

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**U.O. GALLERIE**

**PROGETTO PRELIMINARE**

**NUOVA LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE**

**TRATTA MESTRE – AEROPORTO MARCO POLO**

**RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO**

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

L 3 4 3 0 0 R 0 7 R G G N 0 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Tipo di Emissione	P.PITOLLI	ott. '10	F.IANNOTTA	ott. '10	D.Fochesato	ott. '10	A.PIGORINI	ott. '10
	ESECUTIVA								

File: L34300R07RGGN0000001A.doc

n. Elab.: 51



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

## INDICE

1	PREMESSA .....	5
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO .....	6
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	7
3.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	7
3.2	DOCUMENTI CORRELATI .....	7
3.3	DOCUMENTI SUPERATI.....	7
3.4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO PER LA PROGETTAZIONE DELLE GALLERIE .....	8
3.4.1	<i>Normative Cogenti.....</i>	8
3.4.2	<i>Raccomandazioni e linee guida .....</i>	8
3.4.3	<i>Prescrizioni e specifiche tecniche di RFI.....</i>	8
3.4.4	<i>Prescrizioni e specifiche tecniche di Italferr.....</i>	9
4	ALLEGATI.....	9
5	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO.....	9
6	METODOLOGIA DI LAVORO.....	10
7	ASPETTI GENERALI.....	11
7.1	IL TRACCIATO DI PROGETTO .....	11
8	DESCRIZIONE DELLE OPERE IN SOTTERRANEO.....	12
8.1	CONFIGURAZIONE E SVILUPPO DELLE OPERE IN SOTTERRANEO.....	12
8.2	SEZIONI TIPO DI INTRADOSSO.....	12
8.3	NICCHIE .....	14
8.4	BY-PASS TRASVERSALI .....	14
8.5	POZZI .....	15
9	FASE CONOSCITIVA .....	16

9.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	16
9.1.1	<i>Caratteri litologici e stratigrafici.....</i>	16
9.1.2	<i>Caratteri idrogeologici.....</i>	20
9.1.3	<i>Criticità geologiche connesse con la realizzazione di opere in sotterraneo.....</i>	21
9.2	INDAGINI GEOTECNICHE.....	21
9.2.1	<i>Indagini e prove in sito.....</i>	21
9.2.2	<i>Indagini e prove di laboratorio.....</i>	21
9.2.3	<i>Indagini geofisiche.....</i>	22
9.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	22
9.3.1	<i>Gallerie di linea.....</i>	22
10	FASE DI DIAGNOSI: ANALISI DEL COMPORTAMENTO DEFORMATIVO ALLO SCAVO.....	24
10.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO.....	24
10.2	DETERMINAZIONE DELLE CLASSI DI COMPORTAMENTO.....	25
10.2.1	<i>Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo.....</i>	25
11	FASE DI TERAPIA: DEFINIZIONE DELLA METODOLOGIA DI SCAVO.....	26
11.1	METODOLOGIA DI SCAVO.....	26
11.1.1	<i>Metodo di scavo meccanizzato delle gallerie.....</i>	26
11.1.2	<i>Sezione tipo di avanzamento per scavo meccanizzato.....</i>	32
11.1.3	<i>Metodo di scavo opere complementari.....</i>	33
11.2	RISCHI POTENZIALI CHE INCIDONO SULLA REALIZZAZIONE DELLE GALLERIE.....	34
11.2.1	<i>I cedimenti previsti in superficie.....</i>	34
11.2.2	<i>Interferenze con le preesistenze.....</i>	37
11.3	IL MONITORAGGIO PER LA FASE REALIZZATIVA.....	41
11.3.1	<i>Monitoraggio interno.....</i>	41
11.3.2	<i>Monitoraggio esterno.....</i>	42





LINEA AV/AC

PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN  
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L343	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	4 di 44

12	PROGRAMMA DI INDAGINI PER LE SUCCESSIVE FASI DI PROGETTAZIONE .....	43
12.1	INDAGI GEOTECNICHE .....	43
12.2	CENSIMENTO STRUTTURE INTERFERENTI.....	43
13	CONCLUSIONI.....	44



## 1 PREMESSA

Nel presente documento vengono analizzate le tematiche progettuali e gli aspetti tecnici relativi al progetto preliminare delle opere in sotterraneo della Nuova Linea AV/AC Venezia-Trieste nella Tratta Mestre-Aeroporto Marco Polo.

Il tracciato, a doppio binario, è compreso nel territorio del Comune di Venezia. Ha origine nella Stazione di Mestre (progr. Km 0+00) da cui si approfondisce con una trincea per poi proseguire interamente in galleria al disotto delle campagne del margine lagunare (Fig. 1.1), fino alla fermata in sotterraneo (progr. Km 9+039) dell'Aeroporto Marco Polo.

La lunghezza totale dell'intera tratta è di circa 9Km e si sviluppa prevalentemente in sotterraneo, con una coppia di gallerie naturali, oggetto della presente relazione, comprese tra le progressive Km 1+571 e Km 8+091, per una lunghezza complessiva di circa 6.5Km. Le restanti tratte in trincea e galleria artificiale di imbocco non sono oggetto della presente relazione.

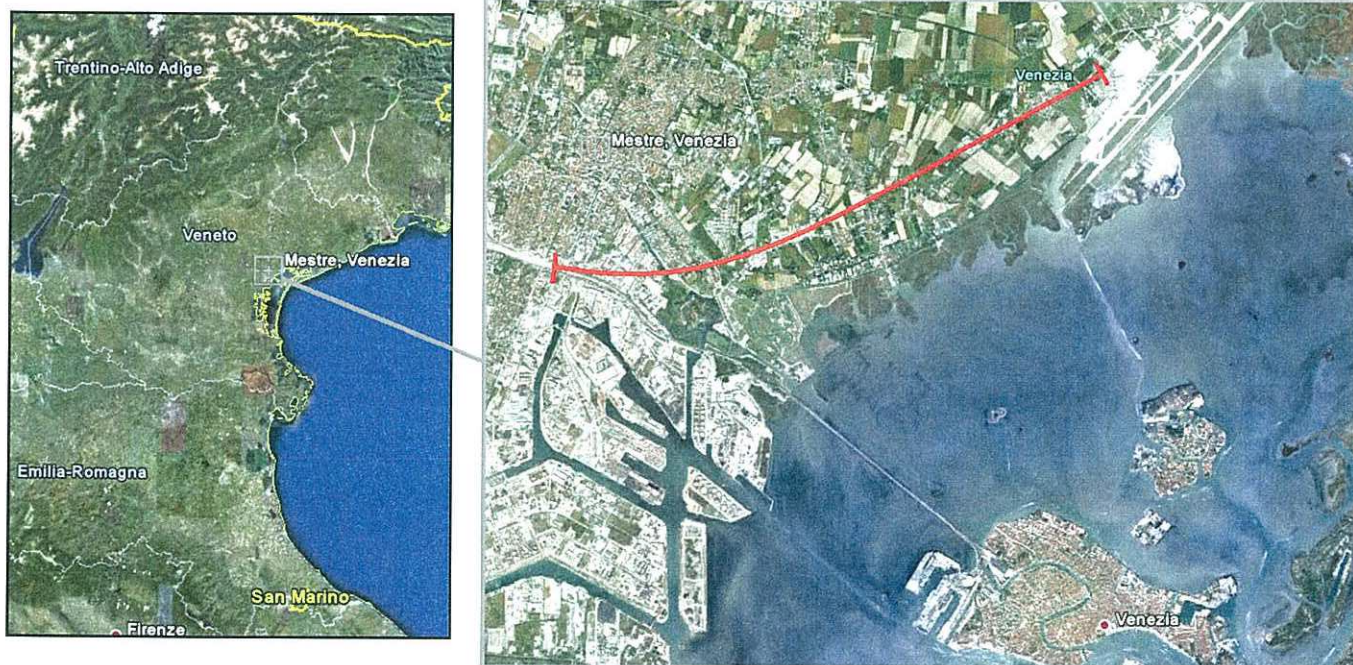


Fig. 1.1 – Foto da satellite (©2009Google) dell'area di intervento

	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 6 di 44

## 2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è illustrare i risultati della progettazione preliminare delle opere in sotterraneo della linea Venezia Trieste, tratta Mestre-Aeroporto. Gli obiettivi della progettazione preliminare sono stati i seguenti:

- definizione della geometria e delle caratteristiche tecniche delle opere;
- classificazione preliminare di terreni/rocce interessati dalla realizzazione delle gallerie;
- individuazione delle problematiche connesse al comportamento dei terreni/rocce in fase di scavo in funzione del quadro geologico, idrogeologico e geotecnico;
- individuazione delle interferenze con opere e strutture preesistenti in superficie e nel sottosuolo;
- definizione delle modalità realizzative (tradizionale e/o meccanizzato) e delle sezioni tipo di scavo;
- definizione, su base parametrica, dei tempi e costi di costruzione delle opere.

Nei successivi paragrafi, dopo aver illustrato la metodologia di lavoro, sono sviluppati i temi legati alla progettazione delle gallerie, con particolare riferimento alle problematiche geotecniche, agli aspetti realizzativi e ai requisiti in termini di sicurezza.



	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 7 di 44

### 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 Documenti Referenziati

I documenti referenziati, utilizzati come input per il presente documento, sono i seguenti:

- Rif. [1] U.O. Geologia, documento n° L343 00 R 69 RH GE0001 001 A “Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica”;
- Rif. [2] U.O. Geologia, documento n° L343 00 R 69 P5 GE0005 001 A “Planimetria di ubicazione indagini geognostiche tav 1 di 3 dal km 0+000 al km 3+000”;
- Rif. [3] U.O. Geologia, documento n° L343 00 R 69 P5 GE0005 002 A “Planimetria di ubicazione indagini geognostiche tav 2 di 3 dal km 3+000 al km 7+000”;
- Rif. [4] U.O. Geologia, documento n° L343 00 R 69 P5 GE0005 003 A “Planimetria di ubicazione indagini geognostiche tav 3 di 3 dal km 7+000 al km 9+182.709”;
- Rif. [5] U.O. Geologia, documento n° L343 00 R 69 SG GE0005 001 A “indagini geognostiche tratti esterni (gruppo1) da km 0+000 a km 1+400 e da km 5+650 a km 9+000 – sondaggi e prove penetrometriche”;
- Rif. [6] U.O. Geologia, documento n° L343 00 R 69 SG GE0005 002 A “indagini geognostiche tratti esterni (gruppo1) da km 1+400 a km 5+650 – sondaggi e prove penetrometriche”;
- Rif. [7] U.O. Geologia, documento n° L343 00 R 69 PR GE0005 001 A “indagini geognostiche tratti esterni (gruppo1) da km 0+000 a km 1+400 e da km 5+650 a km 9+000 – prove geotecniche di laboratorio”;
- Rif. [8] U.O. Geologia, documento n° L343 00 R 69 PR GE0005 002 A “indagini geognostiche tratti esterni (gruppo1) da km 1+400 a km 5+650 – prove geotecniche di laboratorio”;
- Rif. [9] U.O. Geologia, documento n° L343 00 R 69 IG GE0005 001 A “indagini geognostiche - geofisica–prospezioni geofisiche tipo cross-hole”;
- Rif. [10] U.O. Safety & Security, “Requisiti di sicurezza per la progettazione della galleria della tratta Mestre-Aeroporto”;

#### 3.2 Documenti Correlati

I documenti correlati, la cui lettura è consigliata per allargare la conoscenza dell’ambito nel quale si inquadra il presente documento, sono i seguenti:

- Rif. [11] U.O. Geologia, documenti di progetto.

#### 3.3 Documenti Superati

Non esistono documenti superati



	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 8 di 44

### 3.4 Documenti di riferimento per la progettazione delle gallerie

#### 3.4.1 Normative Cogenti

- Rif. [12] Decreto Ministero delle Infrastrutture 14/01/2008. “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”.
- Rif. [13] Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”.
- Rif. [14] Circolare 02/02/2009 n°617 C.S.LL.PP. “Istruzioni per l’applicazione delle “nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al DM 14/01/2008”.
- Rif. [15] Decisione del 21/12/2007 della Commissione dell’Unione Europea - 2008/164/CE - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente le “persone a mobilità ridotta” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità.
- Rif. [16] Decisione del 20/12/2007 della Commissione dell’Unione Europea - 2008/163/CE - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente “la sicurezza nelle gallerie ferroviarie” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità.
- Rif. [17] Decisione del 20/12/2007 della Commissione dell’Unione Europea - 2008/217/CE - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità.

#### 3.4.2 Raccomandazioni e linee guida

- Rif. [18] SIG, “Linee guida per la progettazione, l’appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997.
- Rif. [19] AFTES - Groupe de travail Tunnel support and lining. Recommendations for use of convergence – confinement method”.
- Rif. [20] ITA, “Guidelines for the design of tunnels”, 1988.
- Rif. [21] Lunardi P. “Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS”. Ed. Hoepli, 2006.

#### 3.4.3 Prescrizioni e specifiche tecniche di RFI

- Rif. [22] RFI, documento n. RFI DTC-ICI-PO SP INF 007 A. “Istruzione 44G. Istruzioni per l’applicazione delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.08 alla progettazione geotecnica delle opere ferroviarie”, 02/03/2010.
- Rif. [23] RFI Direzione Investimenti Ingegneria Civile, documento RFI-DIN-IC MA GA GN 00 001 B “Manuale di progettazione gallerie”, 2003.
- Rif. [24] RFI Direzione Investimenti Ingegneria Civile, documento RFI-DIN-IC\A0011\IP\2005\0001075 “Relazione Conclusiva Gruppo di Lavoro Nicchie in galleria”, 24/11/2005.

	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 9 di 44

#### 3.4.4 *Prescrizioni e specifiche tecniche di Italferr*

Rif. [25] Italferr, “Manuale di progettazione” ver.06, gennaio 2006.

Rif. [26] Italferr, documento n.XXXX 00 E IF MA 000000 001 A “Linee guida per la progettazione esecutiva delle gallerie naturali”, ottobre 1996.

Rif. [27] Italferr, documento n. XXXX 00 0 IF NR CE.00.00 001 A “Linee guida per il miglioramento della sicurezza nelle gallerie ferroviarie”, 01/10/97.

## 4 ALLEGATI

Il documento non è corredato di allegati:

## 5 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

I contenuti della presente relazione sono completati e arricchiti dai seguenti elaborati di progetto.

Rif. [28] U.O. Gallerie, documento n.° L343 00 R 07 F5 GN0100 001 A “Gallerie di linea - Profilo geotecnico e geomeccanico tav 1 di 2”

Rif. [29] U.O. Gallerie, documento n.° L343 00 R 07 F5 GN0100 002 A “Gallerie di linea - Profilo geotecnico e geomeccanico tav 2 di 2”

Rif. [30] U.O. Gallerie, documento n.° L343 00 R 07 WB GN0100 001 A “Gallerie di linea – Sezioni tipo di intradosso”

Rif. [31] U.O. Gallerie, documento n.° L343 00 R 07 WB GN0100 002 A “Gallerie di linea – Gallerie di linea – scavo meccanizzato-carpenteria anello”

Rif. [32] U.O. Gallerie, documento n.° L343 00 R 07 PZ GN0100 001 A “Gallerie di linea – Gallerie di linea Bypass di collegamento per gallerie a doppia canna – Pianta profilo e sezioni”

Rif. [33] U.O. Gallerie, documento n.° L343 00 R 07 PZ GN0100 002 A “Gallerie di linea – Gallerie di linea Pozzi di aggotamento – Pianta e sezioni”



	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 10 di 44

## 6 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione delle opere in sotterraneo ha riguardato la definizione della configurazione delle gallerie della tratta valutando le diverse alternative (gallerie a singolo fornice-doppio binario, gallerie a doppio fornice-singolo binario) nel rispetto delle normative in termini di sicurezza sulle gallerie ferroviarie Rif. [13] Rif. [16], e del documento Rif. [10], e la definizione degli aspetti strutturali e costruttivi delle gallerie.

La progettazione geotecnica e strutturale delle opere in sotterraneo è stata sviluppata nel rispetto della normativa vigente e in accordo con le prescrizioni e le raccomandazioni elencate nel paragrafo 3.4 “Documenti di riferimento per la progettazione delle gallerie”.

In accordo con il metodo ADECO-RS (Rif. [21]), la progettazione si è articolata nelle seguenti fasi progettuali:

- acquisizione degli elementi geologici e geomeccanici (fase Conoscitiva),
- individuazione del comportamento dell’ammasso allo scavo (fase di Diagnosi),
- scelta delle modalità realizzative e definizione delle sezioni tipo di scavo ed avanzamento (fase di Terapia)

Lo studio geologico, idrogeologico e geotecnico (Rif. [1]) ha permesso di definire in maniera adeguata alla fase preliminare della progettazione i seguenti aspetti:

- la litologia e la successione stratigrafica di terreni lungo il tracciato delle gallerie;
- i principali caratteri geomorfologici dell’area interessata dal tracciato;
- il quadro idrogeologico di riferimento;
- le principali caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati ed eventuali criticità in fase di scavo.

I risultati dello studio geologico sono stati esaminati ed interpretati allo scopo di individuare le principali problematiche progettuali legate alla realizzazione delle singole opere (fase di Diagnosi), individuando tra le soluzioni tecniche possibili, le migliori ai fini del rispetto dell’impatto sul territorio e ai fini dell’ottimizzazione di tempi e costi (fase di Terapia).

Sono stati, pertanto, definiti i metodi di scavo più idonee per le varie tratte, individuando, in funzione delle caratteristiche geotecniche dei materiali, dei fenomeni deformativi attesi e delle interferenze lungo il tracciato, anche la tipologia di interventi di consolidamento propedeutici allo scavo.



	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 11 di 44

## 7 ASPETTI GENERALI

### 7.1 Il tracciato di progetto

Il tracciato della tratta si sviluppa per circa 9 Km dalla stazione di Mestre (progr. Km 0+00) fino alla prevista fermata a ridosso dell'Aeroporto Marco Polo (progr. Km 9+039). E' compreso interamente nel comune di Venezia, nell'area di Mestre e attraversa in sotterraneo, parallelamente alla linea di costa, le campagne pianeggianti del margine lagunare a circa un chilometro dal mare.

Tranne il primo tratto all'uscita da Mestre, il tracciato si snoda all'interno di un corridoio scarsamente edificato lambendo, senza interferire, le aree più densamente abitate di Campalto e Villaggio Laguna.

Il territorio attraversato è pianeggiante e posto qualche metro sopra il livello del mare. Ne consegue l'andamento a "corda molle" del profilo altimetrico della linea che presenta un minimo a circa 34 metri di profondità a metà del tracciato.

E' presente un solo tratto allo scoperto, lungo circa 1 Km posto all'imbocco lato Mestre, di cui 500 m sono in trincea, mentre lato aeroporto la galleria artificiale sbocca direttamente del camerone della fermata.

Le gallerie artificiali complessivamente lunghe 1.5Km sono trattate in altre relazioni.

Oltre le gallerie artificiali il tracciato dei due binari si sdoppia in due gallerie naturali di 6.5km, oggetto delle presente relazione.

	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 12 di 44

## 8 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

### 8.1 Configurazione e sviluppo delle opere in sotterraneo

La scelta di due canne separate scaturisce da ragioni di sicurezza durante l'esercizio ferroviario (Rif. [10], Rif. [13] e Rif. [16]) e da vantaggi costruttivi.

Data la lunghezza della linea in sotterraneo, di circa 8000m, compresi i tratti in artificiale degli imbocchi, la scelta di separare i due binari in due gallerie distinte garantisce, in caso di incidente e di incendio in una galleria, il ricovero dei passeggeri nell'altra, evitando la realizzazione ogni 1000m di uscite di sicurezza. Il trasferimento dei passeggeri nella galleria non interessata dall'incendio è assicurato dalla presenza lungo linea dei by-pass di collegamento compartimentali (cfr. § 8.4), attraverso porte tagliafuoco, e dalla presenza di una ampia banchina di larghezza 170cm, che si restringe solo localmente, ogni 25m, in corrispondenza delle nicchie tecnologiche ed antincendio, garantendo comunque una larghezza minima di 120cm.

Lo sdoppiamento delle gallerie introduce inoltre dei vantaggi realizzativi; il diametro di scavo di una singola canna, pari a 9.4m, permette l'utilizzo di frese a pressione del fronte di largo impiego che hanno dimostrato eccellenti risultati sia di produzione che di sicurezza in, ormai, numerosissime realizzazioni. Una sola galleria a doppio binario richiederebbe una macchina a pressione del fronte con diametro di notevoli dimensioni di difficile disponibilità, e che comporterebbe rischi e cedimenti maggiori, viste le scarse coperture e le caratteristiche geotecniche dei terreni.

Rispetto all'intera tratta in sotterraneo, le gallerie naturali si sviluppano da progr. Km 1+571 a progr. Km 8+091, per complessivi 6520 metri. In corrispondenza di tali progressive i binari raggiungono simultaneamente l'interasse minimo (12m) e la profondità minima (12m rispetto al piano ferro, 5 metri rispetto alla calotta) che permette la biforcazione delle gallerie artificiali in due gallerie naturali distinte.

Oltre dette progressive i binari si allontanano ulteriormente fino a raggiungere un interasse costante tra le gallerie di 25m e si approfondiscono rapidamente nei primi metri, per poi proseguire con leggera pendenza fino al punto di minimo posto a circa 34m di profondità. Pertanto le coperture variano da 5 a 27m.

### 8.2 Sezioni tipo di intradosso

La sezione di intradosso progettato, è in accordo alla sezioni tipo del manuale di progettazione RFI/ ITALFERR, per semplice binario, scavo meccanizzato, Gabariti C, P.M.O. 5, e velocità di progetto  $V < 200$  km/h, con piccole modifiche per renderla compatibile con le traverse da 2.6m e l'eventuale successiva elettrificazione a 25kv.

Le modifiche consistono nella diminuzione del disassamento dell'asse binario rispetto all'asse galleria da 40cm a 35cm e nella riduzione della distanza tra p.f. e centro della galleria da 2.60m a 2.55m.

La sezione tipo di scavo per le gallerie di linea è circolare. Il diametro interno di 8.2m permette il transito di una sagoma di tipo C, P.M.O.5 con ampi margini di sicurezza. Il diametro di 8.2m è la misura minima per il rispetto di tutti i franchi elettrici e di armamento e fornisce un'area libera di circa 45mq, che assicura un adeguato livello di comfort per la velocità di progetto. La banchina è normalmente di 170cm e si riduce a 120cm, solo in corrispondenza delle nicchie per alloggiamenti tecnologici. Le banchine sono ricavate sul lato più vicino all'altra







### 8.3 Nicchie

Trattandosi di gallerie a doppia canna non sono previste nicchie di ricovero personale Rif. [24]; le opere di manutenzione vengono svolte in regime di sospensione dell’esercizio sulla canna in manutenzione, con banalizzazione del traffico ferroviario sulla canna adiacente.

Saranno previste solo nicchie tecnologiche di dimensioni adeguate alle esigenze impiantistiche delle gallerie. In particolare, il DM 28/10/2005 (Rif. [13]), richiede, tra i requisiti minimi, la presenza di idranti antincendio ogni 125 m, che potranno essere alloggiati all’interno delle nicchie realizzate con strutture prefabbricate in oggetto rispetto al rivestimento definitivo prefabbricato per evitarne la parziale demolizione .

### 8.4 By-pass trasversali

Sono previsti collegamenti trasversali (by-pass), ad interasse di 500 m aventi funzione di A.S.P. (Area di sosta provvisoria). La configurazione geometrica ad H (ovvero un collegamento con due gallerie distanti 20m + un cunicolo longitudinale), conferisce all’elemento le caratteristiche di “luogo sicuro”, così come previsto dal DM 28/10/2005 (Rif. [13]), con superficie in pianta pari a 100 m<sup>2</sup> (requisito integrativo). (Fig. 8.1)

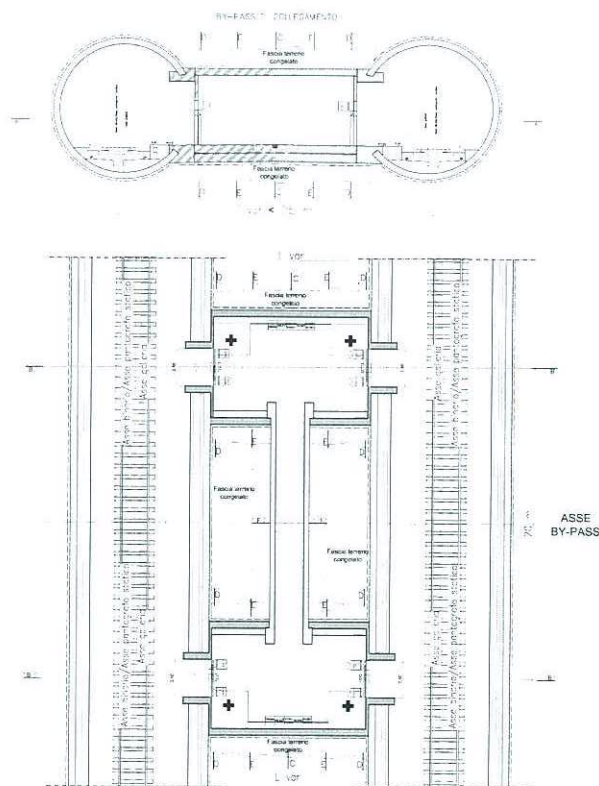


Figura 8.1 – Sezione e pianta dei cunicoli di by-pass nella galleria S.Michele.

Per limitare l’impatto sul rivestimento definitivo della galleria i vani di accesso dalla galleria hanno larghezza di 2.4m.

## 8.5 Pozzi

In corrispondenza del punto di minimo del tracciato, si prevede la realizzazione di un pozzo di aggettamento ubicato alla pk 5+297. Il pozzo (Fig. 8.2) è profondo circa 39m ed ha diametro interno finito di 3.4m. Il volume di accumulo è ricavato sul fondo del pozzo che è posto a profondità maggiore delle canalette di raccolta. Le acque destinate alla vasca sono quelle di eventuale infiltrazione per difetti costruttivi del rivestimento e le acque di piattaforma di galleria. Le acque piovane di trincea sono invece intercettate prima di essere convogliate in galleria. Il collegamento delle canalette alla vasca è realizzato con tubazione a spinta. Le vasche saranno attrezzate con pompe sommerse munite di galleggianti di ennesco automatico che sollevano l'acqua in superficie dove è collocata la vasca di lagunaggio.

I pozzi di separazione fumi sono invece realizzati all'interno delle gallerie artificiali di imbocco e sono trattati in altre relazioni.

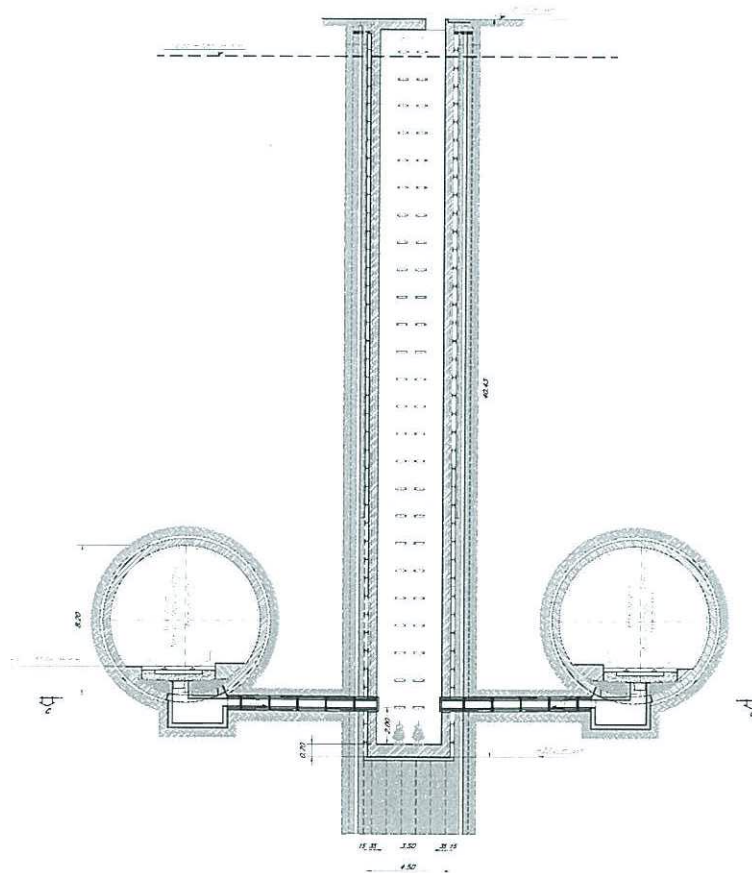


Fig. 8.2 – Sezione longitudinale del pozzo di aggettamento



LINEA AV/AC

PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L343	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	16 di 44

## 9 FASE CONOSCITIVA

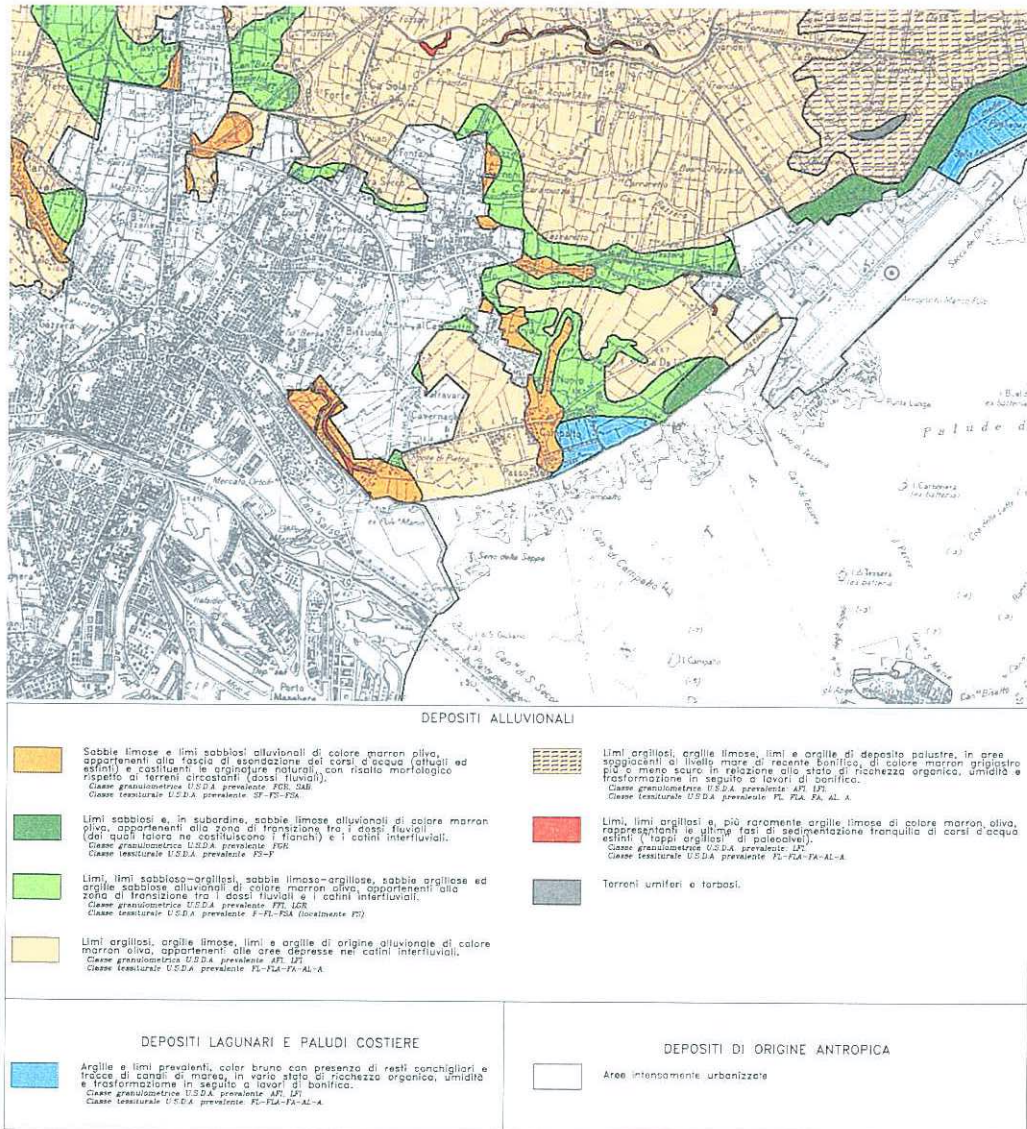
### 9.1 Inquadramento geologico e idrogeologico

Lo studio geologico, effettuato sulla base delle informazioni di letteratura, dei risultati di precedenti indagini e della campagna di indagini eseguita nell'ambito di questa fase di progettazione, ha condotto alla definizione di un quadro di riferimento adeguato per la progettazione preliminare delle opere in sotterraneo. Metodi e risultati dello studio geologico sono esaurientemente esposti e commentati nell'elaborato di progetto "Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica" ([Rif. [1]]).

#### 9.1.1 Caratteri litologici e stratigrafici

I terreni attraversati, ancorchè differenti per caratteristiche fisico-meccaniche, appartengono tutti alla medesima formazione geologica: le *Alluvioni del Brenta* (fig 9.1). Si tratta di terreni di natura alluvionale depositati in ambiente lagunare salmastro in epoca quaternaria.





**Figura 9.1 – Stralcio della Carta dei Sistemi Litologici – Studio Geoambientale del Territorio Provinciale di Venezia – parte centrale, Riviera del Brenta, Miranese e Veneziano (scala 1:50.000) (2003)**

Sono costituiti prevalentemente da alternanze molto variabili ed irregolari di limi sabbiosi e argillosi, limi argillosi e sabbie medio fini limose e argillose. Per questo motivo per la rappresentazione del profilo si è preferito ricorrere ad un profilo litologico individuando, al disotto del terreno vegetale e dei vari riporti (con spessore generalmente mai superiore a 2,00 m), sette ordini di livelli deposizionali. Questi vengono discriminati sulla base della predominanza di sedimenti più o meno coereni. Ove prevale la presenza di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, il livello viene definito *Incoerente*, ove al contrario prevalgono argille, limi, limi argillosi e torbe, il livello viene definito *Coerente*.

Il cavo della galleria raramente attraversa un unico livello deposizionale, interessando sedimenti di diversa consistenza.



Nel seguito sono riportate alcune foto dei carotaggi a profondità interessate dalla galleria (Fig. 9.2 e 9.3). Si notano in corrispondenza del sondaggio G05 dei livelli scuri torbosi. Sono riportate anche alcune curve granulometriche rappresentative dei terreni incontrati a livello della galleria (Fig. 9.4).



**Fig. 9.2 – Foto carotaggi a quota galleria (G02 - G07)**





**Fig. 9.3 – Foto carotaggi a quota galleria (G05 - G13)**





LINEA AV/AC

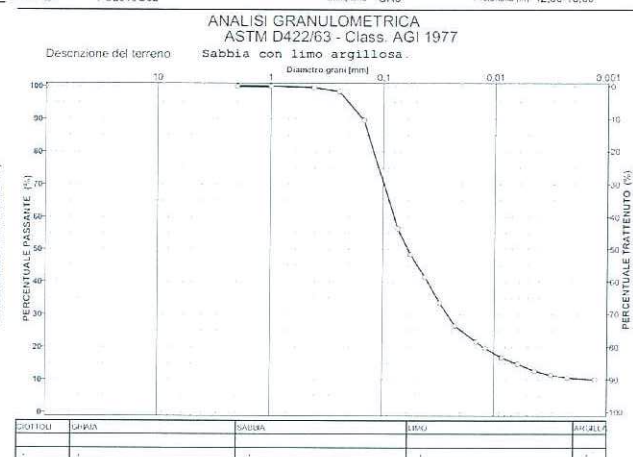
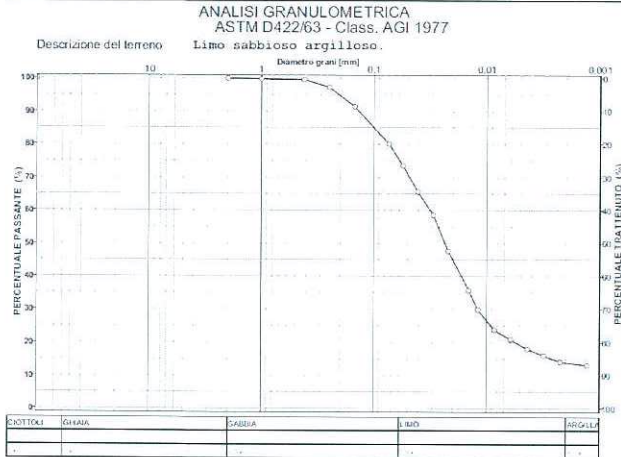
PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L343	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	20 di 44

N. VERBA ACCETTI / CAMP:	939/14	Data ricevimento:	14/09/2009	CERTIFICATO N.	27192 / GR	Data:	28/10/2009
		Data prelievo:	08/10/2009	Data inizio prova:	08/10/2009		
		Data apertura:	07/10/2009	Data fine prova:	13/10/2009	Pag.	1/1
COMMITTENTE:	ITALFERR SpA			COMMESSA:	087 / 2009		
CANTIERE:	Nuova Linea AV/AC Venezia - Mestre tratta Mestre Aeroporto Marco Polo						
Sondaggio:	PCL343G13	Campione:	CR3	Profondità [m]:	17.50-18.50		

N. VERBA ACCETTI / CAMP:	939/8	Data ricevimento:	14/09/2009	CERTIFICATO N.	27156 / GR	Data:	28/10/2009
		Data prelievo:	08/10/2009	Data inizio prova:	08/10/2009		
		Data apertura:	07/10/2009	Data fine prova:	10/10/2009	Pag.	1/1
COMMITTENTE:	ITALFERR SpA			COMMESSA:	087 / 2009		
CANTIERE:	Nuova Linea AV/AC Venezia - Mestre tratta Mestre Aeroporto Marco Polo						
Sondaggio:	PCL343G02	Campione:	CR3	Profondità [m]:	12.00-13.00		



N. VERBA ACCETTI / CAMP:	940/5	Data ricevimento:	14/09/2009	CERTIFICATO N.	26785 / GR	Data:	27/10/2009
		Data prelievo:	24/07/2009	Data inizio prova:	22/09/2009		
		Data apertura:	24/09/2009	Data fine prova:	02/10/2009	Pag.	1/1
COMMITTENTE:	ITALFERR SpA			COMMESSA:	087 / 2009		
CANTIERE:	Nuova Linea AV/AC Venezia - Mestre tratta Mestre Aeroporto Marco Polo						
Sondaggio:	PCL343G14	Campione:	CI2	Profondità [m]:	22.50-23.00		

N. VERBA ACCETTI / CAMP:	939/15	Data ricevimento:	14/09/2009	CERTIFICATO N.	27198 / GR	Data:	28/10/2009
		Data prelievo:	28/07/2009	Data inizio prova:	05/10/2009		
		Data apertura:	02/10/2009	Data fine prova:	08/10/2009	Pag.	1/1
COMMITTENTE:	ITALFERR SpA			COMMESSA:	087 / 2009		
CANTIERE:	Nuova Linea AV/AC Venezia - Mestre tratta Mestre Aeroporto Marco Polo						
Sondaggio:	PCL343G13	Campione:	CI3	Profondità [m]:	24.00-24.50		

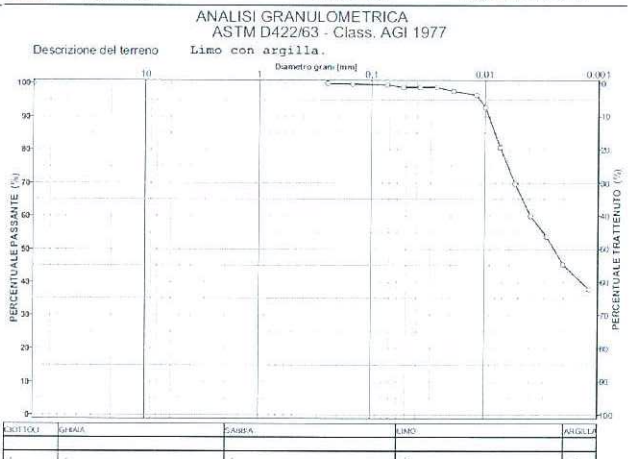
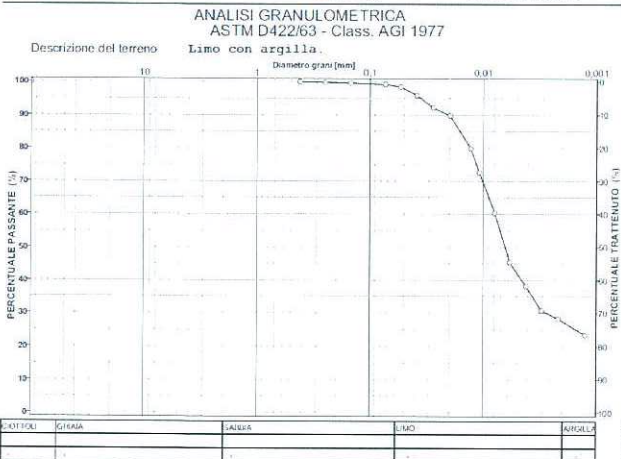


Fig. 9.4 – Curve granulometriche (G02 - G13 - G14)

### 9.1.2 Caratteri idrogeologici

I terreni sono sede di una falda la cui superficie piezometrica è a quota variabile entro 0-3 metri dalla superficie.

I livelli deposizionali incoerenti, caratterizzati da sedimenti con permeabilità (k) generalmente compresa tra  $10^{-6}$  e  $10^{-8}$  m/s, sono sede di circolazione idrica e fanno quindi parte del sistema acquifero della laguna.

I livelli deposizionali coerenti, al contrario, sono caratterizzati da sedimenti con permeabilità (k) inferiore a  $10^{-9}$  m/s e sono quindi praticamente impermeabili.

	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 21 di 44

I bassi valori di permeabilità, anche nei livelli sabbiosi sono dovuti alla presenza di materiale fino in percentuale sempre maggiore del 10%.

### 9.1.3 Criticità geologiche connesse con la realizzazione di opere in sotterraneo

La probabile presenza, sotto falda, di strati sabbiosi a permeabilità più elevata può rappresentare una criticità per gli scavi in sotterraneo. In questi casi, infatti, se non si ricorre a efficaci metodi di impermeabilizzazione e/o di drenaggio controllato preventivi si possono verificare pericolosi moti di filtrazione verso il fronte di scavo con trasporto di terreno. Come si dirà nel seguito l'uso di frese scudate a pressione del fronte permette di superare questa criticità, come ampiamente dimostrato da molteplici applicazioni in casi molto simili. Si dovrà tener conto di questa criticità nell'esecuzione dei By-pass e luoghi sicuri attraverso l'adozione di metodi di consolidamento che assicurino l'impermeabilità durante gli scavi.

Qualora, nelle successive fasi di indagine, fosse confermata la presenza di gas metano ( $CH_4$ ) (rinvenuto in uno dei sondaggi), in quantità e concentrazione pericolosa, si dovrà adottare una fresa di scavo con apparecchiature antideflagranti. Tale criticità è stata recentemente affrontata per fresa destinata alla realizzazione della variante di valico dell'autostrada A1

## 9.2 Indagini geotecniche

Nel corso della progettazione preliminare, per consentire l'identificazione e la caratterizzazione dei terreni lungo il tracciato, sono state condotte tra il 2009 ed 2010 due campagne d'indagine, con esecuzione di sondaggi, prove penetrometriche e prove cross-hole, ed eseguite prove di laboratorio su campioni indisturbati e rimaneggiati.

### 9.2.1 Indagini e prove in sito

Sono stati eseguiti complessivamente 16 sondaggi a carotaggio continuo, spinti fino a profondità massima di 45m. Tutti i sondaggi sono stati attrezzati con piezometri alcuni a tubo aperto altri di casagrande con due celle poste una in calotta e una nel cavo della galleria. In ogni sondaggio sono state eseguite prove SPT e prove Lefranc di misura della permeabilità

Sono state eseguite 18 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono.

L'ubicazione delle prove è contenuta in Rif. [1] e Rif. [2]. I risultati dei sondaggi e delle prove sono contenuti in Rif. [5] e Rif. [6].

### 9.2.2 Indagini e prove di laboratorio

Sui sondaggi, sono stati prelevati campioni di terreno indisturbati e rimaneggiati, successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio, per determinarne le caratteristiche fisico-meccaniche. Dai piezometri installati in alcuni dei sondaggi, sono stati inoltre prelevati campioni di acqua, successivamente sottoposti ad analisi chimiche per determinarne le caratteristiche e l'eventuale aggressività sui materiali che verranno utilizzati per l'impermeabilizzazione delle opere in progetto.

I risultati dei sondaggi e delle prove sono contenuti in Rif. [7] e Rif. [8].



	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 22 di 44

### 9.2.3 Indagini geofisiche

Sono state eseguite due prove geofisiche in foro di sondaggio con metodologia cross-hole per la misura dei moduli dinamici di deformazione.

I risultati delle dei sondaggi e delle prove sono contenuti in Rif. [9]

## 9.3 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

La caratterizzazione geotecnica per la progettazione preliminare di opere in sotterraneo è finalizzata all'individuazione delle problematiche geotecniche che la natura e le caratteristiche dei terreni pongono nella definizione delle soluzioni progettuali, all'individuazione delle criticità associate alle condizioni idrauliche del sottosuolo, all'esame delle condizioni di stabilità generale dell'area, prima e dopo la realizzazione delle opere in progetto. Il modello geotecnico del sottosuolo, sintesi della fase di caratterizzazione sopra descritta, è illustrato nel "Profilo geotecnico" di progetto Rif. [28] e Rif. [29].

### 9.3.1 Gallerie di linea

La variabilità delle caratteristiche dei terreni già descritti al cap 9.1 e la ridotta dimensione degli strati rispetto al diametro della galleria non permette di riconoscere tratti e sezioni con parametri geotecnici omogenei. In ogni caso, con riferimento ai terreni nell'immediato contorno della galleria, si possono individuare tratti con prevalenza di livelli *coesivi* o *incoerenti*, con i primi che prevalgono, lungo il tracciato, sui secondi (Rif. [28] e Rif. [29]). I livelli denominati "*incoerenti*" che corrispondono ai terreni con prevalenza della frazione sabbiosa presentano, comunque, una discreta componente limosa e argillosa che ne abbassa la permeabilità. Ciò nonostante, non si possono escludere strati più francamente sabbiosi lungo tutto il tracciato, anche all'interno dei livelli "*coesivi*" con permeabilità più elevata. Questa eventualità, unitamente alla presenza di una falda con pressioni fino a 3bar a livello della galleria, rappresenta il rischio geotecnico maggiore di cui deve tenersi conto nella scelta del metodo di scavo al fine di scongiurare pericolosi fenomeni di filtrazione con trasporto fino e sifonamento.

Le scadenti caratteristiche meccaniche dei terreni sabbiosi più superficiali possono costituire un ulteriore elemento critico in corrispondenza delle basse coperture e se ne dovrà tener conto soprattutto nelle zone di imbocco.

La presenza di gas, rinvenuto in un sondaggio, dovrà essere verificata nella successiva fase progettuale mediante specifiche indagini, volte a stimarne la quantità, tossicità e concentrazione in galleria durante lo scavo. Se fosse confermata una presenza di gas CH<sub>4</sub> (metano), se ne può stimare un livello del rischio basso, viste le profondità a cui verrà realizzata la galleria che lasciano prevedere la presenza di sacche non continue con modesta quantità.

#### 9.3.1.1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni

Dalle prove in sito e di laboratorio è possibile ricavare il seguente range di parametri per i terreni interessati dallo scavo della galleria.



Livelli	Angolo d'attrito $\varphi$ (°)	Coesione efficace (kPa)	Coesione non drenata (kPa)	Modulo di deformabilità E (MPa)
Coesivi	27-30	10-20	50-100	50-70
Incoerenti	33-35	0	0	50-70

I valori del modulo sono stati ricavati dalle prove geofisiche cross-hole come una frazione del 10% dei valori dinamici

	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 24 di 44

## 10 FASE DI DIAGNOSI: ANALISI DEL COMPORTAMENTO DEFORMATIVO ALLO SCAVO

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione. La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS (Rif. [21]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

I risultati dell'analisi del comportamento deformativo consentono di individuare gli interventi di precontenimento e/o di contenimento più idonei a garantire condizioni di stabilità della galleria in fase di scavo e a lungo termine.

### 10.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

Secondo l'approccio ADECO-RS (Rif. [21]) la previsione dell'evoluzione dello stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi, che forniscono indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine. Dati sperimentali e analisi teoriche hanno dimostrato che il comportamento della cavità è significativamente condizionato, oltre che dalle caratteristiche geometriche della galleria stessa e dai carichi litostatici, anche dalle caratteristiche di resistenza e di rigidità del nucleo d'avanzamento, inteso come il volume di terreno a monte del fronte di scavo. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tensio-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento, a cui consegue l'evoluzione verso condizioni di instabilità del fronte e del cavo. Se, invece, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, il nucleo stesso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato e quindi configurazioni di stabilità.

Sulla base di tali considerazioni, il comportamento del nucleo-fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente ricondotto alle seguenti tre categorie:

#### Categoria A: nucleo-fronte stabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità non supera le caratteristiche di resistenza dell'ammasso; in tal caso le deformazioni sono prevalentemente elastiche, di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente con la distanza dal fronte. Il fronte di scavo e il cavo sono stabili e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di stabilizzazione, se non localizzati e in misura ridotta. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

#### Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità, a seguito delle operazioni di scavo, raggiunge la resistenza dell'ammasso. I fenomeni deformativi tensionali sono di tipo elasto-plastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente. Nell'ammasso può prodursi una eventuale riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri residui. La risposta tensio-deformativa può essere opportunamente controllata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di



	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 25 di 44

consolidamento al contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso perché mantenga un comportamento stabile. Nel caso non si prevedano interventi, lo stato tensio-deformativo può evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in fase di realizzazione. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

#### Categoria C: nucleo-fronte instabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui, superata la resistenza del terreno, i fenomeni deformativi evolvono molto rapidamente in campo plastico, producendo la progressiva instabilità del fronte di scavo e un incremento dell'estensione della zona dell'ammasso decompressa e plasticizzata al contorno della cavità, con rapido decadimento delle caratteristiche meccaniche del materiale. L'espansione della fascia di materiale decompresso al contorno del cavo deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo, mediante interventi di preconsolidamento in avanzamento, che consentono di creare artificialmente l'effetto arco per far evolvere la risposta tensio-deformativa verso configurazioni di stabilità.

## **10.2 Determinazione delle classi di comportamento**

La valutazione del comportamento deformativo del fronte è stata condotta valutando il comportamento del fronte nelle condizioni geotecniche previste lungo il tracciato.

La presenza di livelli sabbiosi sotto falda e le basse coperture rendono facilmente prevedibile un comportamento instabile del fronte, senza l'ausilio di calcoli analitici. L'elevata disomogeneità non consente nemmeno di individuare con certezza tratti a comportamento completamente coesivo. Anche nelle sezioni in cui questi terreni prevalgono, la presenza di limitati strati sabbiosi in pressione può compromettere la stabilità globale, costituendo le vie di innesco di fenomeni di reflusso.

### ***10.2.1 Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo***

Sulla base delle precedenti considerazioni, lungo tutto il tracciato è opportuno prevedere, in questa fase, un comportamento di tipo C, senz'altro prevalente laddove i livelli incoerenti sono maggiormente frequenti.



	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 26 di 44

## 11 FASE DI TERAPIA: DEFINIZIONE DELLA METODOLOGIA DI SCAVO

Nella fase di terapia, sulla base delle indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi del comportamento deformativo allo scavo (fase di diagnosi), si individuano le modalità di scavo e gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine.

Nel caso in esame può essere attribuito un comportamento allo scavo instabile (comportamento di tipo C) su larga parte del tracciato e l'adozione di una doppia canna di lunghezza 6.5km indirizza decisamente la scelta verso lo scavo meccanizzato a pressione del fronte, che oltre a garantire tecnicamente le migliori condizioni di stabilità e di cedimento in superficie, rappresenta la soluzione più vantaggiosa sia in termini di costi che di tempi.

Per assicurare lo stesso livello di sicurezza, lo scavo tradizionale richiederebbe infatti costose e lente opere di consolidamento preventivo.

La tecnologia dello scavo a fronte in pressione è anche la migliore risposta ai rischi, prima richiamati, connessi alla presenza di terreni sciolti sotto falda. Il suo campo di applicazione comprende tutti i terreni presenti lungo il tracciato ed è quindi in grado di affrontare, senza incidere sulle fasi realizzative e sui tempi di costruzione, la variabilità delle condizioni geotecniche evidenziata dallo studio geologico.

Sono di seguito descritte le caratteristiche principali dello scavo meccanizzato con fronte in pressione individuato in fase di diagnosi e le tecniche di scavo delle opere complementari

### 11.1 Metodologia di scavo

#### 11.1.1 Metodo di scavo meccanizzato delle gallerie

Come evidenziato le gallerie saranno realizzate con scavo meccanizzato mediante l'impiego di TBM-S, cioè macchine scudate con testa rotante che permettono l'esecuzione del foro sull'intera sagoma prevista e la contemporanea messa in opera del rivestimento definitivo con processo ciclico di tipo industriale.

Sulla base del contesto geologico-idrogeologico in cui si sviluppano le gallerie naturali e delle preesistenze sotterranee e superficiali lungo il tracciato, si ritiene che la tipologia di TBM-S più idonea, in grado di offrire le migliori condizioni di realizzabilità, unite ad un'efficace riduzione di rischi connessi allo scavo, sia quella costituita dalla categoria di macchine a "fronte chiuso in pressione". In queste macchine tra la testa fresante e la canna, si interpone una paratia stagna, adeguatamente dimensionata per sopportare le pressioni previste in progetto, attraverso la quale transitano l'albero motore e il materiale fresato. Si realizzano pertanto due zone distinte e fisicamente separate, la prima detta anche camera di scavo o di lavoro nella quale è installata la testa fresante e si applica una contropressione attiva al fronte di scavo per contrastare la spinta del terreno e quella dovuta al carico idraulico, la seconda che costituisce il cantiere retrostante dove operano gli addetti ai lavori.

Le TBM di questa categoria sono di due tipi, Hydroshield ed EPB (Earth Pressure Balance Shield). la scelta finale del tipo di macchina da adottare sarà comunque fatta sulla base di una valutazione più ampia e approfondita delle problematiche progettuali da sviluppare nelle successive fasi di progettazione.

	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 27 di 44

Comunque, appare già abbastanza evidente che le condizioni sono molto favorevoli all'uso della tecnologia EPB. Le macchine EPB hanno avuto negli ultimi anni una notevole evoluzione ampliando sempre più il loro campo di applicazione fino a rappresentare la modalità prevalente di scavo a pressione del fronte.

Di seguito si riporta una breve descrizione dei due sistemi di scavo Hydroshield ed EPB.

### Hydroshield

Il funzionamento della macchina si basa sull'uso di una sospensione di bentonite o argilla in acqua che riempie una camera di lavoro pressurizzata penetrando nel terreno a formare una membrana impermeabile (filter-cake) che garantisce il trasferimento della contropressione al fronte di scavo (fig. 11.1). La pressione sui fanghi presenti nella camera di scavo viene esercitata da un cuscino d'aria in pressione presente tra la paratia sommersa e quella stagna della camera di scavo, nel terzo superiore. La ruota fresante scava il terreno e mischia simultaneamente il materiale fresato al fronte con la sospensione di bentonite; il materiale viene pompato tramite una condotta fino ad un impianto di separazione posto, generalmente, all'esterno del tunnel (fig. 11.2). Qui viene separato dalla sospensione e trasportato su mezzi (camion, treni, nastri) al sito di destinazione finale, mentre la sospensione di bentonite viene recuperata e immessa nuovamente nel circuito tramite una condotta di alimentazione. La sospensione di bentonite, quindi, oltre a svolgere la funzione stabilizzante è anche un mezzo di convogliamento del materiale scavato.

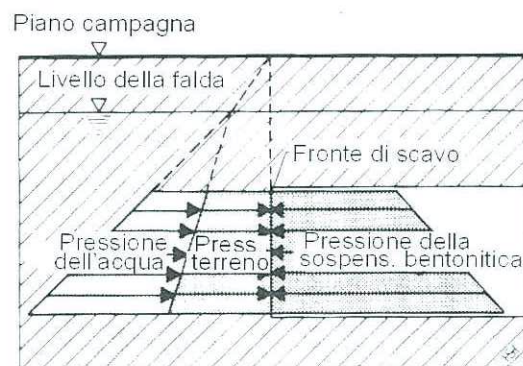
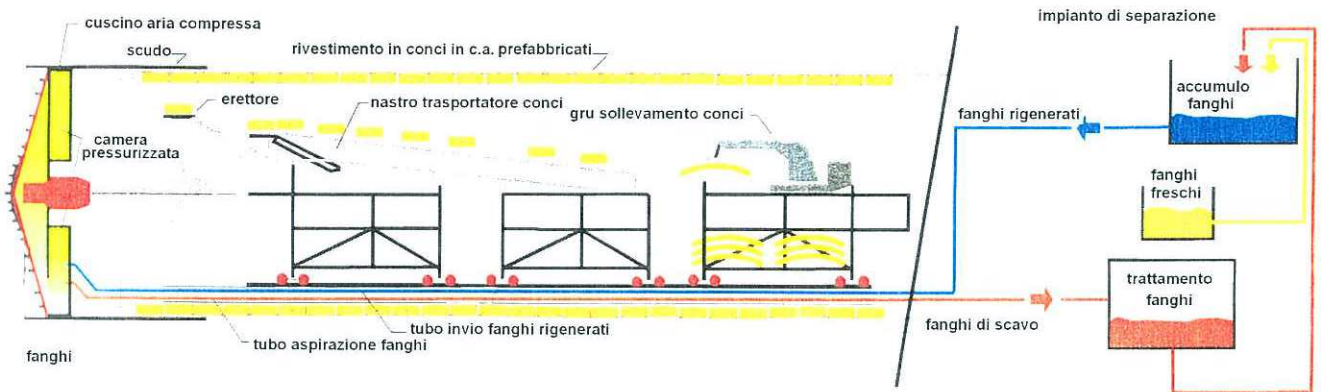


Fig. 11.1 - Principio della contropressione al fronte con fango bentonitico



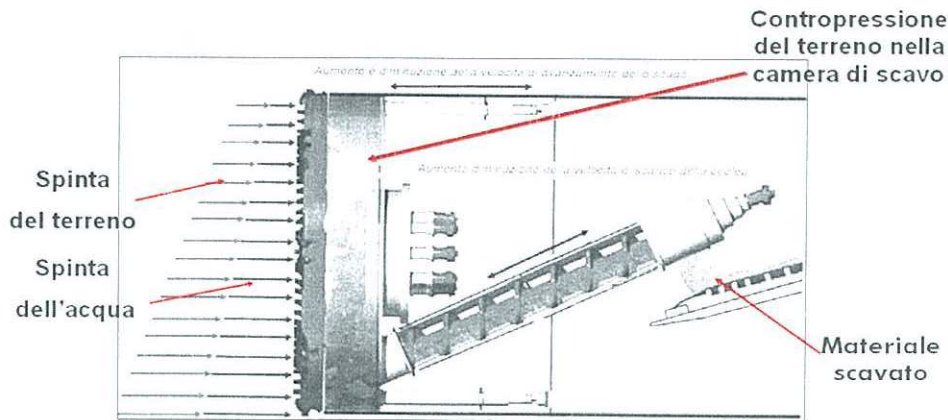


**Fig. 11.2 - Schematizzazione sistema Hydroshield**

### Earth Pressure Balance Shields (EPB-S)

Il sostegno del fronte avviene per mezzo dello stesso terreno scavato che è mantenuto in pressione all'interno della camera di scavo attraverso i martinetti di spinta dello scudo che trasferiscono la pressione al diaframma di separazione tra scudo e camera di scavo e quindi al terreno scavato (fig. 11.3). L'estrazione del terreno avviene per mezzo di una coclea che permette la riduzione progressiva della pressione da dove prosegue su nastri trasportatori, oppure su vagoncini su rotaia o su autocarri. Il sistema si basa sull'uso di agenti fluidificanti iniettati al fronte, in modo da liquefare o plasticizzare il terreno da scavare, impermeabilizzandolo e permettendo il sostegno del fronte di scavo anche in terreni incoerenti. Gli additivi, ecocompatibili, vengono iniettati tramite ugelli installati sulla testa fresante, all'interno della camera di scavo e della coclea. Il materiale fresato passa attraverso le aperture della testa e cade all'interno della camera di lavoro, detta "camera in pressione", nella cui parte inferiore è installata la coclea. La camera di scavo è dotata di ugelli per continuare il condizionamento del terreno e di barre fisse per il mescolamento ed omogeneizzazione l'impasto.

I martinetti di avanzamento che agiscono sul rivestimento prefabbricato, attraverso il diaframma in pressione, scaricano la spinta sul materiale fluidificato, posto all'interno della camera, il quale reagirà in modo idrostatico trasferendo la pressione sul fronte di scavo. Una serie di sensori di pressione controlla che la pressione della camera di scavo rimanga entro i limiti predeterminati e calcolati sulla base del carico del terreno sul fronte. Il materiale nella camera di scavo viene estratto da una coclea a vite a velocità regolabile in modo che il volume estratto sia equivalente a quello che entra attraverso la testa fresante e quindi mantenere costante la pressione nella camera di scavo. Per ottenere questo risultato di corretto bilanciamento delle pressioni al fronte occorre che tutte le variabili in gioco siano intercorrelate e controllate con continuità.



**Fig. 11.3 - Principio della contropressione al fronte con sistema EPB**

In questo tipo di macchine, come sopra accennato, l'ambiente di lavoro degli operatori è totalmente isolato dal terreno. Un setto d'acciaio, infatti, divide la camera di scavo dall'ambiente di lavoro degli operatori, che possono accedere al fronte, per eseguire ispezioni o interventi di manutenzione, solo attraverso una camera iperbarica, seguendo le procedure sanitarie previste per legge e previo svuotamento del terreno o dei fanghi dalla camera stessa. In tal caso il mantenimento della contropressione al fronte viene esercitata dall'aria compressa.

Nella fig. 11.4 è rappresentata schematicamente una TBM-EPB nella quale si possono distinguere le seguenti parti principali che generalmente caratterizzano una TBM scudata:

- la ruota fresante che porta gli utensili di scavo;
- il cilindro d'acciaio, detto scudo, di diametro pari a quello dello scavo che ha la funzione di sostegno e tenuta idraulica nel tratto di galleria dove non è ancora in opera il rivestimento in conci prefabbricati. Nello scudo sono installati gli organi di propulsione per l'avanzamento della macchina, costituito da martinetti idraulici longitudinali che, poggiandosi sull'ultimo anello di rivestimento messo in opera, per contrasto lo spingono in avanti;
- l'apparato di raccolta dello smarino dalla camera di scavo, tramite coclea, ed evacuazione all'esterno sotto forma solida, tramite nastri trasportatori, vagoni su rotaia o autocarri;
- il sistema di montaggio del rivestimento, realizzato da anelli in c.a. costituiti da elementi prefabbricati (conci), tramite un braccio meccanico (erettore). Ciascun concio è dotato di una guarnizione idraulica perimetrale in neoprene per sostenere il carico idraulico presente e garantire l'impermeabilità della galleria (Figg. 11.5 e 11.6). Il vuoto anulare che si crea tra il profilo dello scavo e l'estradosso dell'anello di rivestimento viene immediatamente riempito con miscele cementizie per fissare definitivamente l'anello al terreno e ripristinare le condizioni di equilibrio precedenti lo scavo.
- una serie di carri che seguono lo scudo sui quali sono installate le apparecchiature elettriche, idrauliche ed ausiliarie per il funzionamento del sistema.



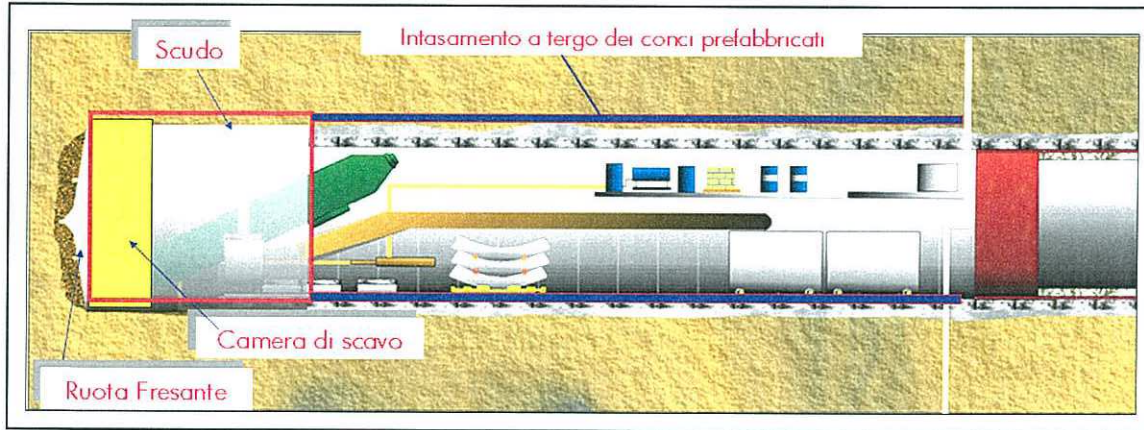


Fig. 11.4 – Schema di una TBM-EPB

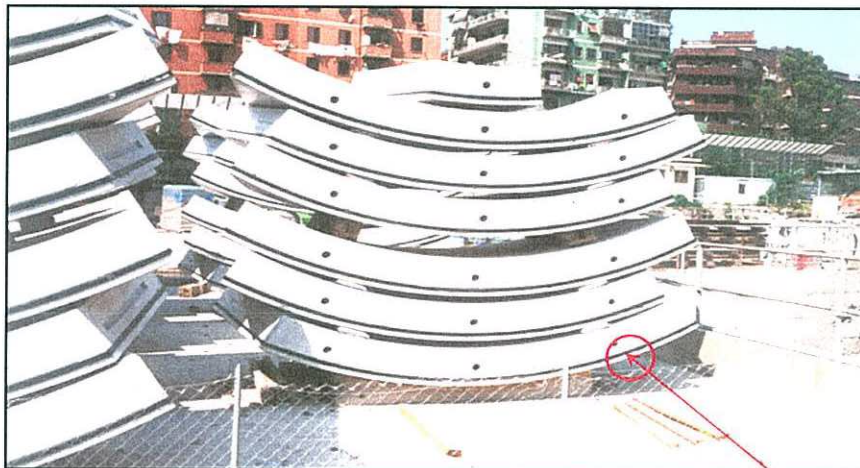


Fig. 11.5 – Conci prefabbricati con guarnizioni in neoprene a tenuta.

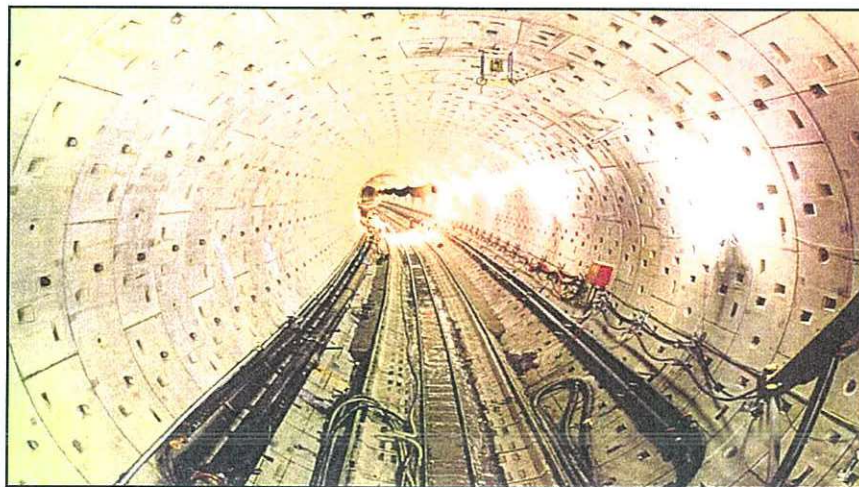


Fig. 11.6 – Rivestimento con conci prefabbricati.

	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 31 di 44

## Confronti

Con entrambi i sistemi di scavo pertanto è possibile esercitare un'azione di contenimento dell'estrusione del fronte e di contrasto del drenaggio dell'acqua, sia nel breve termine durante l'avanzamento, mediante la contropressione al fronte, sia nel lungo termine, montando un rivestimento definitivo costituito da anelli in conci prefabbricati dotati di guarnizioni idrauliche a tenuta (Fig. 11.5), garantendo in questo modo una ridotta interferenza con la falda acquifera. Entrambi i sistemi inoltre offrono un adeguato sistema di controllo e gestione della pressione di bilanciamento da applicare sul fronte.

A seconda della tipologia di macchina si possono evidenziare le seguenti principali peculiarità:

- nell'Hydroshield il contrasto sul fronte è esercitato da un mezzo liquido (fanghi bentonitici o acqua) tenuto in pressione da un cuscinio d'aria;
- nell'EPB la pressione al fronte è esercitata dallo stesso materiale scavato opportunamente trattato;
- nell'Hydroshield il prelievo viene effettuato tramite una circolazione idraulica del fluido in pressione
- nell'EPB si utilizza una coclea capace di graduare la portata di prelievo, conservando sul fronte la prescritta pressione di terra.

Le modalità di avanzamento dello scudo, di montaggio del rivestimento e di iniezione a tergo del medesimo sono identiche in entrambi i sistemi.

La scelta sulla tipologia di macchina in pressione da adottare è funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dagli scavi. Nel seguente diagramma (fig. 11.7) sono riportati i campi di applicazione delle macchine con fronte in pressione sulla base della granulometria dei terreni.



# Grain Size Distribution

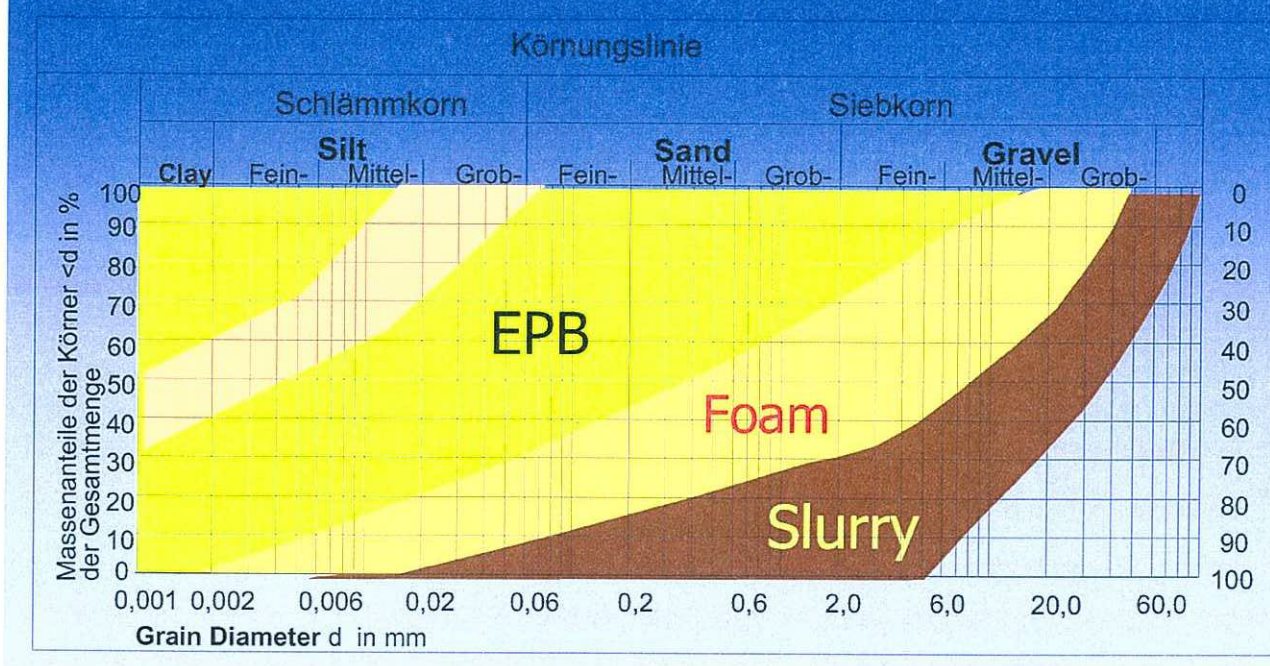


Fig. 11.7- Campi di applicazione delle macchine con fronte in pressione.

Confrontato il grafico con le curve granulometriche riportate nel cap. 9 si conferma quanto già detto sulla maggiore idoneità dell'EPB per lo scavo dei terreni della tratta che vanno da sabbie fini limose a limi argillosi.

## 11.1.2 Sezione tipo di avanzamento per scavo meccanizzato

La sezione tipo di avanzamento in scavo meccanizzato fa riferimento ad una configurazione standard per comportamenti d'ammasso C.

La sezione tipo ha le seguenti caratteristiche:

- diametro scavo: 9.3 m
- riempimento a tergo: spessore di 15 cm con miscela cementizia/miscela bicomponente iniettata dalla coda dello scudo
- tipologia anello: anello universale



RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
SOTTERRANEO	L343	00	R 07 RG	GN 00 00 001	A	33 di 44

- numero conci: 6+1
- spessore conci: 40 cm
- lunghezza conci: 1.5 m
- Rck: 45 MPa
- Armatura: incidenza 90 kg/mc
- Guarnizioni: neoprene o altro
- Collegamenti tra i conci: bulloni, barre guida, bi-block.]

Le sezioni strutturali utilizzate sono del tutto analoghe ad altre per le quali è stato verificato il soddisfacimento del requisito minimo R120 come prescritto nel Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie” (Rif. [13]). Verifiche di dettaglio saranno sviluppate nelle successive fasi progettuali.

### 11.1.3 Metodo di scavo opere complementari

Le opere complementari sono costituite dal pozzo di aggotamento delle acque di infiltrazione e dai by-pass adibiti a luoghi sicuri. E' previsto un by-pass alla progr. km 4+520 delle medesime caratteristiche, ma destinato ad accogliere apparecchiature tecnologiche.

#### 11.1.3.1 Pozzo di aggotamento

Prima dello scavo del pozzo si realizzeranno colonne compenstrate di consolidamenti mediante jet grouting al contorno e sul fondo, volti a sostenere le pareti di scavo ed a garantirne l'impermeabilità. Una volta stabilizzate le pareti, si procederà allo scavo per sottomurazione con getto per campi del rivestimento definitivo impermeabilizzato.

Giunti sul fondo del pozzo il collegamento alle gallerie verrà realizzato mediante infissione di tubi.

Al fine di evitare venute d'acqua in galleria, la demolizione dei conci della sezione per la realizzazione della camera d'arrivo del tubo-collettore in corrispondenza del pozzo d'aggotamento, sarà preceduta da un consolidamento del terreno al di sotto dell'arco rovescio, eseguito dall'interno della galleria mediante jet-grouting.

#### 11.1.3.2 I cunicoli di by-pass

I by pass verranno realizzati dopo l'esecuzione delle gallerie. Visto il rischio di incontrare terreni sabbiosi sotto falda, è prevista l'adozione della tecnica del congelamento artificiale dei terreni, allo scopo di realizzare condizioni di impermeabilità al contorno dello scavo e migliorare al contempo le caratteristiche dei terreni nella fase transitoria di realizzazione dei cunicoli (Fig. 11.9).

Il congelamento verrà attivato al contorno dei cunicoli, mediante sonde inserite in perforazioni eseguite da entrambe le gallerie, prima di procedere alla demolizione degli anelli di rivestimento prefabbricato delle gallerie.



	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 34 di 44

La fase di perforazione dovrà essere realizzata mediante preventer per ridurre i rischi di venute di materiale nel caso si intercettino livelli più sabbiosi. L'apertura degli anelli avrà sezione inferiore a quella del by-pass al fine di turbare il meno possibile le conzioni di continuità del rivestimento delle gallerie.

Mediante congelamento dovrà essere realizzato anche il cunicolo trasversale di collegamento tra i due By-Pass, dopo che entrambi sono stati scavati e rivestiti.

Effettuato lo scavo e lo smarino, si procederà alla posa in opera dei rivestimenti di prima fase, mediante spritz-beton e centine metalliche.

Tra il rivestimento provvisorio (calcestruzzo proiettato) e quello definitivo (calcestruzzo vibrato entro casseri) si prevede l'impermeabilizzazione completa dei by-pass. Solo dopo aver terminato il getto del rivestimento definitivo verrà staccato il sistema di congelamento.

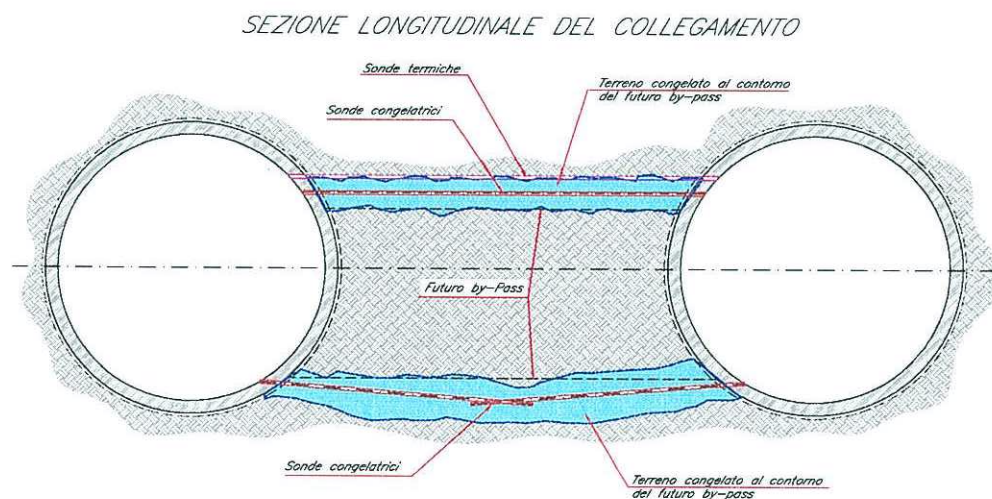


Figura 11.8- Schema dell'intervento di congelamento artificiale per i by-pass.

## 11.2 Rischi potenziali che incidono sulla realizzazione delle gallerie

Di seguito si descrivono le principali criticità, legate al contesto geologico, geotecnico e alle condizioni al contorno, che potrebbero avere ripercussioni sulla fase realizzativa delle gallerie, e si illustrano le relative possibili azioni di mitigazione o riduzione del rischio.

### 11.2.1 I cedimenti previsti in superficie

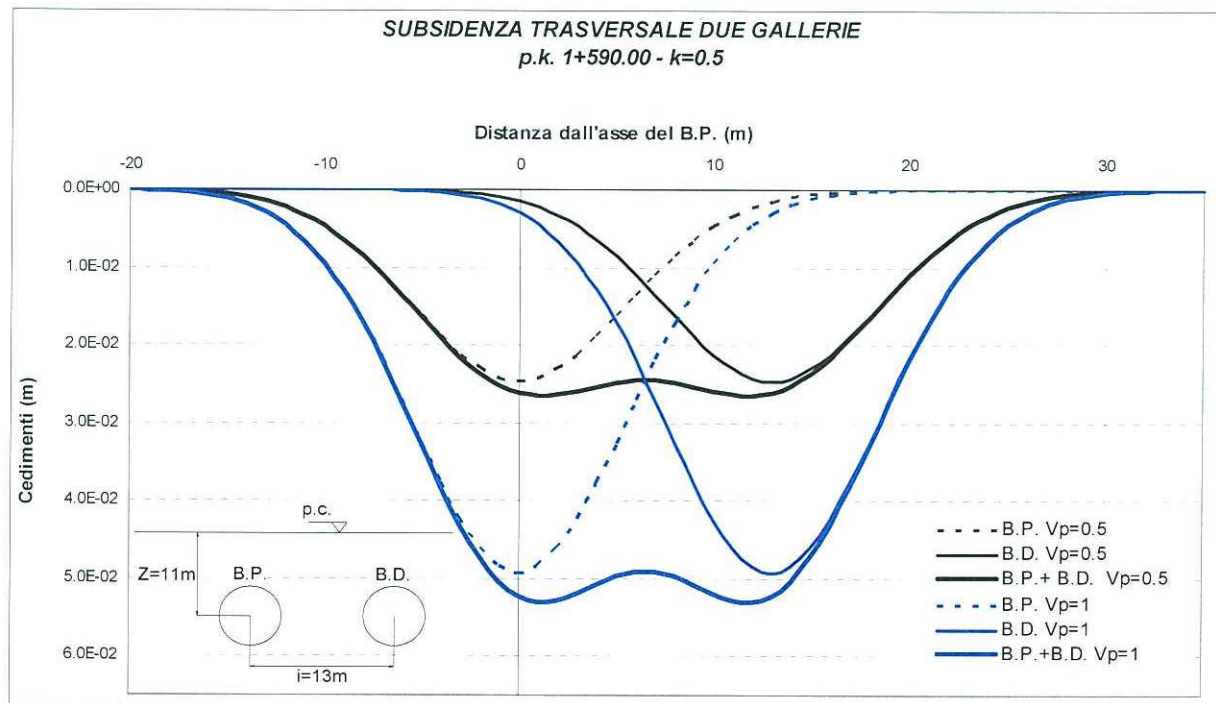
Trattandosi di una galleria superficiale in terreni sciolti si verificheranno cedimenti in superficie la cui entità è dipendente dalla profondità di scavo, dalle caratteristiche del terreno e dalla modalità di scavo.

I valori di questi cedimenti possono essere facilmente previsti sulla base della trattazione semi-empirica della curva di subsidenza di Peck.

Secondo questa trattazione i cedimenti in superficie hanno, in sezione trasversale, una distribuzione secondo una curva gaussiana i cui parametri dipendono “dal volume perso”, da un coefficiente di forma dipendente dal terreno e dalla profondità della galleria. Il volume perso rappresenta il volume sotteso da questa curva e dipende dalle modalità di scavo. Si esprime come una percentuale del volume di scavo. Più lo scavo avviene senza turbare le condizioni litostatiche originarie, più tale volume è piccolo.

In genere le macchine a pressione del fronte sono quelle che offrono in tal senso le migliori prestazioni, facendo registrare volumi persi inferiori allo 0.5%. Comunque, a vantaggio di sicurezza, è prassi effettuare le previsioni degli effetti di questi cedimenti con volumi persi dell'1%.

Si riportano nel seguito (da Fig. 11.9 a Fig. 11.12) i grafici dei cedimenti così calcolati per volumi persi “attesi” dello 0.5% e per volumi persi “di calcolo” dell'1% in corrispondenza di quattro diverse sezioni: una sezione con copertura minima al passaggio GA/GN lato Mestre; due sezioni in corrispondenza di edifici industriali a piano campagna; una sezione con copertura massima/corrente.



**Figura 11.9- Bacino di subsidenza p.k. 1+590.00.**



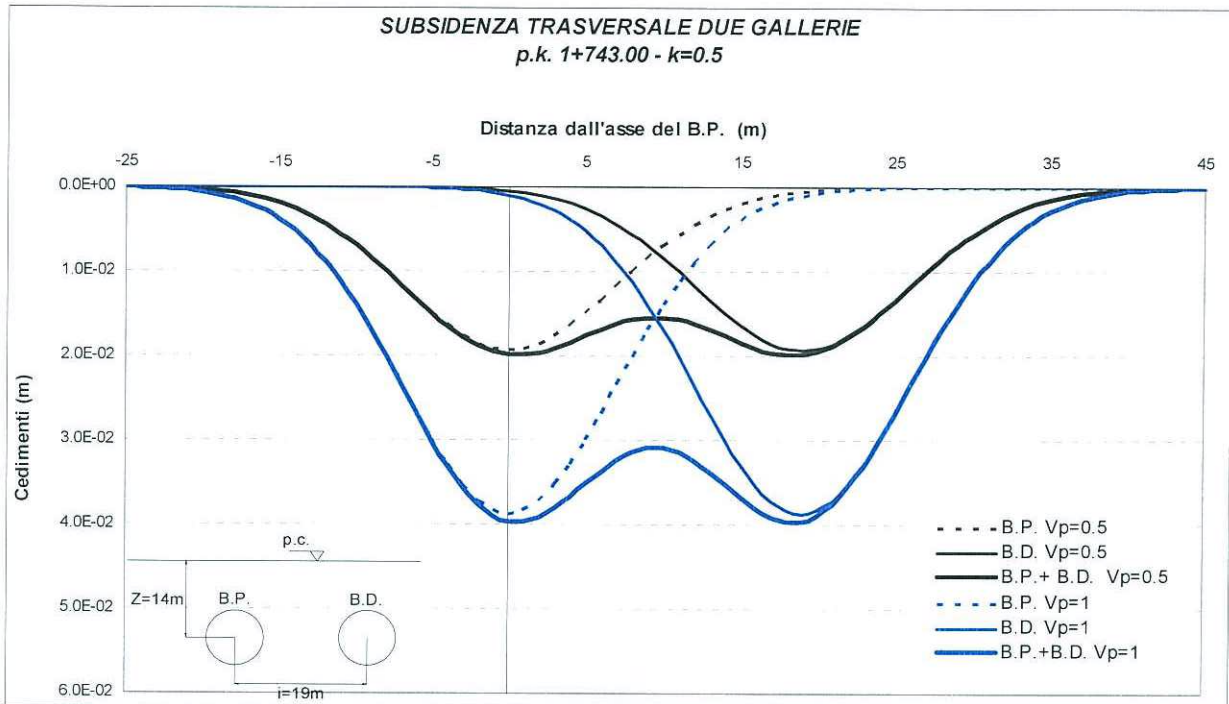


Figura 11.10- Bacino di subsidenza p.k. 1+743.00.

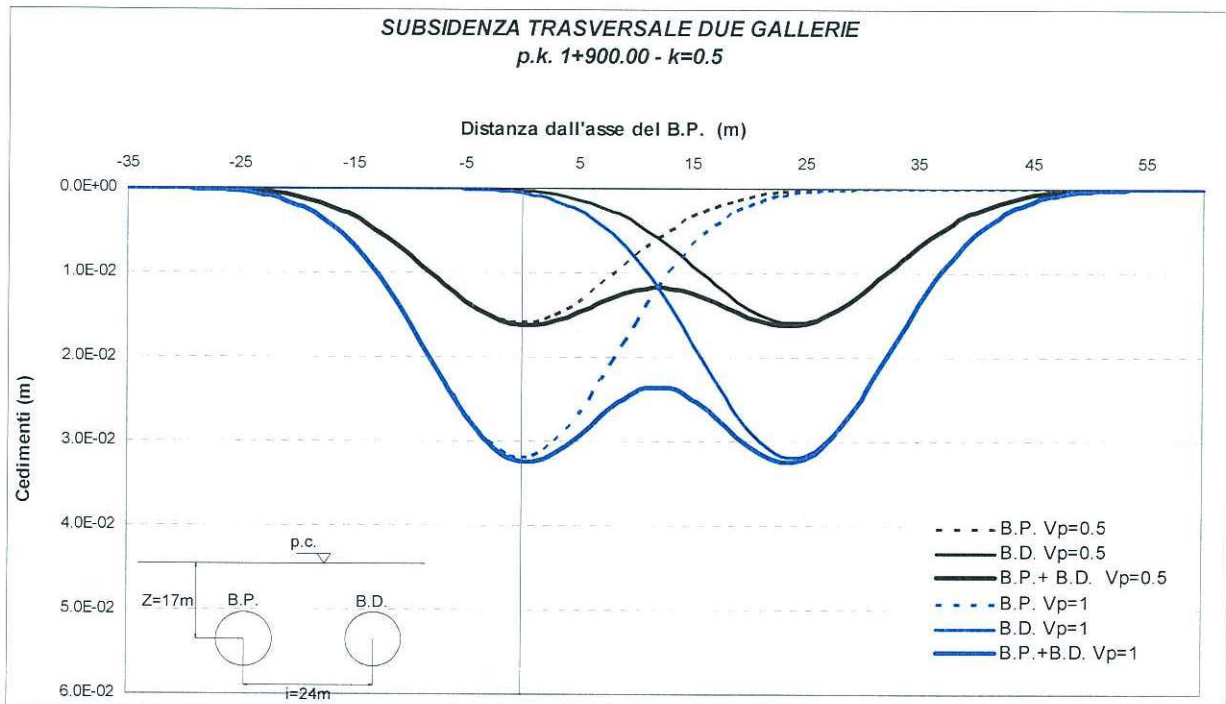


Figura 11.11- Bacino di subsidenza p.k. 1+900.00.

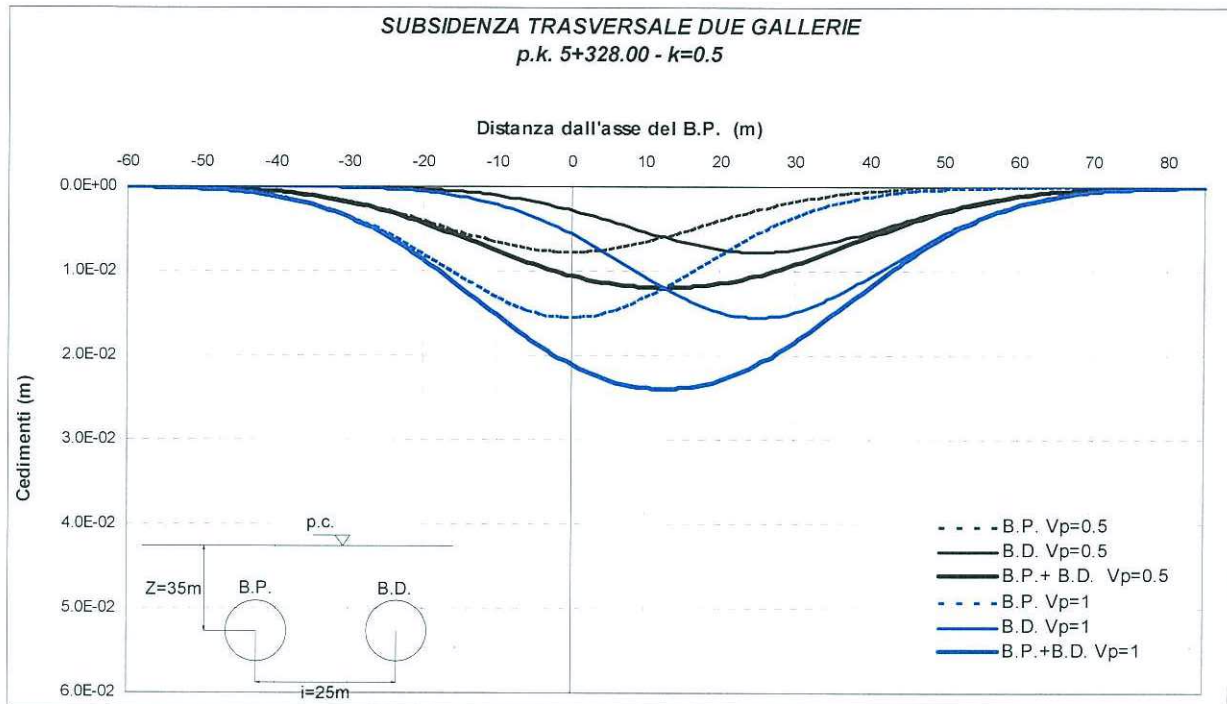


Figura 11.12- Bacino di subsidenza p.k. 5+328.00.

Si nota come, con l'aumento delle coperture, si abbia una diminuzione del cedimento massimo (da 5.3 cm a 2.5 cm circa) ed un allargamento del bacino di subsidenza (da 50 m a 100 m circa).

### 11.2.2 Interferenze con le preesistenze

La principale criticità è costituita dalla presenza di alcune costruzioni subito dopo l'imbocco di Mestre. Il resto del tracciato non ha invece interferenze particolari. I rischi di interferenza sono di due tipi:

- Danni causati dai cedimenti indotti dallo scavo;
- Potenziale interferenza fisica con eventuali strutture di fondazioni profonde

In questa fase non si possono definire i livelli di danno indotti e l'entità dell'interferenza in quanto mancano elementi conoscitivi delle strutture in elevazione e in fondazione e non sono noti con la sufficiente precisione (in mancanza di un rilievo di dettaglio) i rapporti geometrici della galleria con i fabbricati. Sarà compito della successiva fase progettuale acquisire detti elementi e formulare un giudizio più preciso sul destino delle opere interferite e su eventuali interventi di protezione. Potranno essere esaminate, nella successiva fase progettuale anche modeste modifiche di tracciato (nell'ambito di pochi metri) volte a evitare o ridurre dette interferenze.



	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 38 di 44

#### 11.2.2.1 Descrizione delle principali interferenze

Nella zona che segue l'imbocco della galleria naturale lato Mestre, le coperture vanno da un minimo di 5 metri (passaggio GA/GN) a 20m. La prima interferenza che si incontra a partire dal lato Mestre è costituita da un edificio per civile abitazione di 4 piani. Tale edificio è posto lateralmente alle gallerie e quindi potrebbe essere salvaguardato mediante opere di consolidamento, ma interseca nella parte finale il pozzo di imbocco. Nella successiva fase progettuale potrà essere valutata la possibilità di arretrare il pozzo di imbocco e sulla base di informazioni più precise sulle strutture potranno essere prese in considerazione interventi per evitarne la demolizione.

Proseguendo verso la fermata Aeroporto, i fabbricati interferenti sono per lo più edifici industriali. Per tali edifici l'analisi delle strutture di fondazione, prevista nelle successive fasi progettuali, sarà volta soprattutto ad appurare la presenza di eventuali fondazioni profonde che possono interferire con gli scavi. Nel caso in cui ciò si verificasse potrebbe essere sufficiente un leggero spostamento di tracciato per evitare l'interferenza.

Le considerazioni appena esposte possono essere applicate anche alla vasca dell'impianto di modulazione delle acque di pioggia di via Torino (vedi fig 11.14). Tale vasca infatti è costituita da diaframmi profondi fino a 35m dal piano campagna che in planimetria risultano molto vicini alla galleria. Qualora un rilievo celerimetrico dovesse far emergere un'interferenza fisica tra le opere, un modesto spostamento del tracciato permetterebbe di risolvere tale criticità.

Nelle figure 11.13 e 11.14 sono rappresentati la planimetria e una vista degli edifici interferenti.



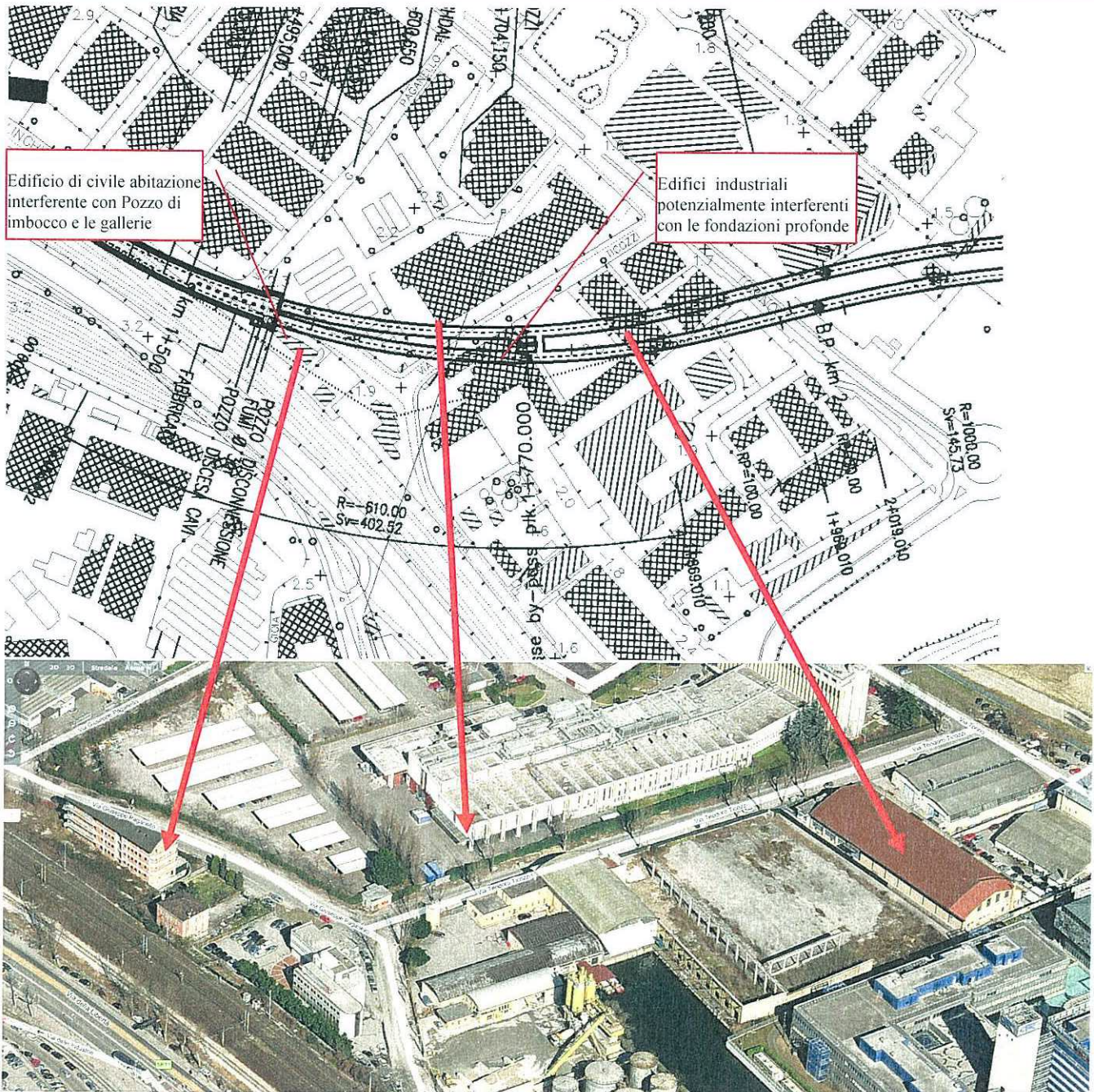


Figura 11.13- vista degli edifici interferenti imbocco lato mestre.



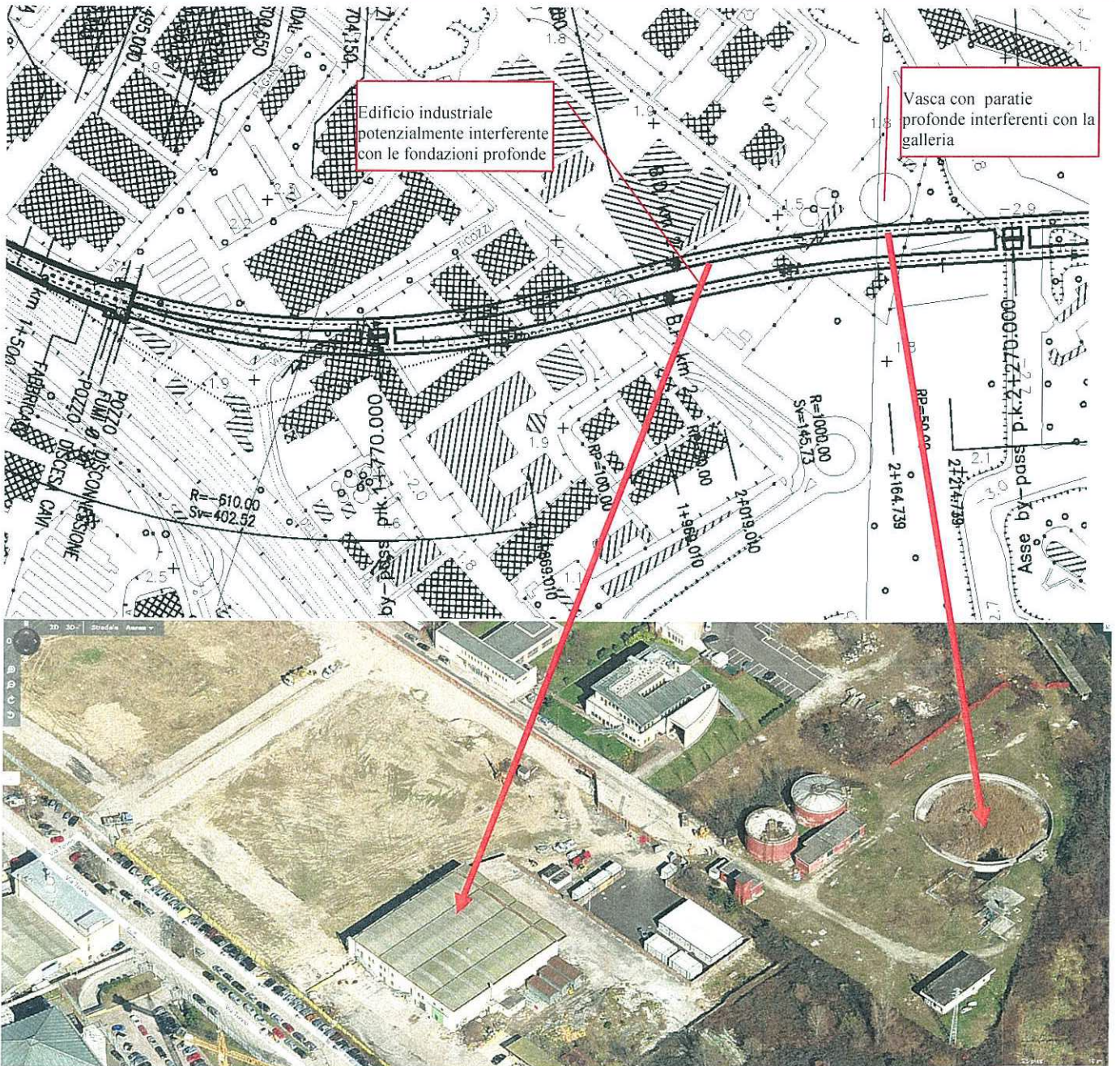


Figura 11.14- vista degli edifici interferenti imbocco lato mestre.



	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
<b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 41 di 44

### 11.3 Il monitoraggio per la fase realizzativa

Durante la realizzazione delle opere in sotterraneo si dovrà predisporre un adeguato sistema di monitoraggio, volto a verificare le scelte progettuali impostate in sede di progetto preliminare e rese esecutive, attraverso il dimensionamento di tutti gli interventi, nelle successive fasi di progettazione definitiva ed esecutiva.

Il monitoraggio in corso d'opera rappresenta un'attività di fondamentale importanza per il successo dello scavo delle gallerie superficiali, soprattutto in ambiente urbano. Ad essa bisognerà dedicare estrema attenzione nella progettazione esecutiva e, in corso d'opera, risorse adeguate per numero e competenza affinché i dati rilevati siano affidabili e efficaci alla sicurezza della costruzione dell'opera.

Il monitoraggio geotecnico dello scavo delle gallerie superficiali è volto al controllo di due principali insiemi di fenomeni correlati tra loro da un rapporto causa-effetto: attività di scavo e i risentimenti in superficie. Da una parte si misurano le cause (monitoraggio al fronte di scavo) e dall'altra gli effetti (monitoraggio dei cedimenti in superficie e sulle opere preesistenti). Le misure devono essere effettuate e interpretate in maniera più rapida possibile per verificare che gli effetti siano contenuti all'interno di limiti di accettabilità prestabiliti e, qualora tali limiti siano in procinto di essere superati, valutare tempestivamente le azioni da compiere per agire sulle cause che li determinano.

Pertanto il progetto del monitoraggio delle successive fasi (definita e esecutiva) sarà suddiviso in due parti: la prima riguardante il controllo delle lavorazioni al fronte di scavo (monitoraggio interno) e la seconda riguardante gli effetti dello scavo (monitoraggio esterno).

#### 11.3.1 *Monitoraggio interno*

Il monitoraggio interno ha come scopo il controllo della buona esecuzione delle lavorazioni di scavo, attraverso l'analisi e l'elaborazione dei dati provenienti dai vari sensori di cui la macchina è fornita.

I parametri di maggior importanza da cui dipendono i detensionamenti e quindi le deformazioni in superficie in caso di non corretta esecuzione sono:

- la pressione al fronte
- le pressioni e i volumi di delle miscele di intasamento.

Di notevole importanza per prevenire fenomeni di instabilità è il controllo dei volumi e dei pesi di materiale estratto dal fronte. Allo scopo le frese devono essere dotate di bilance e di scanner sui nastri per la misura dei pesi e dei volumi. Queste misure vanno associate costantemente all'avanzamento del fronte per verificare il bilancio tra materiale scavato e materiale estratto. Nel caso di sopravanzo del materiale estratto rispetto a quello scavato, segno di risucchio di terreno da zone intorno al fronte, devono essere attivati allarmi per arrestare il fenomeno. Questi ed altri parametri devono essere trasmessi in tempo reale sia nella cabina di comando che in altre sedi dove devono essere analizzati costantemente su tutti i turni da personale adeguatamente istruito e competente.

E' necessario inoltre prevedere la disposizione di alcuni anelli strumentati in modo tale da poter valutare lo stato tensionale nel rivestimento.



	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 42 di 44

### 11.3.2 Monitoraggio esterno

Le deformazioni del terreno e i conseguenti cedimenti della superficie del piano campagna sono i principali effetti dello scavo delle gallerie superficiali. Il monitoraggio esterno è volto prevalentemente al controllo di questi effetti e alle relative conseguenze sulle opere preesistenti.

Assume in questo caso molta importanza anche la misura delle variazioni delle pressioni dell'acqua nell'intorno della galleria.

Nelle successive fasi progettuali dovranno essere individuate:

- le grandezze fisiche da monitorare;
- la strumentazione da installare e la sua collocazione;
- le frequenze di misura;
- la definizione di parametri significativi al controllo;
- l'elaborazione dei dati per il calcolo dei parametri;
- I limiti di accettabilità e le soglie di intervento;
- azioni da compiere al superamento delle soglie;

Qui si pone l'attenzione sul fatto che il principale parametro di controllo a cui dovranno essere associate le soglie e quindi delle azioni al loro superamento è il "volume perso". Esso è associabile alla qualità dello scavo. Tutte le misure devono essere convogliate verso una unità di raccolta ed elaborazione che con l'ausilio di un supporto informatico provvede a calcolare i parametri e a confrontarli con i valori di soglia. I dati, validati, devono quindi essere trasmessi sottoforma di grafici immediatamente interpretabili alla direzione lavori, all'ufficio tecnico dell'Appaltatore, al committente ed eventualmente ad altri utenti preposti al controllo.

## 12 PROGRAMMA DI INDAGINI PER LE SUCCESSIVE FASI DI PROGETTAZIONE

### 12.1 Indagi geotecniche

La conoscenza dei terreni raggiunta in questa fase è nelle linee generali già molto soddisfacente. Nelle successive fasi progettuali, saranno necessarie indagini mirate volte a valutare le condizioni geotecniche di dettaglio in corrispondenza di opere particolari.

E' il caso dei by-pass, per i quali è previsto il congelamento come intervento di consolidamento ed impermeabilizzazione. E' molto importante accertare per ognuno di essi i valori di permeabilità nei singoli strati, soprattutto in arco rovescio dove è più difficile collocare le sonde congelatrici. Le indagini potrebbero suggerire piccoli spostamenti dei by-pass per collocarli laddove, in arco rovescio, si incontrano terreni limosi e argillosi a più bassa permeabilità.

Dovrà essere eseguita una campagna di sondaggi ad hoc per il rilievo dei gas, per misurare la loro composizione e la loro quantità.

### 12.2 Censimento strutture interferenti

E' necessario censire le opere interferenti acquisendo, dove disponibile, la documentazione di progetto delle opere di fondazione. Dove esistono incertezze è necessario eseguire un rilievo celeremetrico di dettaglio per collocare le strutture di fondazione nel giusto rapporto geometrico con la galleria e valutare, di conseguenza, l'eventuale spostamento di tracciato o opere di difesa.



	LINEA AV/AC					
	<b>PROGETTO PRELIMINARE – TRATTA Mestre – Aeroporto M. Polo</b>					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA L343	LOTTO 00	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 44 di 44

### 13 CONCLUSIONI

La relazione ha illustrato il progetto preliminare delle gallerie naturali previste nella tratta Mestre Aeroporto compresa nella nuova linea AV/AC Venezia Trieste.

Per esigenze di sicurezza durante l'esercizio ferroviario (Rif. [10]) e per vantaggi costruttivi, si è scelta, per tali gallerie, la configurazione a doppia fornice a singolo binario con collegamenti trasversali ogni 500 m. Le due gallerie, di diametro interno pari a 4.10m, sono affiancate ad interasse massimo di 25m ed hanno una lunghezza di circa 6.5km.

Il progetto è stato condotto secondo le regole di progettazione proprie del metodo ADECO-RS. L'analisi delle condizioni geologiche e geotecniche dei terreni interessati dallo scavo (fase conoscitiva) e delle relative criticità legate alla realizzazione dell'opera (fase di diagnosi), ha portato alla scelta del metodo meccanizzato con fronte in pressione per lo scavo delle gallerie (fase di terapia).

Nella relazione sono state analizzate anche le opere in sotterraneo complementari (by-pass, pozzo di aggotamento) individuando, per la loro realizzazione, delle soluzioni idonee al contesto geotecnico esaminato.

E' opportuno, nelle successive fasi progettuali, indagare nel dettaglio i terreni (in particolare in corrispondenza dei by-pass), mediante indagini geotecniche specifiche e reperire informazioni sui fabbricati interferenti, al fine di confermare ed eventualmente ottimizzare le scelte progettuali effettuate in questa fase preliminare.