale / Generalplaner  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**  
cio Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612

Mandanti



**Autori della memoria:**  
Ing. M.Moja  
Ing. E.M.Pizzarotti



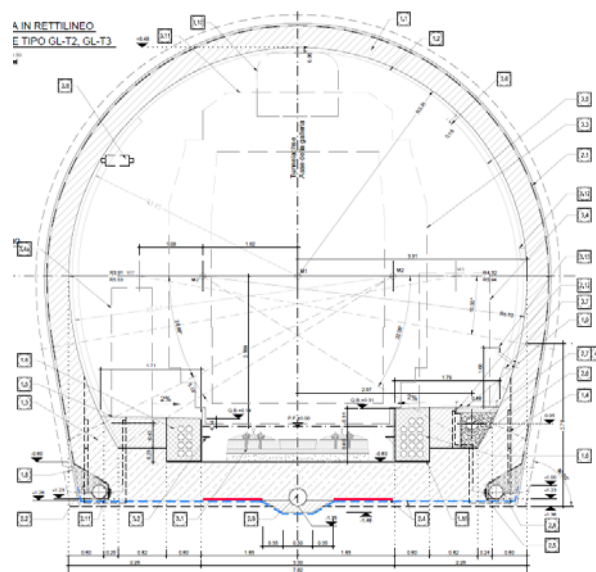
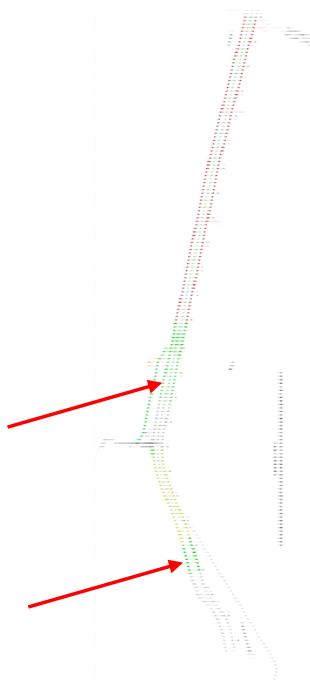


# SEZIONI TIPO APPLICATE – SCAVO IN TRADIZIONALE

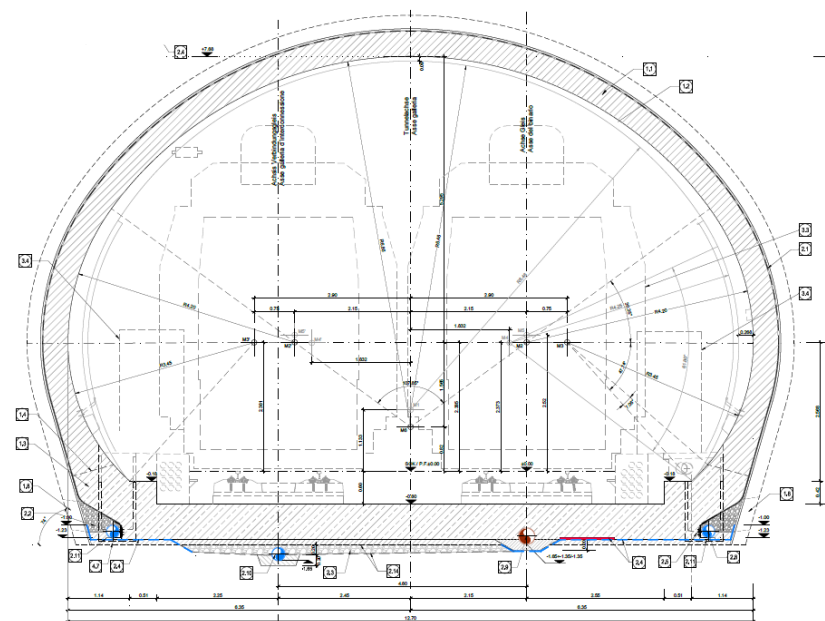
GL (Gallerie di Linea)

Singolo binario

Doppio binario



≈8.5 m



≈13.5 m



**RTI 4P**  
Mandataria

**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**  
cio Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612

**PRO ITER**  
Progettista Generale / Generalplaner  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

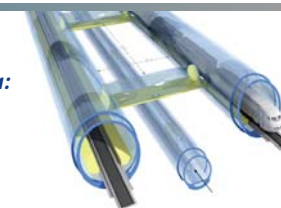
Mandanti

**PÖYRY**

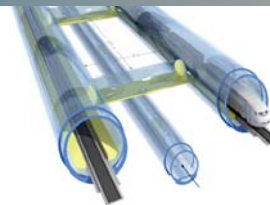
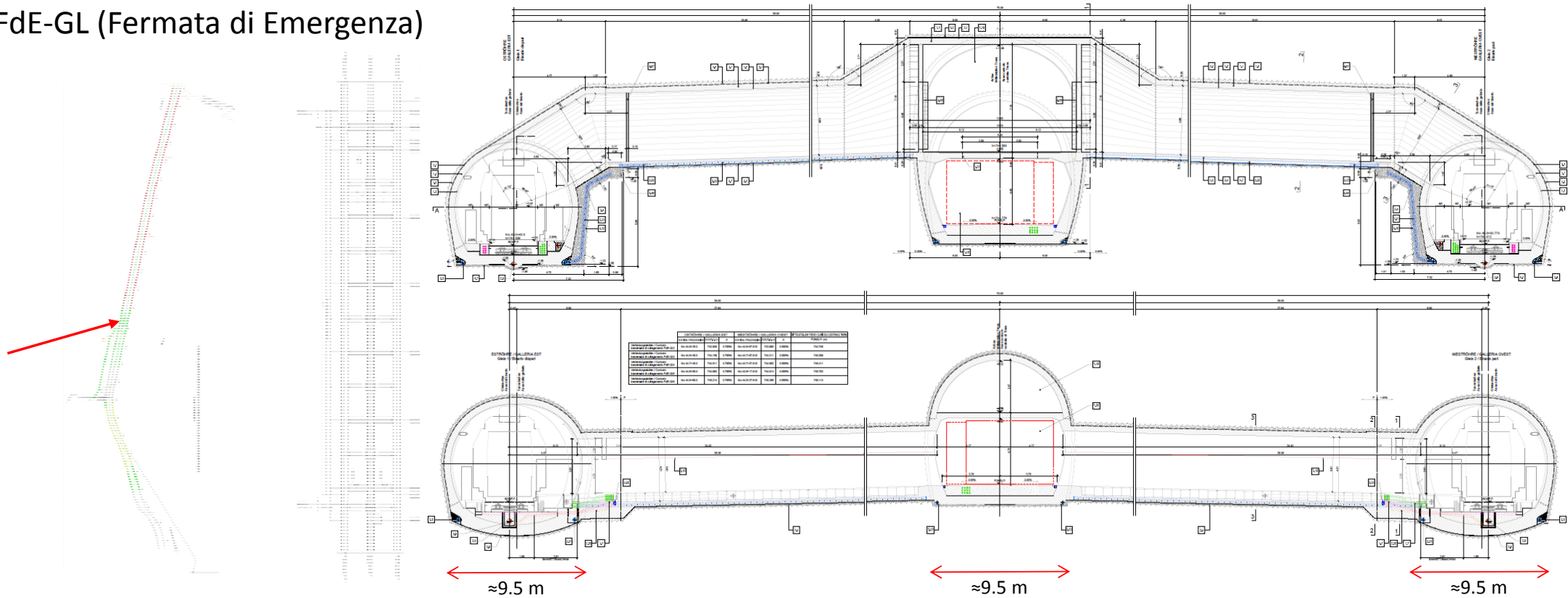
**piniswiss engineers**

**PASQUALI-RAUSA**  
ENGINEERING S.r.l.

**Autori della memoria:**  
Ing. M.Moja  
Ing. E.M.Pizzarotti



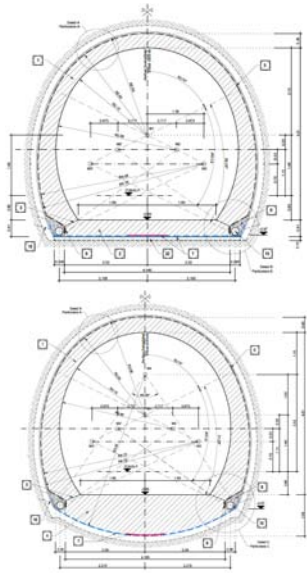
## FdE-GL (Fermata di Emergenza)



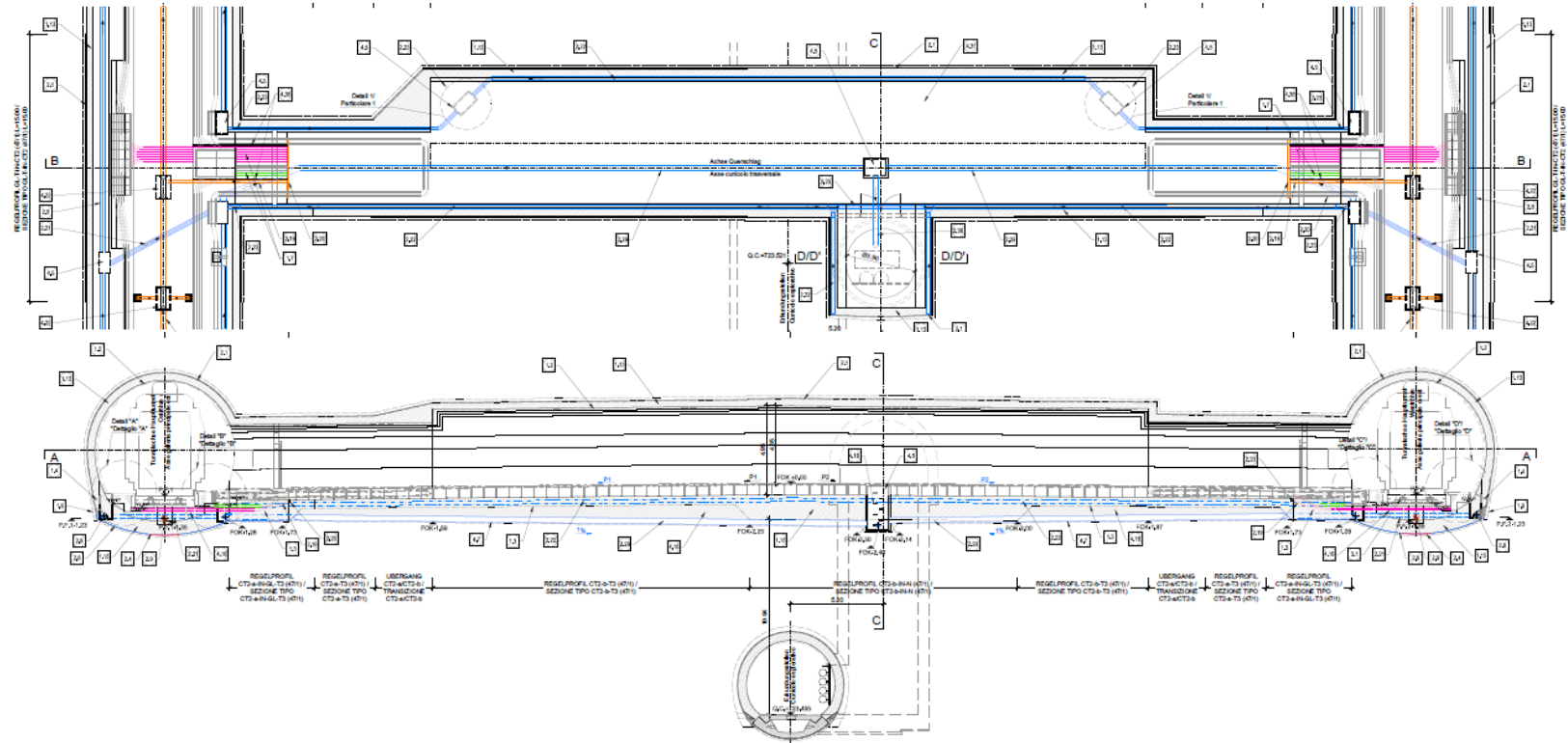
## SEZIONI TIPO APPLICATE – SCAVO IN TRADIZIONALE

CT (Cunicoli Trasversali)

1/333m



≈5.5 m



RTI 4P

Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P

c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612



Progettista Generale / Generalplaner  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

Mandataria

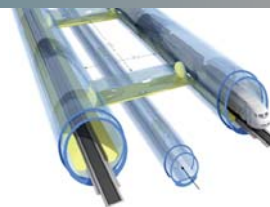
Mandanti



Autori della memoria:

Ing. M.Moja

Ing. E.M.Pizzarotti

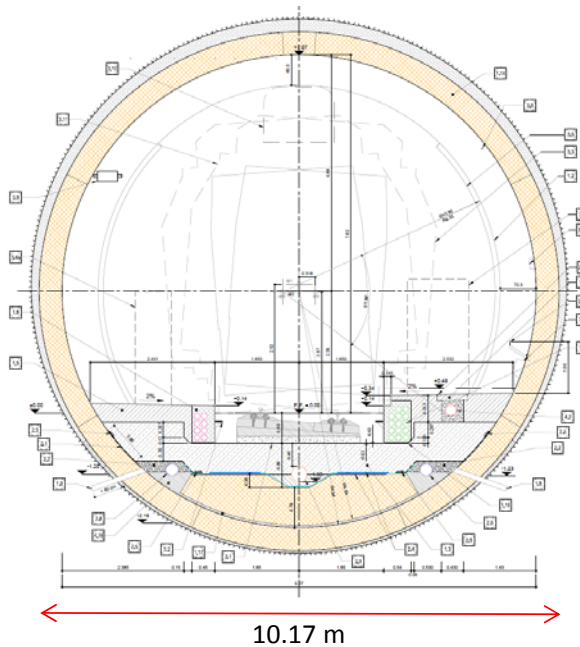




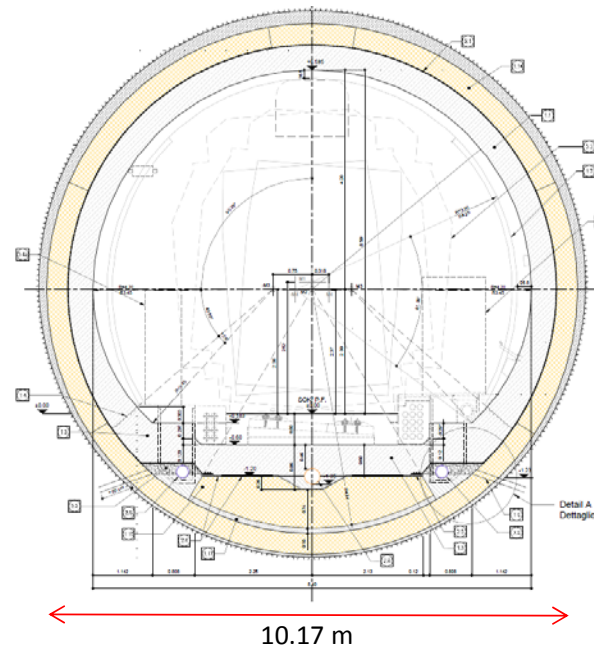
## SEZIONI TIPO APPLICATE – SCAVO MECCANIZZATO

GL-MS (Gallerie di Linea con TBM scudata)

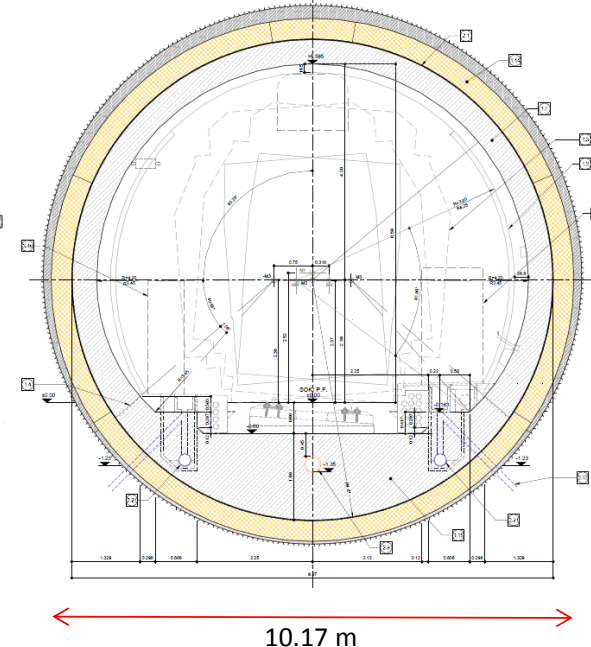
Rivestimento singolo



Rivestimento doppio



Rivestimento doppio  
con arco rovescio



**RTI 4P**  
Mandataria

**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**  
cio Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612

**PRO ITER**  
Progettista Generale / Generalplaner  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470  
Progetto Infrastrutture Territorio S.r.l.

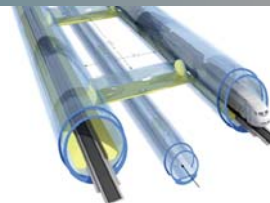
Mandanti

**PÖYRY**

**pini swiss engineers**

**PASQUALI-RAUSA**  
ENGINEERING S.r.l. GMBH

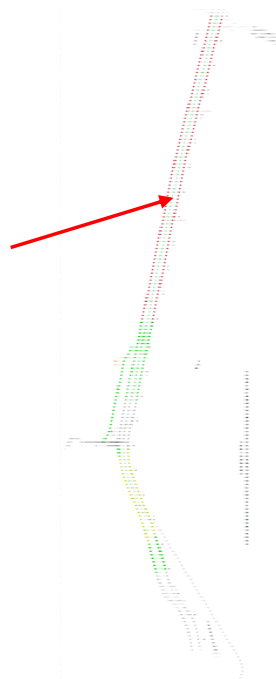
**Autori della memoria:**  
Ing. M.Moja  
Ing. E.M.Pizzarotti



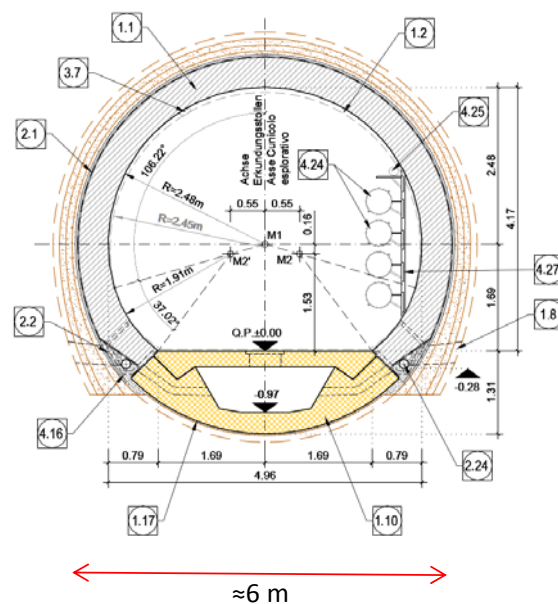


# SEZIONI TIPO APPLICATE

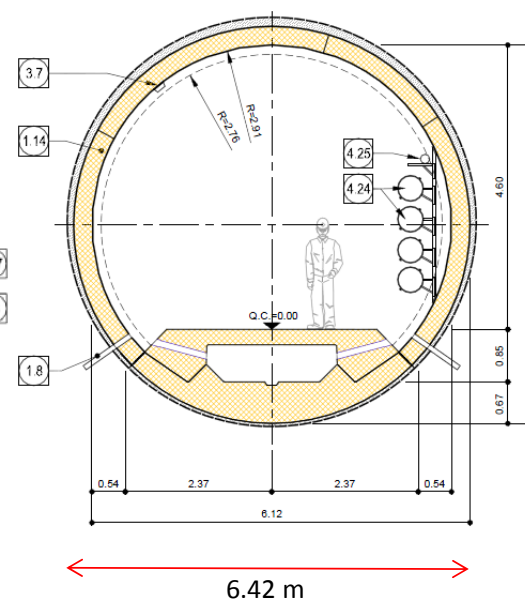
## Cunicolo Esplorativo



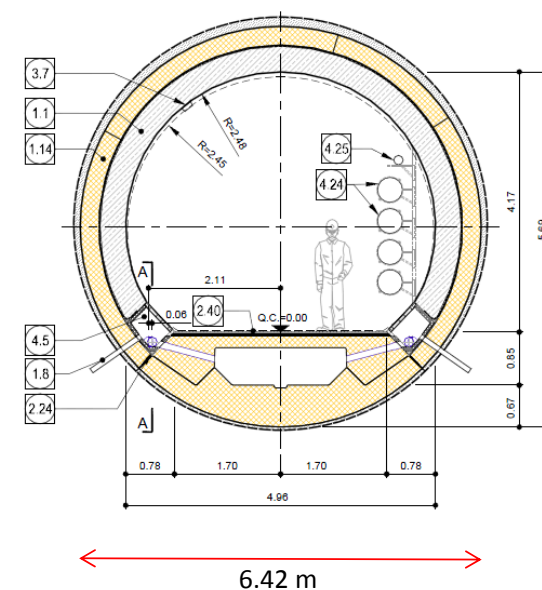
Scavo in tradizionale



C-MS Rivestimento  
singolo



C-MS Rivestimento  
doppio



RTI 4P

Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P

c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612



Progettista Generale / Generalplaner  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

Mandataria

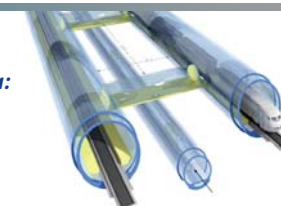
Mandanti



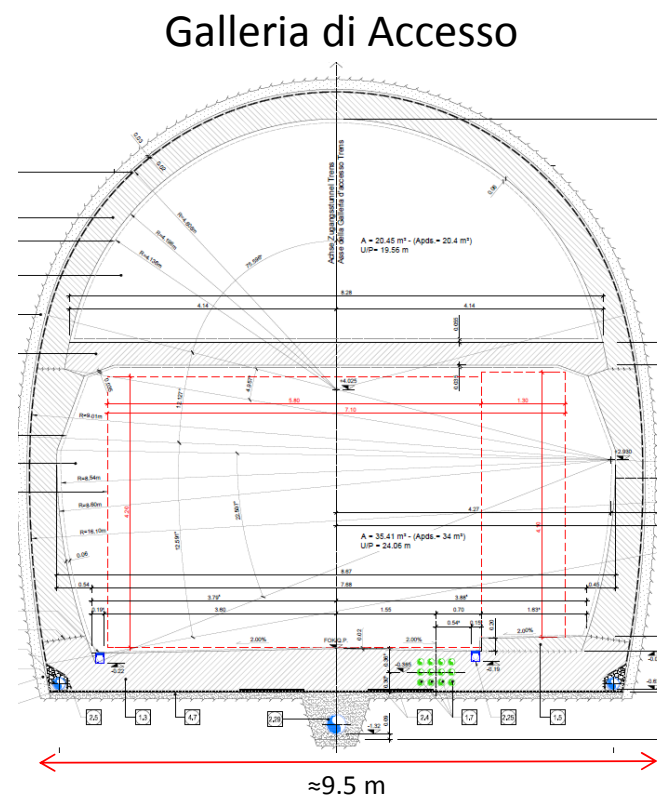
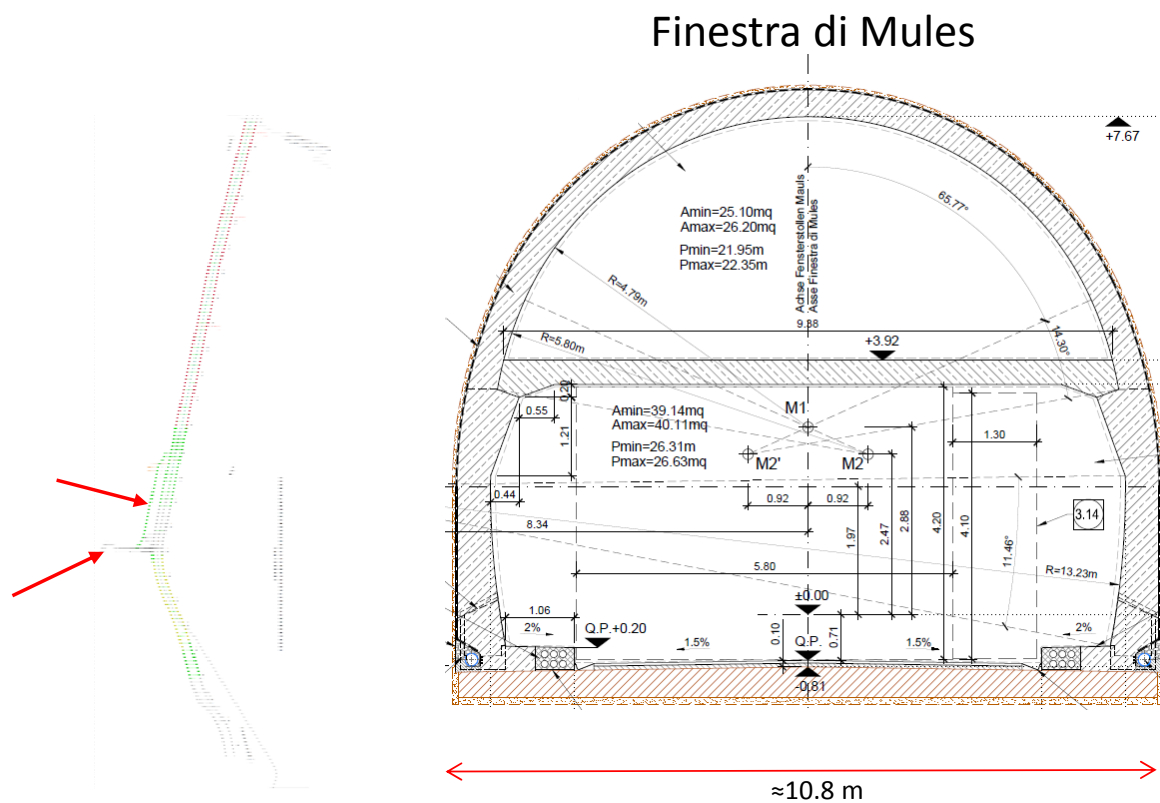
Autori della memoria:

Ing. M.Moja

Ing. E.M.Pizzarotti



## SEZIONI TIPO APPLICATE



**RTI 4P**

Mandataria

**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**

c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612



**Progettista Generale / Generalplaner**

Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti

Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

Progetto  
Infrastrutture  
Territorio S.r.l.

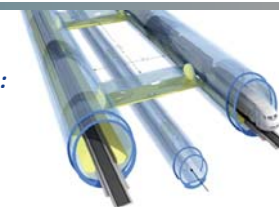
Mandanti



**Autori della memoria:**

Ing. M.Moja

Ing. E.M.Pizzarotti

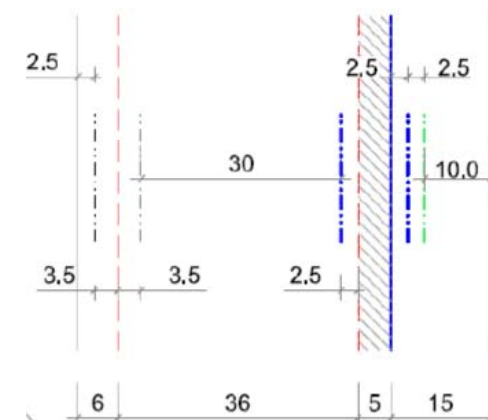


## TOLLERANZE DI COSTRUZIONE

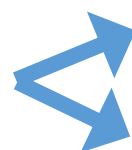
			$T_t$ [cm]	$T_1$ [cm]	$T_c$ [cm]
Scavo in tradizionale	Galleria principale	Orizzontale	±5	±2.5	±3.5
		Verticale	±2	±2.5	±3.5
	Galleria principale a due binari	Orizzontale	±8	±2.5	±3.5
		Verticale	±2	±2.5	±3.5
	Cunicolo esplorativo	Orizzontale	±35	±2.0	±3.0
		Verticale	±10	±2.0	±3.0
	Cunicoli trasversali	Orizzontale	±4	±2.0	±3.0
		Verticale	±2	±2.0	±3.0

			$T_t$ [cm]	$T_1$ [cm]	$T_c$ [cm]
Scavo con TBM	Galleria principale	Orizzontale	±9	±3.5	±3.5
		Verticale	+5 / -13	±3.5	±3.5
	TBM scudata	Orizzontale	±9	±2.5	±3.5
		Verticale	+5 / -13	±2.5	±3.5
	Cunicolo esplorativo	Orizzontale	±35	±3.0	±3.0
		Verticale	±10	±3.0	±3.0

- Scavo (escluso extrascavo)  
Ausbruch (ohne Übermass)
- Intradosso nominale del rivestimento di prima fase  
Nominelles Außenprofil der Ausbruchssicherung
- - - Intradosso ed estradosso nominale del rivestimento definitivo  
Nominelles Innenprofil und Außenprofil der Inneschale
- - - -  $T_c$  = Tolleranza sul cassero  
Schalungstoleranz
- · - · -  $T_1$  = Tolleranza sul rivestimento di prima fase  
Toleranz für die Ausbruchssicherung
- · - · -  $T_{t1}$  = Tolleranza di tracciamento attribuita al rivestimento di prima fase  
Trassierungstoleranz der Aubenschale
- Sagoma minima  
Mindestprofil



**SPESSORI MINIMI**



Sezioni NON armate = 30 cm

Sezioni armate = 35 cm



**RTI 4P**  
Mandataria

**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**  
cio Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612

**PRO ITER**  
Progettista Generale / Generalplaner  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

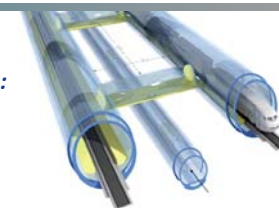
Mandanti

**PÖYRY**

**pini swiss engineers**

**PASQUALI-RAUSA**  
ENGINEERING S.r.l.

**Autori della memoria:**  
Ing. M.Moja  
Ing. E.M.Pizzarotti



## CARICHI DI PROGETTO

- G1 = Peso proprio
- G2 = Catenaria
- G4 = Carico idraulico
- G5 = Carichi d'ammasso
- G6 = Ritiro e rilassamento → Deformazione media

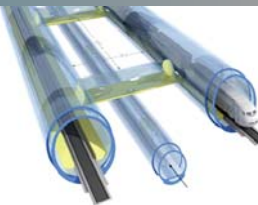
$$\varepsilon_{cs,\infty} = \varepsilon_{cd,\infty} + \varepsilon_{ca,\infty} = 0.027\%$$

$$\varepsilon_{cs,\infty} = 0.013\%$$

$$\Delta_T = -13.4^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon_{cs,\infty} = 0.013\%$$

Utilizzo di superfluidificante performante, di espansivi e di inerti non calcarei nel mix design del cls.





## CARICHI DI PROGETTO

- G1 = Peso proprio
- G2 = Catenaria
- G4 = Carico idraulico
- G5 = Carichi d'ammasso
- G6 = Ritiro e rilassamento
- G7 = Swelling



Pressione uniforme sul  
contorno della galleria

$$P = 300 \text{ kPa}$$



**RTI 4P**  
Mandataria

**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**  
cio Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612

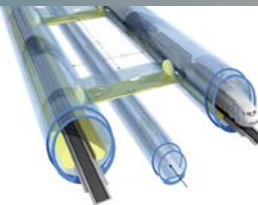


**PRO ITER**  
Progettista Generale / Generalplaner  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

Mandanti



**Autori della memoria:**  
Ing. M.Moja  
Ing. E.M.Pizzarotti



## CARICHI DI PROGETTO

- G1 = Peso proprio
- G2 = Catenaria
- G4 = Carico idraulico
- G5 = Carichi d'ammasso
- G6 = Ritiro e rilassamento
- G7 = Swelling
- Q1 = Variazioni termiche

Abstand Portal / Distanza dall'imbocco [km]	< 3,0		3,0 - 10,0		>10,0	
Temperaturgradient / gradiente della temperatura $\Delta T$ [°C]	5		2		2	
$\Delta T_{eff}$ [°C]	Winter / inverno	Sommer / estate	Winter / inverno	Sommer / estate	Winter / inverno	Sommer / estate
	-16	16	-10	10	-6	6



**RTI 4P**  
Mandataria

**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**  
c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612

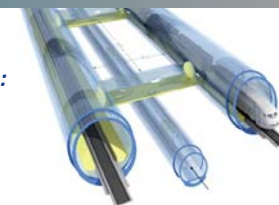


**PRO ITER**  
Progettista Generale / Generalplaner  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

Mandanti



**Autori della memoria:**  
Ing. M.Moja  
Ing. E.M.Pizzarotti



## CARICHI DI PROGETTO

- G1 = Peso proprio
- G2 = Catenaria
- G4 = Carico idraulico
- G5 = Carichi d'ammasso
- G6 = Ritiro e rilassamento
- G7 = Swelling

→ Q1 = Variazioni termiche

→ A1 = Carico aereodinamico

Pressione uniforme  
in calotta e sui ritti

Pressione

$$P = +11 \text{ kPa}$$

Aspirazione

$$P = -9 \text{ kPa}$$



**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**  
c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612



**Progettista Generale / Generalplaner**  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

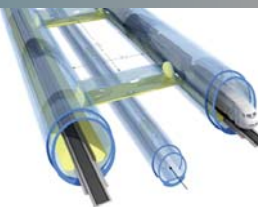
Mandanti



**Autori della memoria:**

Ing. M.Moja

Ing. E.M.Pizzarotti



## COMBINAZIONI DI CARICO

Lastfall / Caso di carico	ständig / permanenti						vorübergehend / variabili			außergewöhnlich / eccezionali		
	Eigengewicht	Oberleitung	Wasserdruck	Gebirgslast ohne Auftrieb	Kriechen und Schwinden	Quell-druck	Temperatur (Sommer)	Temperatur (Winter)	Verkehrslast (Zugfahrt)	Brand	Druck infolge Zugfahrt	Sog infolge Zugfahrt
	Peso proprio	Catenaria	Carico idraulico	Carichi della roccia in condizioni asdutte	Ritiro e rilassamento	Swelling-Squeezing	Temperatura (Estate)	Temperatura (Inverno)	Carico ferroviario	Fuoco	Carico aereodinamico (pressione)	Carico aereodinamico (aspirazione)
Einwirkungskombination / Combinazioni	G1	G2	G4	G5	G6	G7	Q1	Q1	Q2	A3	A1	A1
druckentlastet / sistema drenato	1	1.35					1.50					
		1.00					1.00					
	2	1.35			1.00			1.50				
		1.00			1.00			1.00				
	3	1.35	1.35				1.50					
		1.00	1.00				1.00					
	4	1.35	1.35		1.00			1.50				
		1.00	1.00		1.00			1.00				
	5	1.35	1.35	1.35	1.35		1.50					
		1.00	1.00	1.00	1.00		1.00					
	6	1.35	1.35	1.35	1.35	1.00		1.50				
		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00				
	7	1.35	1.35	1.35	1.35		1.35	1.50				
		1.00	1.00	1.00	1.00		1.00					
	8	1.35	1.35	1.35	1.35	1.00	1.35		1.50			
		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00			
	9	1.35	1.35				1.35	1.50				
		1.00	1.00				1.00	1.00				
	10	1.35	1.35		1.00	1.35		1.50				
		1.00	1.00		1.00	1.00		1.00				
	11	1.00	1.00				0.60				1.00	
	12	1.00	1.00		1.00			0.60				1.00
	21	1.00	1.00	1.00	1.00		0.60			1.00		
	22	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				1.00		
	23	1.00	1.00	1.00	1.00		0.60			1.00		
	24	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				1.00		

Vita utile = 200 anni

Coefficienti di sicurezza sui materiali agli SLU

$$\gamma_c = 1.6 \quad \gamma_s = 1.2$$

$$\gamma_c = 1.2 \quad \gamma_s = 1.0$$

**RTI 4P** Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P  
cio Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612

Mandataria



**PRO ITER** Progettista Generale / Generalplaner  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

Progetto  
Infrastrutture  
Territorio S.r.l.

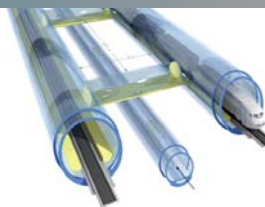
Mandanti



Autori della memoria:

Ing. M.Moja

Ing. E.M.Pizzarotti



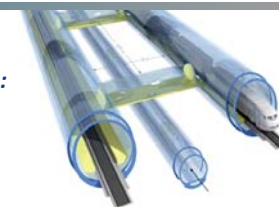


## DIMENSIONAMENTO NEI CONFRONTI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

OBIETTIVO: (N.T.C. 2008)

**Tabella 3.5.IV** – *Livelli di prestazione in caso di incendi*

Livello I	Nessun requisito specifico di resistenza al fuoco dove le conseguenze del collasso delle strutture siano accettabili o dove il rischio di incendio sia trascurabile;
Livello II	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo sufficiente a garantire l'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione;
Livello III	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza;
Livello IV	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento delle strutture stesse;
Livello V	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità delle strutture stesse.



## DIMENSIONAMENTO NEI CONFRONTI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

### MODELLO DI CALCOLO:

Metodo semplificato → Disaccoppiando il problema termico da quello meccanico

### STEP

- 1 – Definizione delle mappe di temperatura degli elementi strutturali
- 2 – Valutazione del decadimento puntuale delle proprietà meccaniche degli elementi strutturali
- 3 – Dimensionamento strutturale delle sezioni



Mandataria

**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**

c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612



**PRO ITER**  
Progettista Generale / Generalplaner  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

Progetto  
Infrastrutture  
Territorio S.r.l.

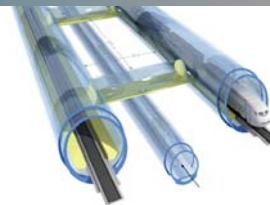
Mandanti



***Autori della memoria:***

***Ing. M.Moja***

***Ing. E.M.Pizzarotti***



## DIMENSIONAMENTO NEI CONFRONTI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

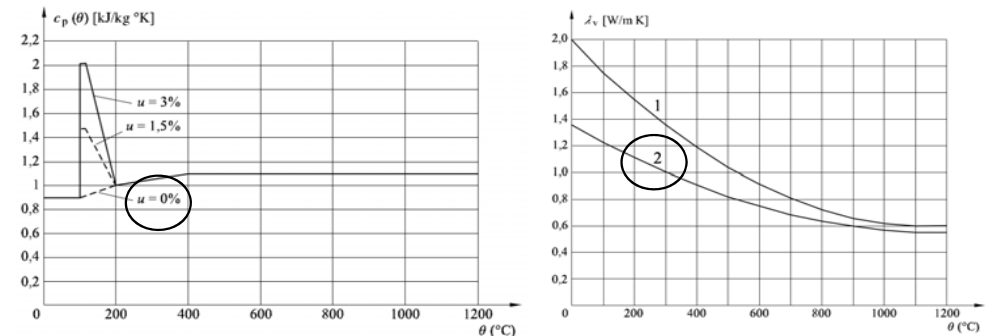
### STEP 1: Definizione delle mappe di temperatura degli elementi strutturali

#### INPUT: GEOMETRIA DELLA SEZIONE

- Spessore = 30cm

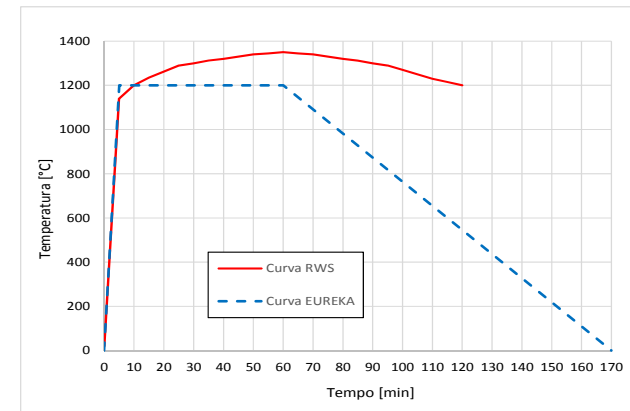
#### PROPRIETA' DEL CALCESTRUZZO (Eurocodice2)

- Calore specifico  $C_p$  [J/kg°K]
- Conduttività termica  $\lambda_v$  [W/mk]



#### CURVA TEMPERATURA / TEMPO

- Curva RWS (UNI 11076: 2003 per gallerie stradali)
- Curva Eureka (2008/163/CE per gallerie ferroviarie transeuropee)



**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**

c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612



**Progettista Generale / Generalplaner**  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

Progetto  
Infrastrutture  
Territorio S.r.l.

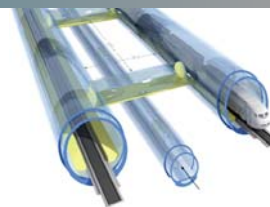
Mandanti



**Autori della memoria:**

**Ing. M.Moja**

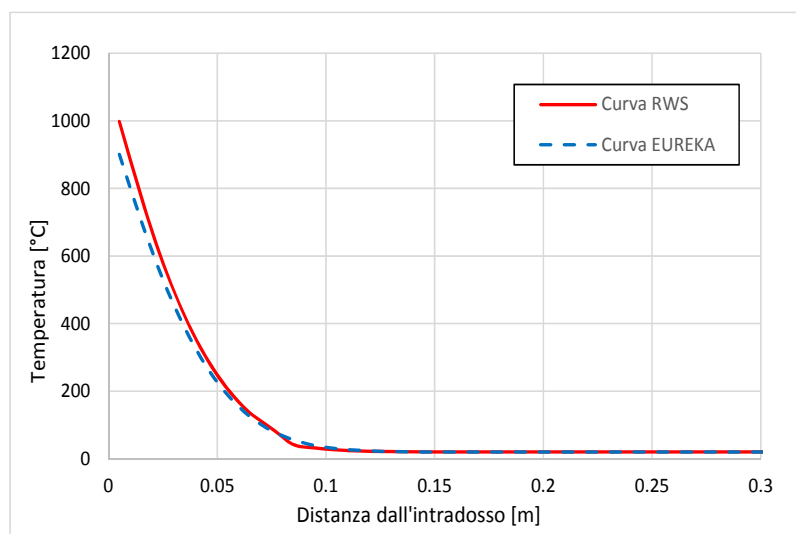
**Ing. E.M.Pizzarotti**



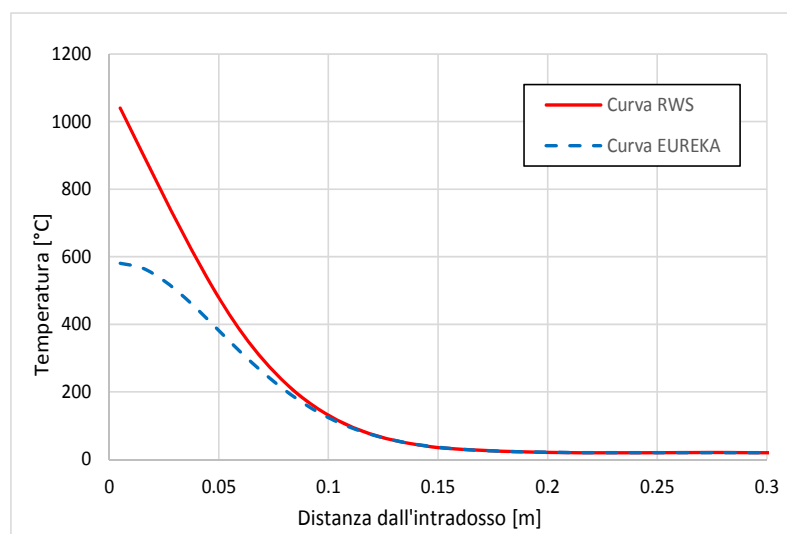
## DIMENSIONAMENTO NEI CONFRONTI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

STEP 1: Definizione delle mappe di temperatura degli elementi strutturali

OUTPUT: MAPPE DI TEMPERATURA

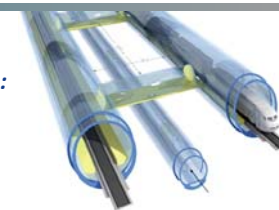


Andamento della temperatura nella sezione a 60min



Andamento della temperatura nella sezione a 120min

➔ Curva RWS





## DIMENSIONAMENTO NEI CONFRONTI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

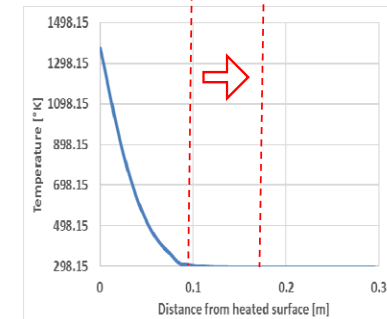
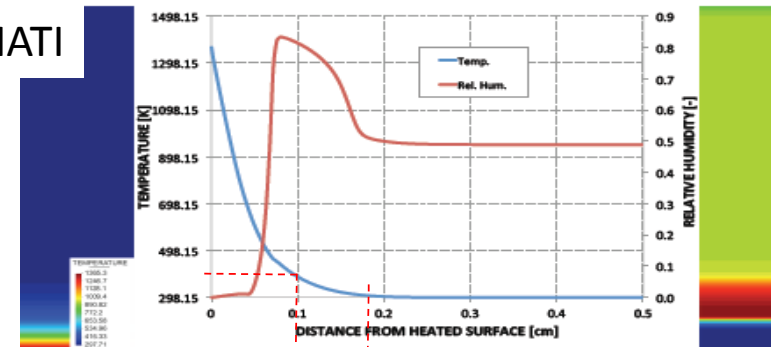
STEP 1: Definizione delle mappe di temperatura degli elementi strutturali

OUTPUT: MAPPE DI TEMPERATURA – CONFRONTO CON MODELLI ACCOPPIATI

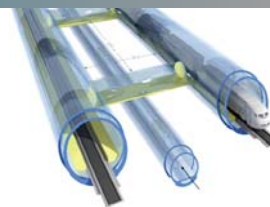
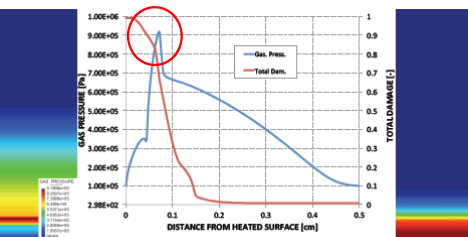
Il «Modello di Padova» (F. Pesavento – B.A. Schrefler – Cism Lab S.r.l.)



- 1) A 60' la zona danneggiata dall'incendio aumenta da 10 cm a 18 cm circa
- 2) L'incremento di temperatura tra 10 cm e 18 cm è tuttavia limitato ( $<100^{\circ}\text{C}$ ) → Differenza minima in termini di danneggiamento del cls
- 3) Il modello accoppiato consente di valutare la pressione nei pori → fenomeno di spalling



Andamento della temperatura nella sezione a 60min (Curva RWS)



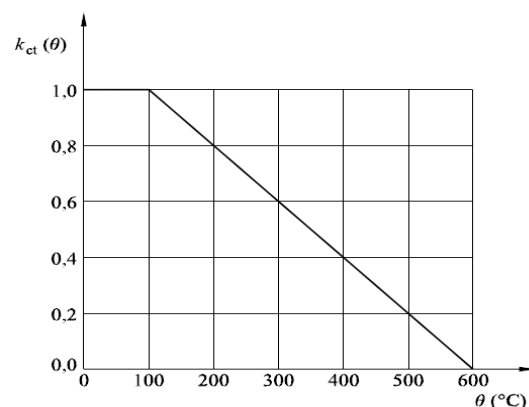
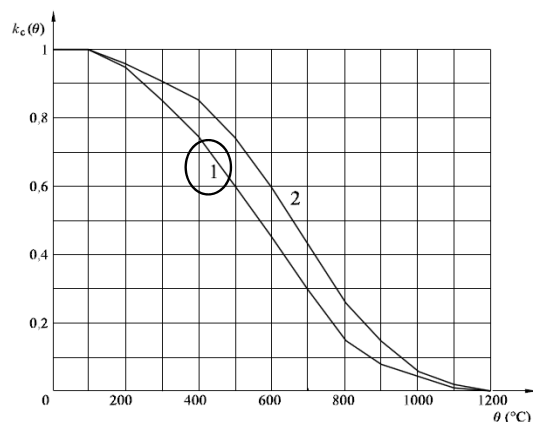
# DIMENSIONAMENTO NEI CONFRONTI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

## STEP 2: Valutazione del decadimento puntuale delle proprietà meccaniche degli elementi strutturali

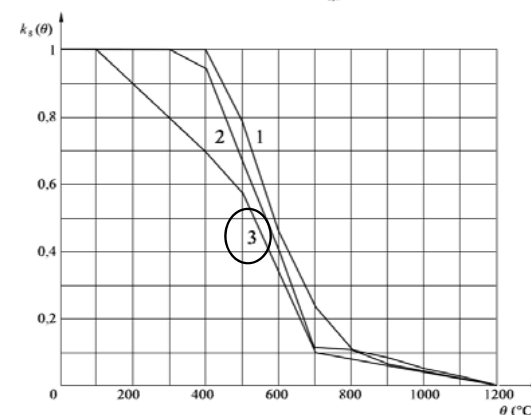
Coefficienti di riduzione della resistenza del cls

Coefficienti di riduzione della resistenza dell'acciaio

- 1 Curva 1: calcestruzzo ordinario con aggregati silicei  
2 Curva 2: calcestruzzo ordinario con aggregati calcarei



- Curva 1 Armatura tesa (laminata a caldo) per deformazioni  $\epsilon_{s,R} \geq 2\%$   
Curva 2 Armatura tesa (trafilata a freddo) per deformazioni  $\epsilon_{s,R} \geq 2\%$   
Curva 3 Armatura compressa e tesa per deformazioni  $\epsilon_{s,R} < 2\%$



**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**  
cio Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612

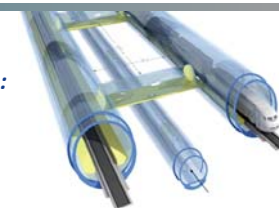


**Progettista Generale / Generalplaner**  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

Mandanti



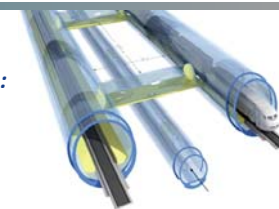
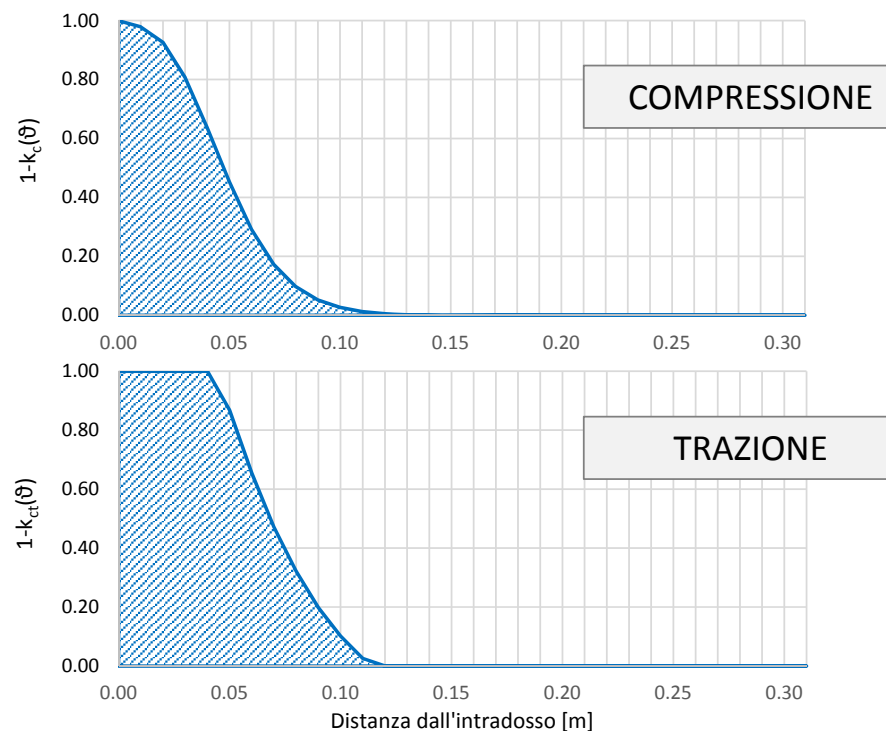
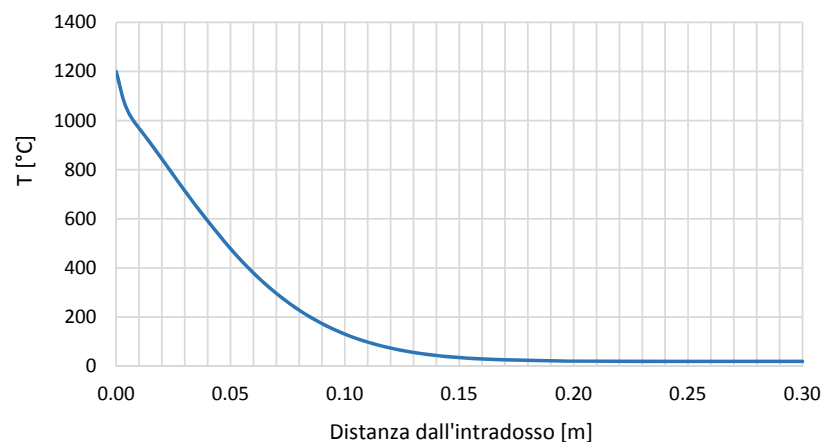
**Autori della memoria:**  
Ing. M.Moja  
Ing. E.M.Pizzarotti



## DIMENSIONAMENTO NEI CONFRONTI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

**STEP 2:** Valutazione del decadimento puntuale delle proprietà meccaniche degli elementi strutturali

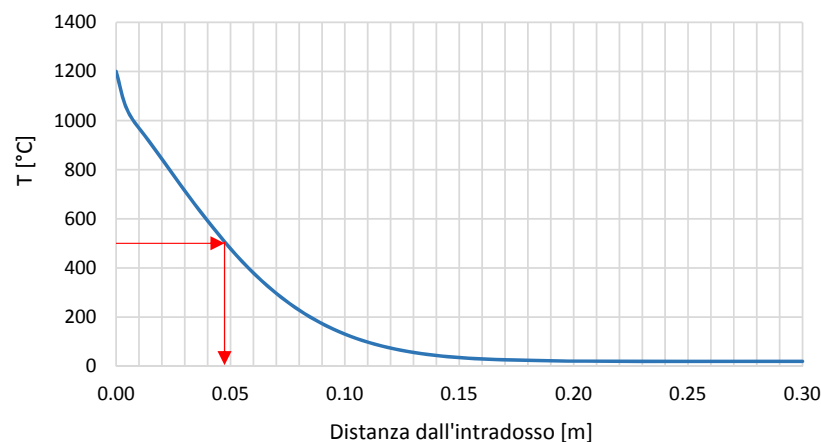
Distribuzione del danno a 120 min



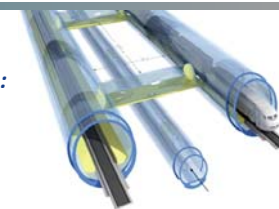
## DIMENSIONAMENTO NEI CONFRONTI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

STEP 2: Valutazione del decadimento puntuale delle proprietà meccaniche degli elementi strutturali

LATO CALCESTRUZZO: 1° Metodo – Metodo dell'isoterma dei 500°C (Eurocodice 2)



Riduzione dello spessore della sezione in caso d'incendio di circa 5cm





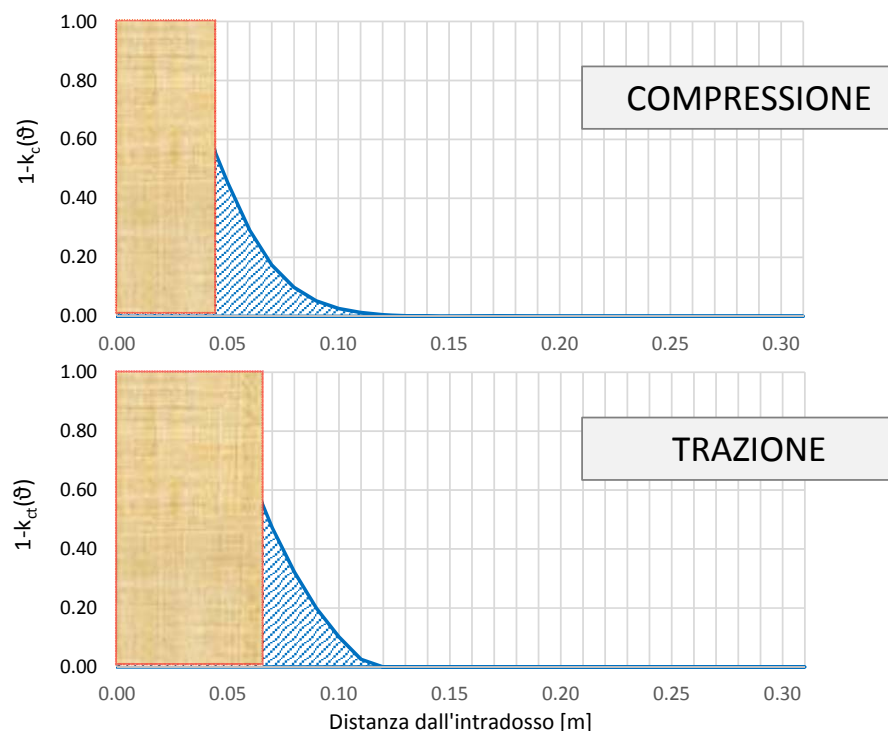
## DIMENSIONAMENTO NEI CONFRONTI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

**STEP 2:** Valutazione del decadimento puntuale delle proprietà meccaniche degli elementi strutturali

LATO CALCESTRUZZO

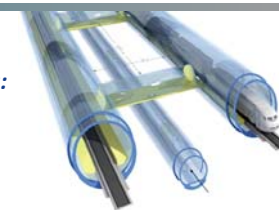
2° metodo – Metodo a zona

(Eurocodice 2)



Riduzione dello spessore della sezione di circa 4.6 cm

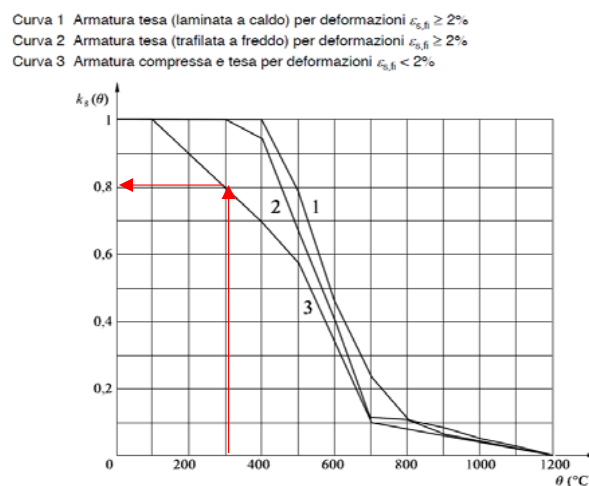
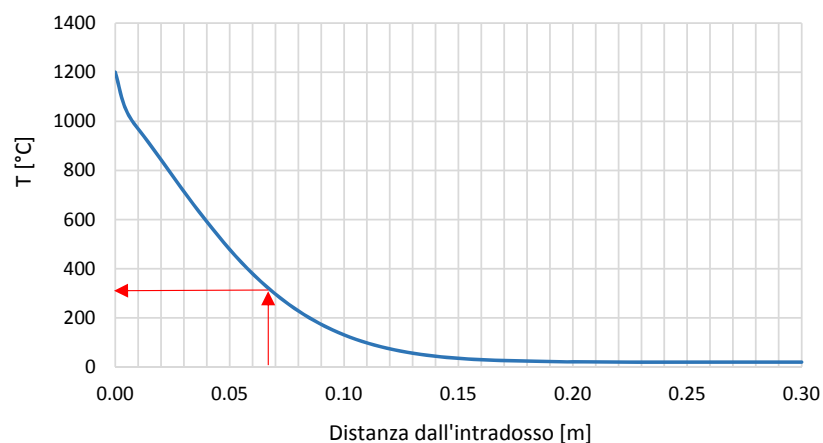
Riduzione dello spessore della sezione di circa 6.8 cm



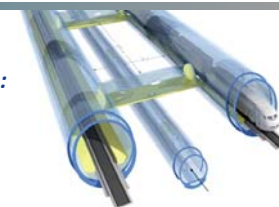
## DIMENSIONAMENTO NEI CONFRONTI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

STEP 2: Valutazione del decadimento puntuale delle proprietà meccaniche degli elementi strutturali

LATO ACCIAIO:



Riduzione della resistenza dell'acciaio del 20%

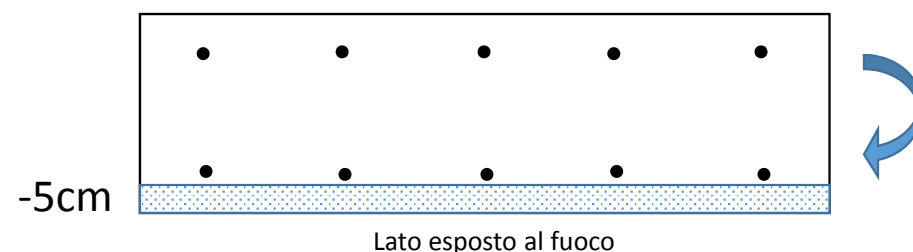
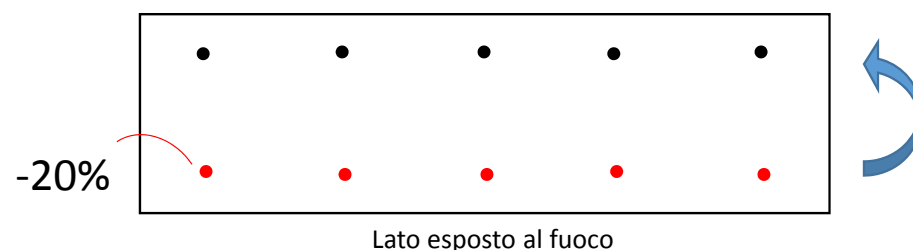


## DIMENSIONAMENTO NEI CONFRONTI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

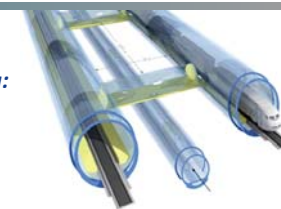
### STEP 3: Dimensionamento strutturale delle sezioni

#### SEZIONI ARMATE:

- Lato esposto al fuoco soggetto a uno stato tensionale di trazione → Riduzione della resistenza dell'armatura del 20% (lo spessore della sezione non viene ridotto in quanto il cls non viene considerato reagente a trazione)
- Lato esposto al fuoco soggetto a uno stato tensionale di compressione → Riduzione dello spessore della sezione di 5 cm



$$\gamma_c = 1.2 \quad \gamma_s = 1.0$$



## DIMENSIONAMENTO NEI CONFRONTI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

### STEP 3: Dimensionamento strutturale delle sezioni

#### SEZIONI ARMATE:

- Lato esposto al fuoco soggetto a uno stato tensionale di trazione → Riduzione della resistenza dell'armatura del 20% (lo spessore della sezione non viene ridotto in quanto il cls non viene considerato reagente a trazione)
- Lato esposto al fuoco soggetto a uno stato tensionale di compressione → Riduzione dello spessore della sezione di 5 cm

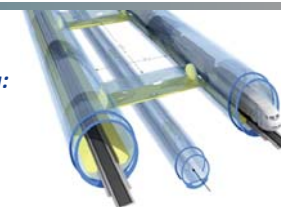


#### SEZIONI NON ARMATE:

- Lato esposto al fuoco soggetto a uno stato tensionale di trazione → Riduzione dello spessore della sezione di 7 cm (cls reagente a trazione)
- Lato esposto al fuoco soggetto a uno stato tensionale di compressione → Riduzione dello spessore della sezione di 5 cm



$$\gamma_c = 1.2 \quad \gamma_s = 1.0$$

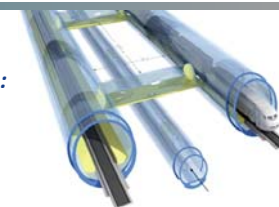


## DIMENSIONAMENTO NEI CONFRONTI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

### OBIETTIVO:

**Tabella 3.5.IV – Livelli di prestazione in caso di incendi**

Livello I	Nessun requisito specifico di resistenza al fuoco dove le conseguenze del collasso delle strutture siano accettabili o dove il rischio di incendio sia trascurabile;
Livello II	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo sufficiente a garantire l'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione;
Livello III	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza;
Livello IV	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento delle strutture stesse;
Livello V	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità delle strutture stesse.





## DIMENSIONAMENTO NEI CONFRONTI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

### PARTI D'OPERA INTERESSATE:

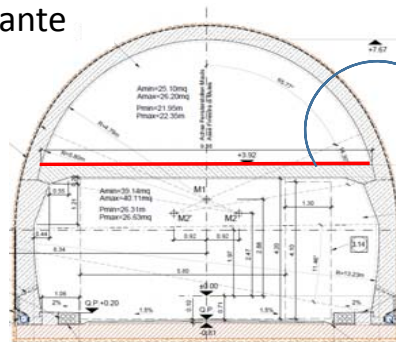
- Fermata di emergenza con annessi cunicoli di collegamento e ventilazione, cunicolo centrale e cunicolo esplorativo sottostante
- Innesti tra le gallerie di linea e i cunicoli trasversali
- Tratte delle gallerie in zone di faglia o di scarsa qualità geomeccanica

### PROVVEDIMENTI COSTRUTTIVI:

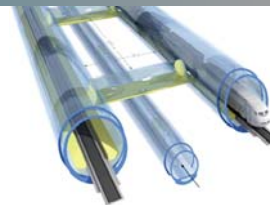
- Utilizzo di fibre in polipropilene [ $1.5 - 2 \text{ kg/m}^3$ ] nei rivestimenti definitivi
- Protezione della soletta intermedia del canale di ventilazione mediante materiale isolante



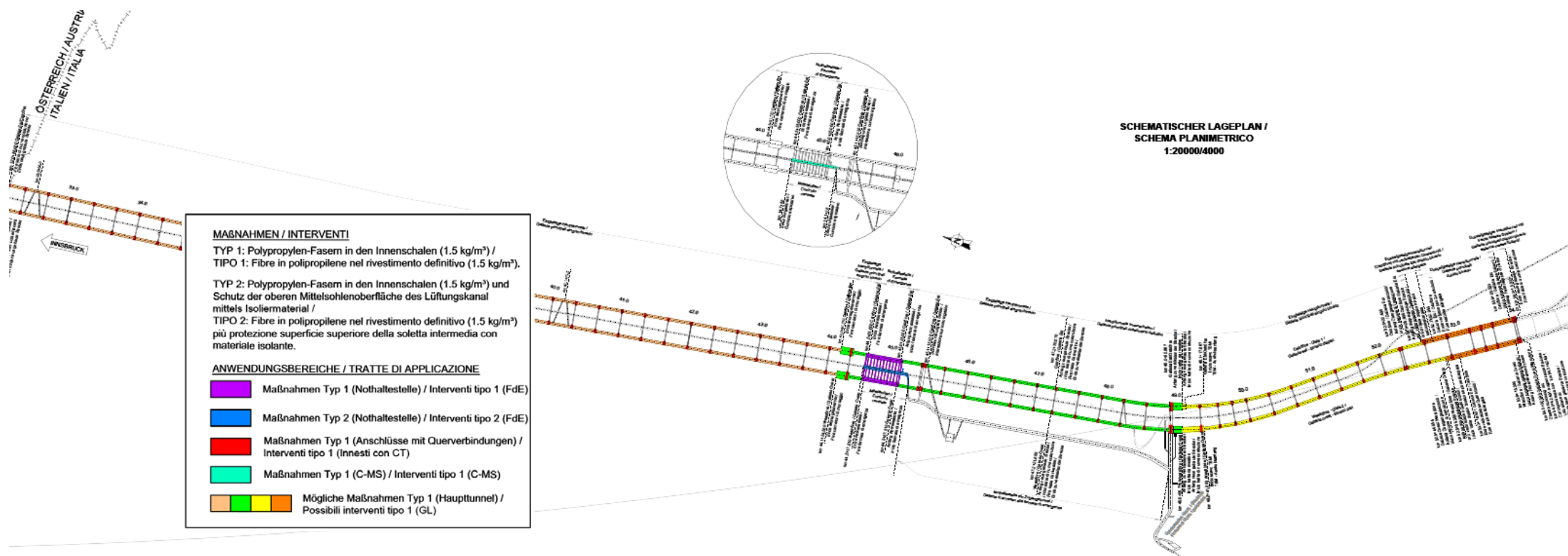
Drastica riduzione della possibilità che si verifichino fenomeni di spalling



Protezione con  
materiale isolante

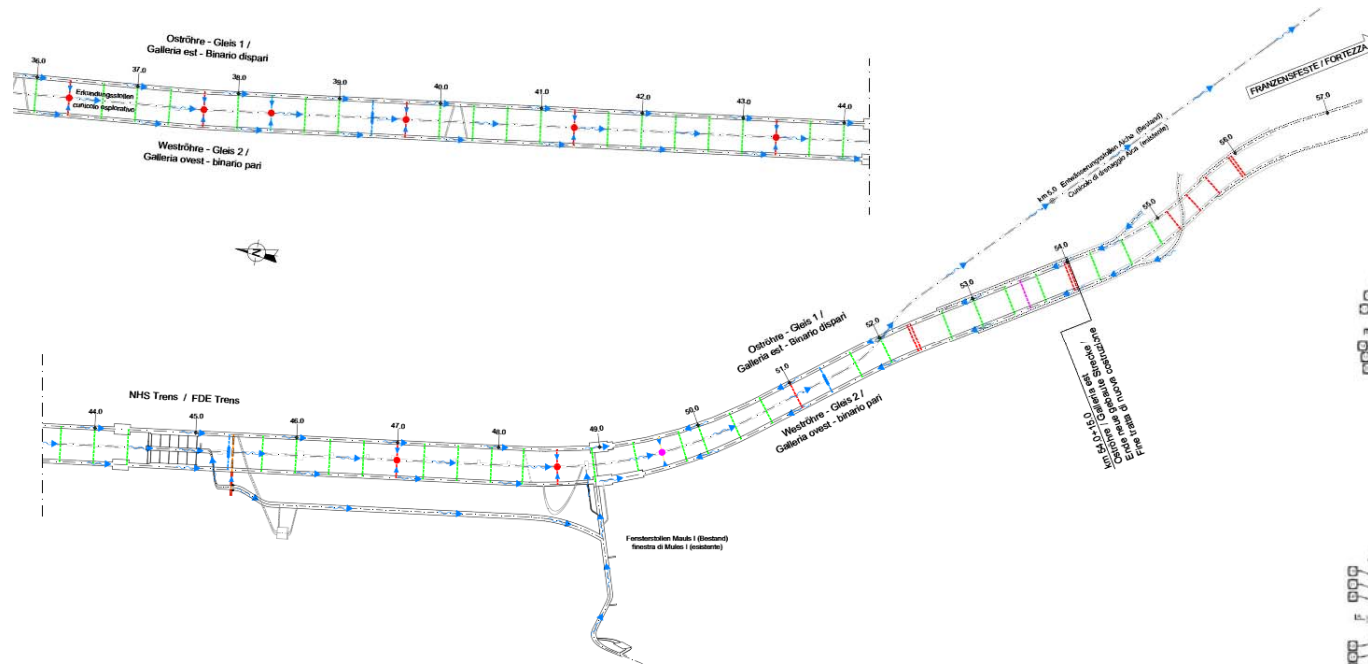


# DIMENSIONAMENTO NEI CONFRONTI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

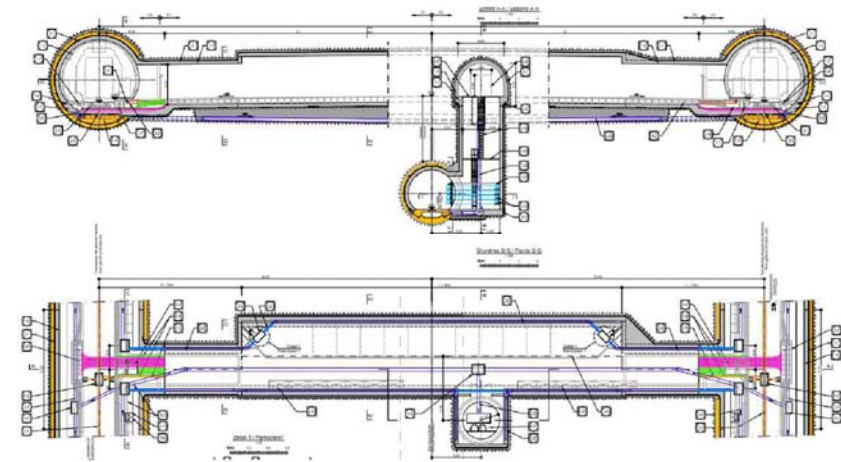


# IMPERMEABILIZZAZIONE E DRENAGGIO

## Schema di smaltimento delle acque



- Grundwasserabfließrichtung und Fahrbahnentwässerung / Direzione flusso acque di falda e di piattaforma
- Ablauf mit Sammelleitung DN200 mm aus Edelstahl / Scarico con collettore DN200 mm in acciaio inossidabile
- Ablauf mit Sammelleitung DN300 mm aus Edelstahl / Scarico con collettore DN300 mm in acciaio inossidabile
- Ablauf - Grundwasser und Fahrbahnentwässerung (Sammelleitungen DN300 mm aus Edelstahl) / Scarico acque di falda e di piattaforma (collettori DN300 mm in acciaio inossidabile)
- Löschwasserbecken 108 m³ / Vasca antincendio 108 m³
- Provisorische Bauwerke / Opere provvisorie
- Querschnitt Typ 1 / Cunicolo Tipo 1
- Querschnitt Typ 1 mit Ablauf / Cunicolo Tipo 1 con scarico
- Querschnitt Typ 1 mit Ablauf - 49/2 Tiefpunkt / Cunicolo Tipo 1 con scarico - 49/2 Punto di minimo
- Querschnitt Typ 2 / Cunicolo Tipo 2
- Querschnitt Typ 3 / Cunicolo Tipo 3
- Querschnitt Typ 4 / Cunicolo Tipo 4
- Querschnitt Typ 5 / Cunicolo Tipo 5



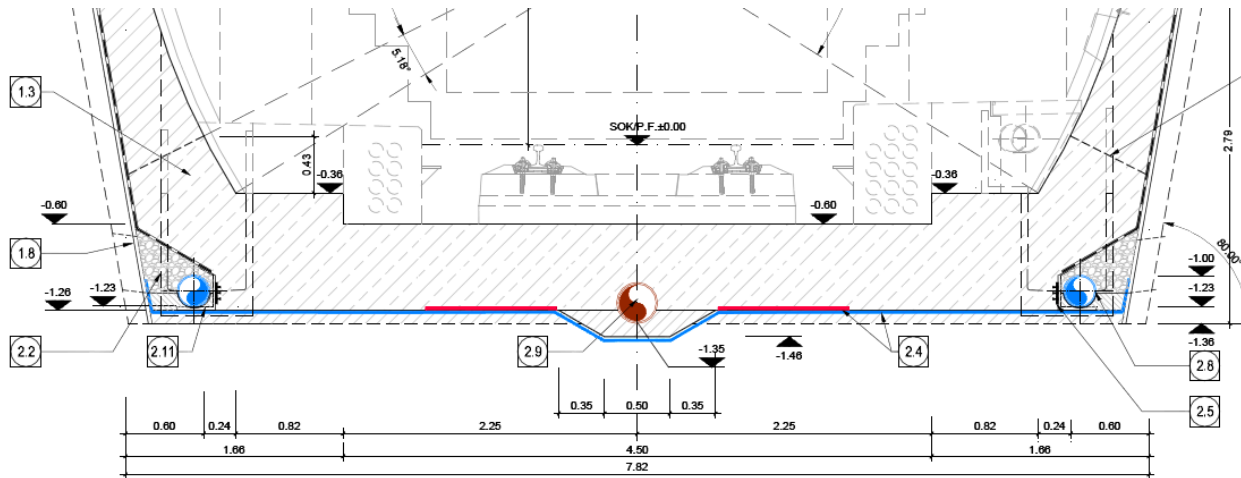
## IMPERMEABILIZZAZIONE E DRENAGGIO

Sistema di impermeabilizzazione

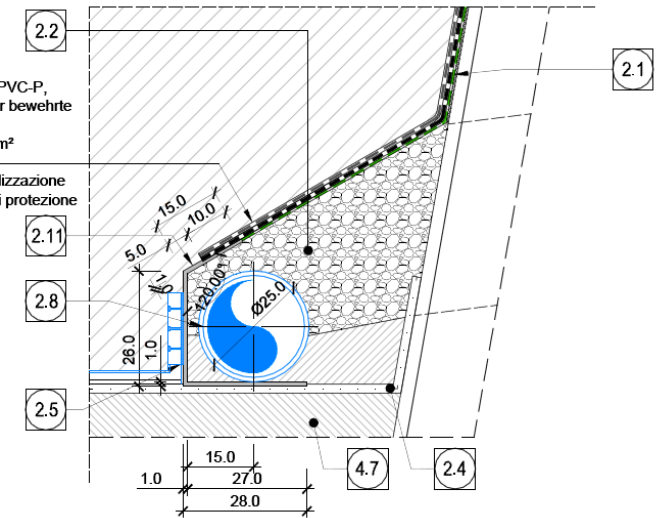


PVC + geotessuto

- + Strato di protezione in PVC nel caso di rivestimenti armati
- + Geocomposito drenante nelle tratte con le maggiori venute d'acqua
- + Strisce di membrana bugnata in platea / arco rovescio



- Kunststoffdichtungsbahn PVC-P,
- 2mm mit Schutzschicht für bewehrte Innenschale
- Geoverbundstoff  $\geq 900\text{g/m}^2$
- membrana di impermeabilizzazione PVC-P, 2mm con strato di protezione per rivestimenti armati
- geocomposito  $\geq 900\text{g/m}^2$



RTI 4P

Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P

c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612



Progettista Generale / Generalplaner  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

Mandataria

Mandanti

PÖYRY

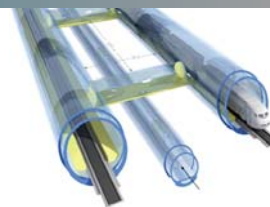
pini swiss engineers

PASQUALI-RAUSA  
ENGINEERING S.r.l.

Autori della memoria:

Ing. M.Moja

Ing. E.M.Pizzarotti





# IMPERMEABILIZZAZIONE E DRENAGGIO

GL-MS

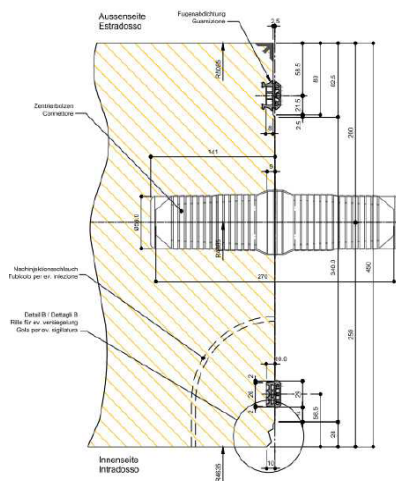
Rivestimento singolo

Rivestimento doppio

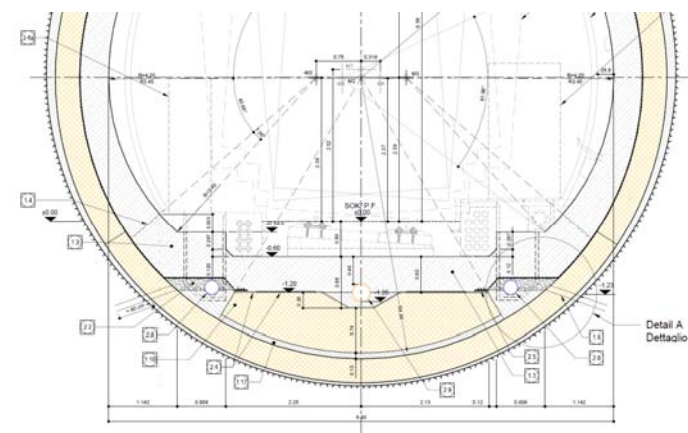
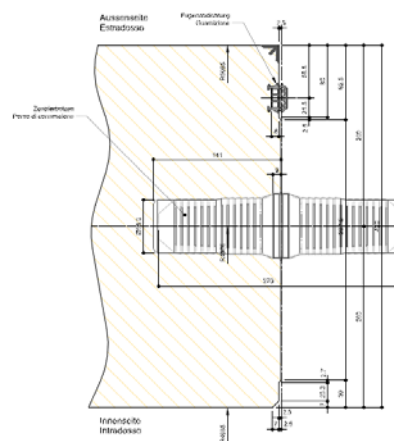


Tripla protezione

- Guarnizione ancorata in estradosso
- Guarnizione incollata in intradosso
- Eventuale sigillatura dei giunti con iniezione di resine



Semplice protezione + Impermeabilizzazione rivestimento interno



**RTI 4P**  
Mandataria

**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**  
cio Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612

**PRO ITER**  
Progettista Generale / Generalplaner  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470  
Progetto Infrastrutture Territorio S.r.l.

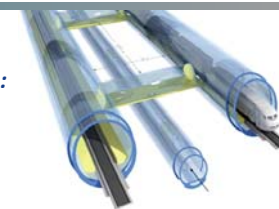
Mandanti

**PÖYRY**

**pini swiss engineers**

**PASQUALI-RAUSA**  
ENGINEERING S.r.l.

**Autori della memoria:**  
Ing. M.Moja  
Ing. E.M.Pizzarotti





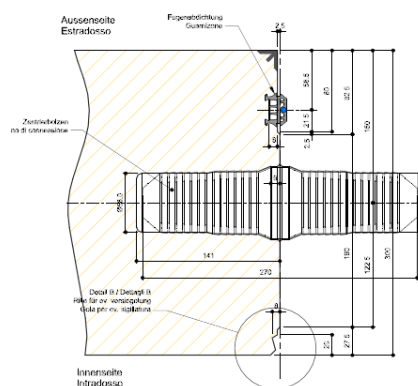
# IMPERMEABILIZZAZIONE E DRENAGGIO

C-MS

Rivestimento singolo



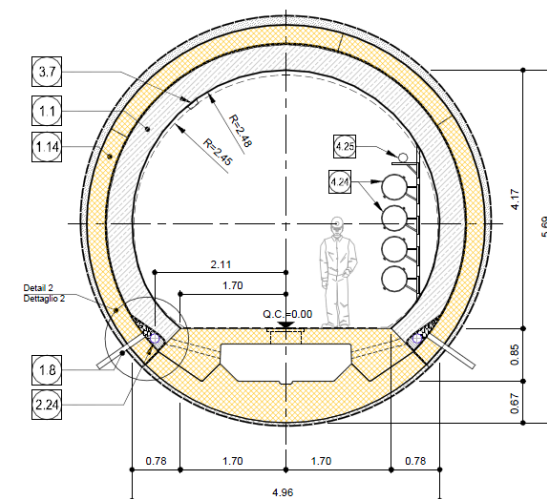
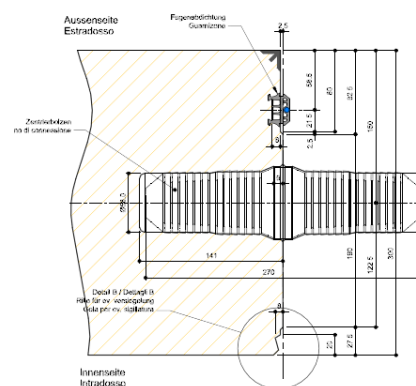
Protezione semplice



Rivestimento doppio



Protezione semplice + Impermeabilizzazione rivestimento interno



**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**

c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612



**Progettista Generale / Generalplaner**  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

Mandataria



Progetto  
Infrastrutture  
Territorio S.r.l.

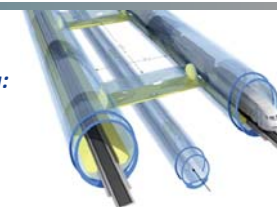
Mandanti



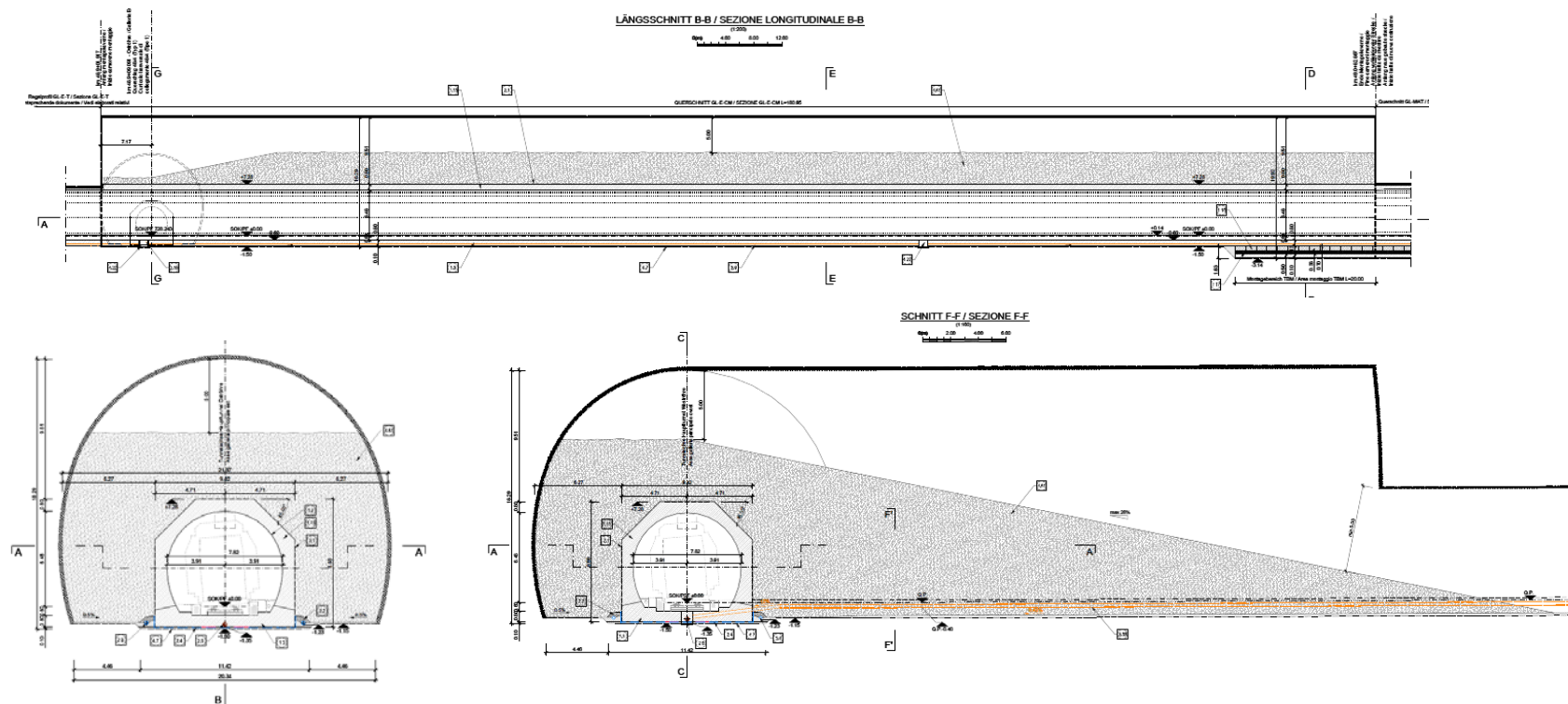
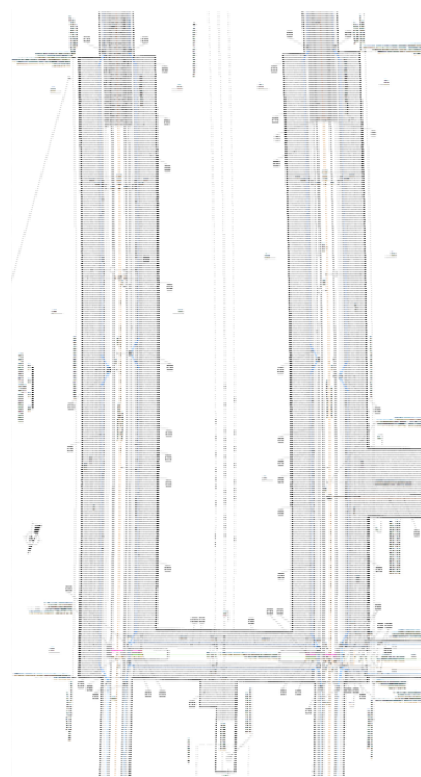
**Autori della memoria:**

Ing. M.Moja

Ing. E.M.Pizzarotti



## CAMERONI DI MONTAGGIO TBM VERSO SUD



**RTI 4P**

**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**

c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612

Mandatario



**PRO  
ITER**  
Progetto  
Infrastrutture  
Territorio S.r.l.

**Progettista Generale / Generalplaner**  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

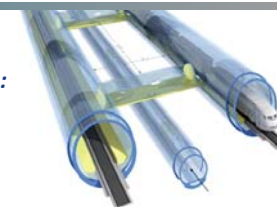
Mandanti



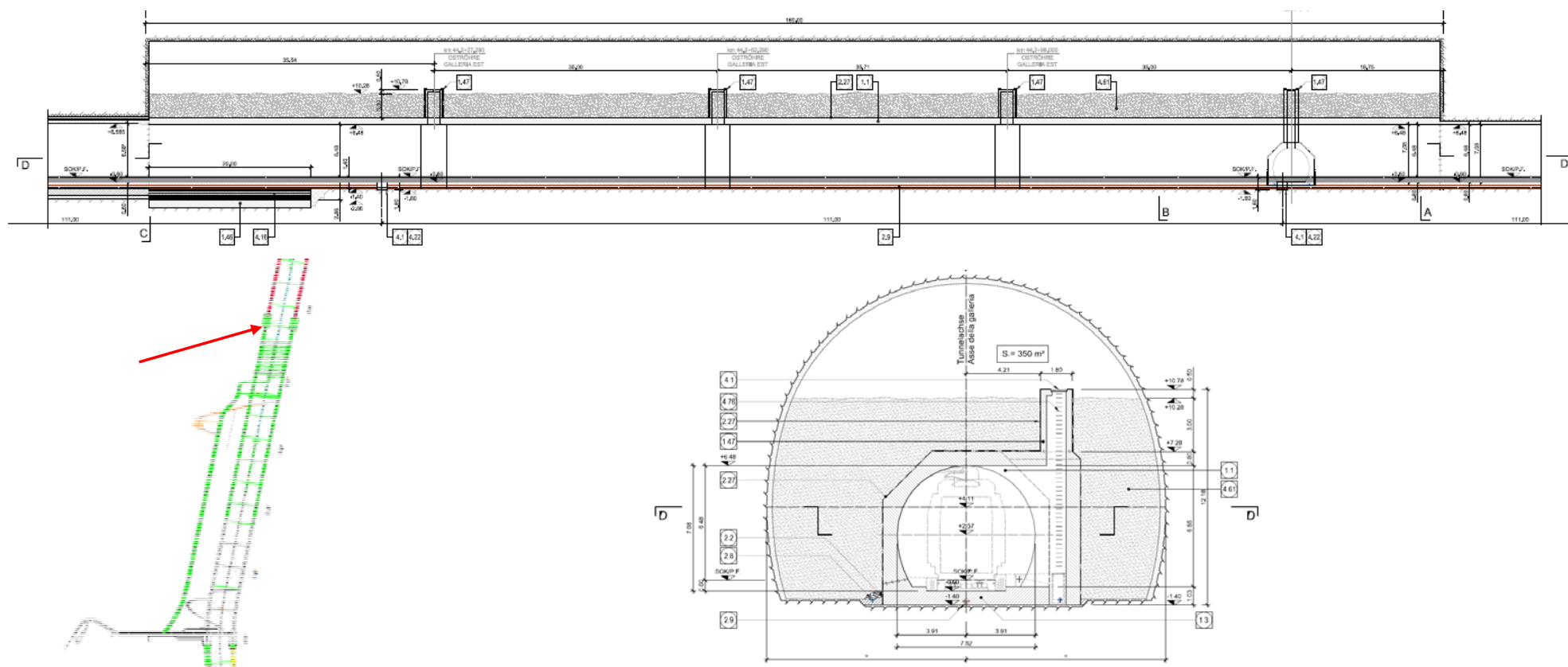
**Autori della memoria:**

Ing. M.Moja

Ing. E.M.Pizzarotti



## CAMERONI DI MONTAGGIO TBM VERSO NORD



**RTI 4P** Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P  
 c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612

Mandataria

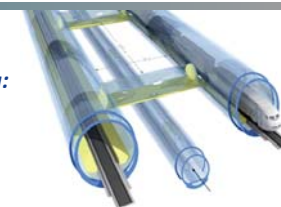


**PRO ITER** Progettista Generale / Generalplaner  
 Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
 Ord. Ingg. MILANO n° A 29470  
 Progetto Infrastrutture Territorio S.r.l.

Mandanti

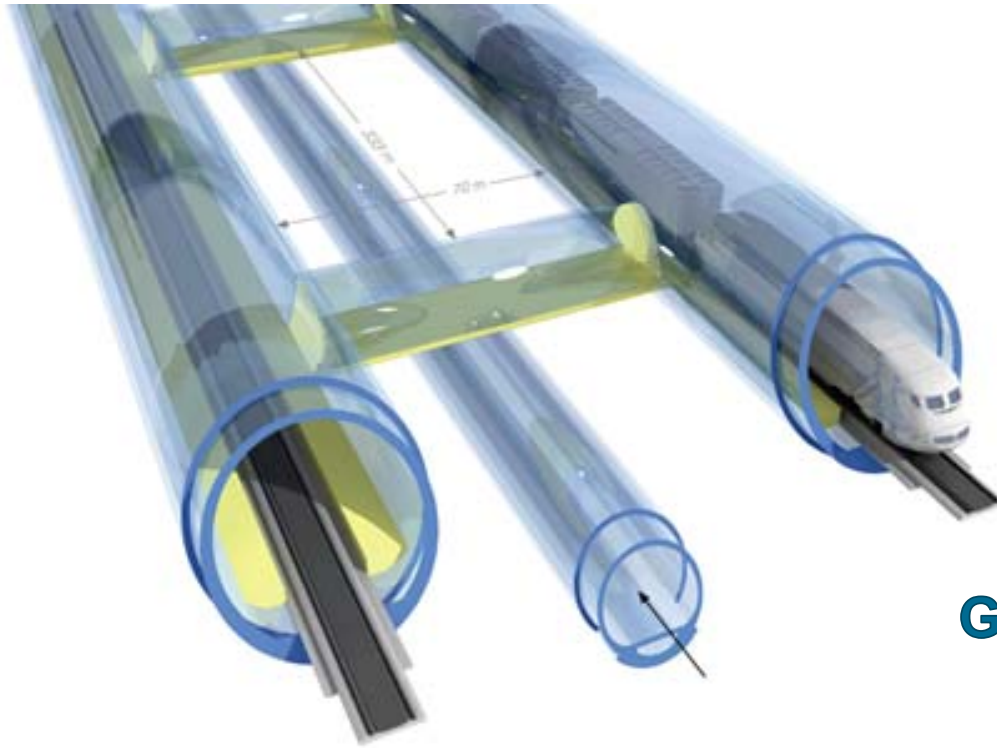


**Autori della memoria:**  
 Ing. M.Moja  
 Ing. E.M.Pizzarotti



## Tunnel di Base del Brennero lato Italia: Lotto Mules 2-3 - Le scelte di progetto dei rivestimenti definitivi

Samoter 2017 – Verona (VR) 23 – 24 Febbraio 2017



# GRAZIE PER L'ATTENZIONE!



**RTI 4P**

Mandataria

**Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P**

c/o Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612



**PRO ITER** Progettista Generale / Generalplaner  
Dott. Ing. Enrico Maria Pizzarotti  
Ord. Ingg. MILANO n° A 29470

Progetto  
Infrastrutture  
Territorio S.r.l.

Mandanti



*Autori della memoria:*

*Ing. M. Moja*

*Ing. E.M. Pizzarotti*

