

COMMITTENTE



COMUNE DI PALERMO
AREA INFRASTRUTTURE E TERRITORIO

PROGETTISTA

ATI:



(Capogruppo Mandataria)



DOMINIQUE PERRAULT
ARCHITECTE

METROPOLITANA AUTOMATICA LEGGERA DELLA CITTA' DI
PALERMO
PRIMA LINEA
TRATTA FUNZIONALE ORETO/NOTARBARTOLO

PROGETTO PRELIMINARE

METODI COSTRUTTIVI

RELAZIONE SUL SISTEMA DI SCAVO MECCANIZZATO E SPECIFICHE TECNICHE TBM

COMMESSA	FASE	COMPARTO	DOCUMENTO	REV	SCALA	NOME FILE
MPA1	PP	MCS	GNRS01	0	-	MCS_GNRS01_0.dwg

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	AUTORIZZATO	PROGETTISTA
0	AGOSTO 2006	EMISSIONE ELABORATI OPERE CIVILI PER CONSEGNA FINALE	Silvestri	Pedrazzi	Checchi/Di Nicola	Piscitelli	



1 PREMESSA

Per la realizzazione delle gallerie naturali della Metropolitana Leggera Automatica di Palermo è previsto l'impiego di due TBM (Tunnel Boring Machine), per lo scavo meccanizzato delle due canne. Le due frese sono previste scudate e con sostegno in pressione del fronte di scavo, con applicazione di un rivestimento impermeabile costituito da anelli di calcestruzzo realizzati in conci prefabbricati, il rivestimento deve poter essere messo in opera contemporaneamente all'avanzamento dello scavo.

Il tracciato delle due gallerie realizzate in scavo meccanizzato si sviluppa a partire dalla stazione Svincolo Oreto dove è prevista l'introduzione degli scudi delle due TBM, fino al manufatto di scambio compreso tra le stazioni Notarbartolo e Sciuti, al termine della prima tratta funzionale della metropolitana.

Le due canne affiancate corrono circa parallele, mantenendo un interasse variabile tra 15 e 30 m, tranne in corrispondenza del salto di montone della stazione Archimede, dove le due canne vanno a sovrapporsi.

La profondità delle gallerie rispetto al piano campagna è variabile lungo il tracciato, e generalmente compresa tra 15 e 20 m (valutata in asse gallerie), con valori massimi dell'ordine di 30 m in corrispondenza dell'attraversamento del fiume Oreto e della Stazione Archimede (per la canna sottostante).

Le due gallerie hanno un diametro interno che può variare da un massimo di 5.30 m ad un minimo di 4.70 m, in dipendenza della sagoma del materiale rotabile che verrà adottato.


In questa fase del progetto preliminare si è ipotizzato il massimo diametro interno di 5.30 m, eventuali affinamenti potranno essere sviluppati nelle successive fasi progettuali. Lo spessore del rivestimento in c.a. è in ogni caso pari a 30 cm, il diametro degli anelli di rivestimento all'estradosso è quindi pari a 5.90 m. Ogni anello del rivestimento, di lunghezza pari a 1.20 m, è costituito da sei elementi più un concio di chiave, di dimensioni più piccole rispetto agli altri.

Le particolarità del tracciato e del progetto in generale hanno condizionato fortemente la scelta del metodo di scavo per le gallerie naturali, fino a condurre alla scelta dello scavo meccanizzato. Tra gli elementi discriminanti la scelta sono da evidenziare l'intensa urbanizzazione della città, la natura geologica dei terreni interessati dallo scavo e la presenza della falda acquifera, il cui livello è superiore a quello delle gallerie pressoché lungo l'intero tracciato dell'opera. Considerazioni più approfondite sui criteri di scelta del sistema di scavo sono riportate nel successivo cap. 2.

La TBM per lo scavo potrà essere del tipo "Slurry shield" o "EPB" o "Mixshield", le principali caratteristiche dei diversi tipi di macchine e le relative differenze sono illustrate in sintesi nel seguente cap. 3. In linea di principio e allo stato attuale delle conoscenze sui terreni interessati dallo scavo delle gallerie, tutti e tre i tipi di TBM sono utilizzabili per il progetto in esame. La scelta della macchina potrà essere valutata nelle successive fasi progettuali, e comunque l'Appaltatore sarà libero di operare una scelta diversa da quella riportata in progetto, dopo aver dimostrato di poter ottenere le stesse prestazioni in termini di sicurezza, di risentimenti in superficie, di impatto con l'esterno, e di produttività previste.

Entrando più nel dettaglio, nei cap. 4 e 5 sono riportate la descrizione e le specifiche tecniche rispettivamente di una macchina tipo "Slurry shield" e di una macchina tipo "EPB".

Nei successivi capitoli 6 e 7 sono riportate rispettivamente le specifiche tecniche riguardanti il rivestimento in conci prefabbricati e le iniezioni di intasamento a tergo dei conci stessi, generalmente valide per tutti i tipi di TBM impiegabili, a meno di specifiche indicazioni.

 CITTÀ DI PALERMO	Metropolitana automatica Leggera della città di Palermo. Prima linea Tratta funzionale Oreto-Notarbartolo.
	Relazione sul sistema di scavo meccanizzato e Specifiche Tecniche TBM

Infine il cap. 8 di questa relazione descrive il sistema di monitoraggio da prevedere a bordo della TBM, ad integrazione del sistema di monitoraggio installato in superficie. Anche in questo caso sono esplicitamente richiamati i differenti parametri di controllo da monitorare in funzione della diversa tipologia di fresa scelta.



2 CRITERI DI SCELTA DEL SISTEMA DI SCAVO

Lo scavo meccanizzato, attraverso l'impiego di una fresa a piena sezione, si è sempre più diffuso negli ultimi anni per la realizzazione di gallerie metropolitane in ambiti densamente urbanizzati. Questo sistema di scavo è stato utilizzato con successo in quasi tutti i tipi di ammassi rocciosi o terreni; negli ultimi anni si è inoltre assistito ad uno sviluppo sempre crescente delle tecnologie, che ha portato alla realizzazione e all'impiego di macchine di scavo di diametro anche superiore ai 15.00 m.

Viste le caratteristiche generali del progetto della Metropolitana Leggera Automatica di Palermo, il metodo di scavo meccanizzato è stato considerato come il sistema più idoneo in seguito alle seguenti considerazioni e valutazioni:

- ❑ ubicazione dell'opera in una zona ampiamente urbanizzata, con il tracciato che passa al di sotto di numerose preesistenze superficiali e interrato (edifici e infrastrutture),
- ❑ contenimento del fronte di scavo per evitare possibili instabilità del fronte stesso, legate alle condizioni geotecniche ed idrogeologiche dei terreni attraversati (presenza diffusa di terreni incoerenti sotto falda),
- ❑ superamento di tratte geotecnicamente "difficili" (alluvioni dell'Oreto e del Kemonia-Papireto),
- ❑ necessità di minimizzare i cedimenti indotti in superficie, tenendo conto di un patrimonio edilizio in alcuni casi in precarie condizioni statiche e di manutenzione,
- ❑ riduzione delle vibrazioni indotte in fase di scavo,
- ❑ realizzazione di una sezione di scavo circolare, più efficace dal punto di vista statico,
- ❑ la possibilità di utilizzare, per il rivestimento della galleria, conci prefabbricati in c.a. altamente resistenti, prodotti in stabilimento o comunque in condizioni controllate,
- ❑ maggiore velocità di avanzamento dello scavo e migliore profilatura del cavo rispetto allo scavo in tradizionale,
- ❑ minore impiego di manodopera e maggiori condizioni di sicurezza per il personale, sempre rispetto al sistema di scavo in tradizionale.

Sulla base di tali considerazioni lo scavo meccanizzato è stato preferito al sistema di scavo in tradizionale, ad una prima analisi dei dati disponibili sembra evidente che nel caso in esame sia opportuno il ricorso ad una fresa scudata a piena sezione con sostegno continuo del fronte, che impedisca detensionamenti del terreno e venute d'acqua di falda dal fronte. Per questo tipo di macchine lo scavo del fronte della galleria avviene per mezzo di una testa fresante situata all'interno di una camera chiusa e isolata dalle parti retrostanti della macchina di scavo; all'interno di questa camera viene mantenuta attiva una certa pressione necessaria al sostegno attivo dello scavo e al bilanciamento della pressione dell'acqua di falda. Una descrizione più dettagliata delle varie TBM con fronte in pressione è riportata nel seguente cap. 3, mentre nei successivi capp. 4 e 5 si riportano le specifiche tecniche relative ad una macchina tipo Slurry shield e una macchina tipo EPB.

In ogni caso la macchina di scavo e la testa fresante avanzano attraverso la spinta di opportuni cilindri di spinta che trovano contrasto sul retrostante rivestimento impermeabile in conci prefabbricati, messo in opera all'interno di uno scudo metallico che protegge la testa della macchina. Il rivestimento della galleria è costituito da conci prefabbricati in c.a. ad elevata resistenza; i conci sono messi in opera all'interno dello scudo mediante un erettore meccanico. Il rivestimento può essere del tipo "a conci universali", secondo un sistema ormai consolidato che consente, con un'opportuna forma geometrica di pochi conci tipo, sia di seguire la curvatura del tracciato che di correggere in maniera semplice ed immediata qualsiasi errore di disassamento della fresa.



Metropolitana automatica Leggera della città di Palermo.

Prima linea Tratta funzionale Oreto-Notarbartolo.

Relazione sul sistema di scavo meccanizzato e Specifiche Tecniche TBM

Successivamente al montaggio dei conci è previsto l'intasamento dello spazio anulare esistente tra l'estradosso del rivestimento ed il terreno mediante l'iniezione di malta cementizia, da eseguirsi appena dietro la coda dello scudo. Quest'operazione è necessaria a garantire un contatto continuo e uniforme tra il rivestimento e il terreno circostante. Dietro la testa fresante è infine presente il sistema di back-up che comprende motori, gruppi elettrogeni, trasformatori, compressori, impianto per l'aspirazione ed il filtraggio delle polveri, serbatoi e silos, le attrezzature e gli impianti di smarino, e tutto quant'altro occorra a servizio della fresa.

Per la velocità media d'avanzamento di una TBM di questo tipo, per analogia con frese di tipologia e dimensioni analoghe, possono prevedersi avanzamenti medi complessivi di ca. 10 metri per giorno lavorativo.



3 DIVERSI TIPI DI TBM

Una classificazione delle tecniche di scavo meccanizzato, delle tipologie di frese e dei criteri di scelta per l'adozione della macchina più adatta è stata negli ultimi tempi elaborata con grande chiarezza dall'AFTES (Association Francaise des Travaux en Souterrain), ed è riportata nelle Raccomandazioni dal titolo "Choosing Mechanized Tunnelling Techniques", del Novembre 1999.

La classificazione proposta nel suddetto documento per le macchine di scavo prevede 3 tipologie principali:

- macchine che non forniscono alcun tipo di sostegno immediato all'ammasso roccioso o al terreno circostante,
- macchine che forniscono un sostegno immediato "periferico" all'ammasso roccioso o al terreno (TBM "aperte"),
- macchine che forniscono un sostegno immediato "periferico" e "frontale" all'ammasso roccioso o al terreno (TBM "chiuse").

Le tipologie di TBM "chiuse" disponibili ad oggi sul mercato si differenziano essenzialmente per il sistema di sostegno fornito all'ammasso circostante. In generale si possono distinguere:

- TBM con sostegno di tipo meccanico,
- TBM con sostegno ad aria compressa,
- TBM tipo "Slurry shield",
- TBM tipo EPB (Earth Pressure Balance),
- TBM tipo "Mixshield".

Escludendo le prime due tipologie di macchina che non si ritengono adatte all'opera in esame per vari motivi (presenza di terreni sciolti di scarse caratteristiche meccaniche ed elevata permeabilità, presenza di falda idrica sull'intero tracciato, ecc.), nel seguito sono fornite maggiori indicazioni sugli altri tre tipi di TBM.

3.1.1 Slurry shield

Si tratta di macchine in grado di operare sotto falda all'interno di terreni con scarsa o nulla capacità di autosostentamento, in quanto riescono a controbilanciare le spinte esterne utilizzando fanghi a bassa densità ($12\div 14 \text{ kN/m}^3$) mantenuti in pressione. Questo tipo di macchina è denominata in Italia come fresa "a pressione di fanghi".

Il sistema è a tenuta idraulica; la tenuta è garantita da un insieme di guarnizioni poste sulla circonferenza dello scudo e, sul fronte, da una camera stagna all'interno della quale è presente fango bentonitico mantenuto ad una pressione tale da garantire la stabilità del fronte. La pressione del fango è regolata attraverso una sorta di "polmone" d'aria compressa (sistema europeo) o una serie di valvole (sistema giapponese). Il materiale scavato viene estratto direttamente attraverso il circuito del fango bentonitico. Quest'ultimo, a sua volta, è inviato all'interno di filtri, cicloni e decantatori per essere purificato dal materiale di scavo e rimesso nel ciclo.

Una rappresentazione schematica della parte anteriore di una TBM del tipo "Slurry shield" è riportata nella seguente figura 3.1.

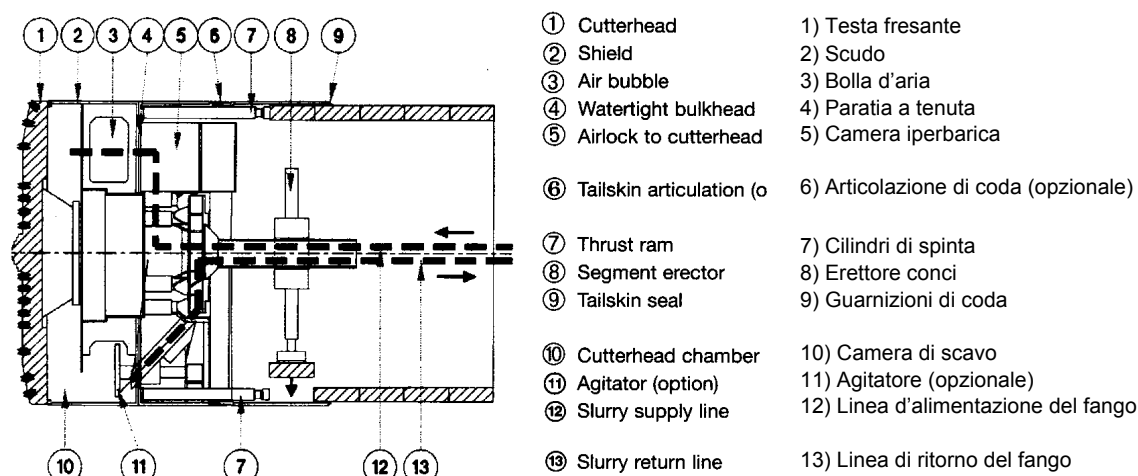


Figura 3.1: Schema di una fresa tipo “Slurry Shield” (sistema europeo)

3.1.2 EPB (Earth-Pressure Balance)

Nelle macchine tipo EPB, il mezzo di sostegno del fronte è costituito dallo stesso materiale di scavo, eventualmente miscelato ed impastato per mezzo di additivi e agenti schiumogeni (condizionamento del terreno). In Italia questo tipo di macchina è denominata come fresa “a pressione di terra”

La pressione è generata dalla spinta dei martinetti d'avanzamento unitamente al controllo della velocità di rotazione di una coclea, la cui testa è situata all'interno della camera stagna, e che provvede all'estrazione del materiale scavato dalla camera. Il marino viene quindi avviato allo smaltimento attraverso nastri trasportatori o altri sistemi.

La pressione esercitata sul fronte è controllata istante per istante operando sui pistoni idraulici dello scudo e sulla velocità di scarico della coclea, e mantenendo la condizione che il terreno asportato al fronte si muova uniformemente dalla camera di pressione al punto di scarico della coclea. Il funzionamento della macchina, che in avanzamento deve sostenere il fronte e contemporaneamente smarinare, viene gestito controllando il volume del materiale scavato e quello smarinato in modo che questi rimangano uguali, ad esempio controllando la quantità di materiale dal numero di giri della coclea.

Una rappresentazione schematica della parte anteriore di una TBM del tipo “EPB” è riportata nella seguente figura 3.2.

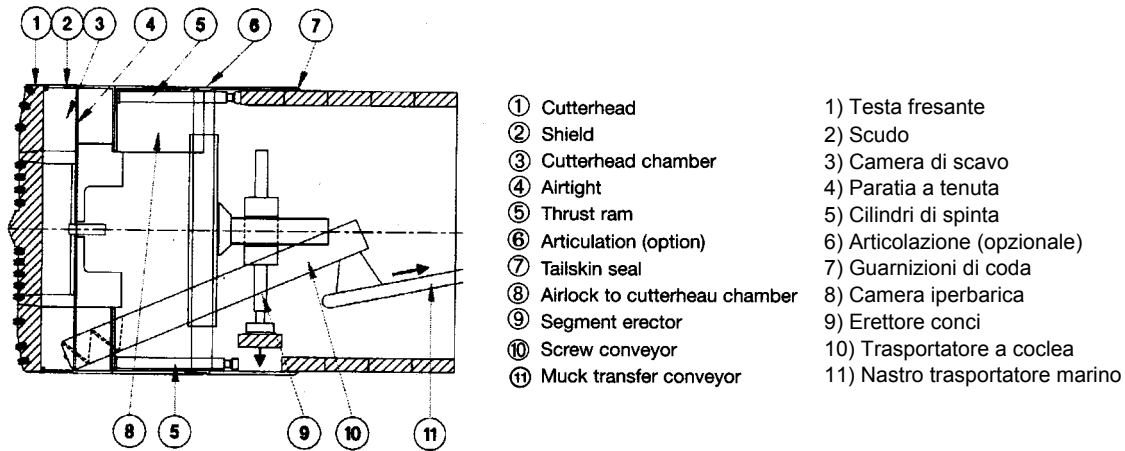


Figura 3.2: Schema di una fresa tipo “EPB”

3.1.3 Mixshield

Si tratta di macchine di scavo in grado di operare in condizioni geotecniche variabili, utilizzando diversi modi di funzionamento. Il principio e le tecniche di funzionamento sono le stesse delle TBM di tipo “aperto” e di tipo “chiuso”.

Le TBM “Mixshield” hanno quindi la peculiarità di poter lavorare sia in modalità “aperta” sia in modalità “chiusa”, secondo il tipo di materiale da attraversare. Attraverso una serie d’interventi e di modifiche alla configurazione della macchina, è dunque possibile introdurre la coclea o il circuito per il fango bentonitico, necessari alla stabilizzazione del fronte ed allo smarino del materiale scavato.

Tali frese consentono quindi lo scavo delle gallerie in caso di significative eterogeneità geologiche e idrogeologiche del sottosuolo. Tutte le combinazioni sono possibili per la tipologia Mixshield: bentonite (tipo Slurry Shield), pressione di terra (tipo EPB), pressione d’aria o scavo in modalità aperta.

In genere le macchine di questo tipo sono dedicate a gallerie con diametri elevati, in quanto le attrezzature necessarie ad operare in modalità diverse richiedono spazi elevati.

Una rappresentazione schematica della parte anteriore di una macchina tipo “Mixshield” (tratta dal catalogo Herrenknecht) è riportata nella seguente figura 3.3.

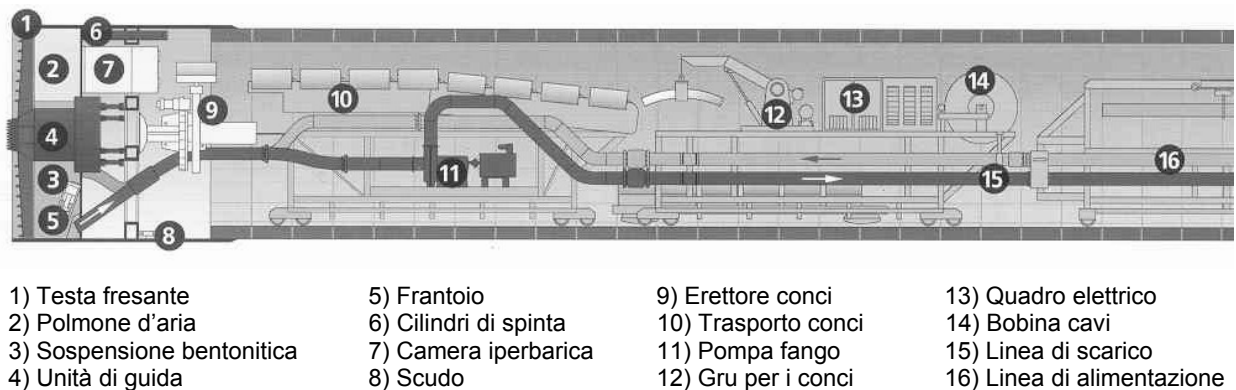


Figura 3.3: Schema di una fresa tipo “Mixshield”



4 IL SISTEMA DI SCAVO CON “SLURRY SHIELD”

La descrizione che segue vuole essere solo un'indicazione delle principali caratteristiche del sistema di scavo indicato; essa non è da considerarsi esaustiva in quanto la configurazione di una TBM tipo “Slurry Shield” può essere diversa da costruttore a costruttore, pur rimanendo invariate le sue caratteristiche principali.

4.1 REQUISITI

I requisiti e le specifiche indicate nei paragrafi presenti sono vincolanti ma non esaustive delle caratteristiche tecniche del sistema di scavo. L'Appaltatore dovrà fornire una macchina a regola d'arte, eventualmente implementando impianti, macchinari e attrezzature, che tengano conto dei requisiti e delle caratteristiche di seguito indicate, affinché sia garantita l'esecuzione dei lavori nel pieno rispetto della sicurezza e della funzionalità dell'opera.

La macchina di scavo dovrà possedere i seguenti principali requisiti:

- ❑ garantire in ogni momento la sicurezza degli addetti in tutte le fasi operative, nelle varie aree di lavoro, con particolare riguardo al verificarsi di situazioni critiche quali per es. l'eventuale sviluppo di incendio a bordo, lo sviluppo di gas nocivi, la rottura delle tubazioni del fluido di veicolazione, ecc.;
- ❑ garantire lo scavo in presenza di fronti misti ed eterogenei, con terreni di natura e di comportamento geotecnico differenti, anche sotto falda;
- ❑ garantire il superamento di eventuali zone a comportamento litoide non individuate nella fase di progettazione;
- ❑ garantire la stabilità del fronte sia in fase di scavo che durante fermi macchina di qualsiasi durata, attraverso l'impiego di una miscela bentonitica pressurizzata o aria compressa qualora si dovessero effettuare interventi nella camera di scavo;
- ❑ annullare, o comunque controllare e limitare eventuali assestamenti del terreno durante lo scavo, che possono avere ripercussioni in superficie in termini di cedimenti superficiali (in particolare il sistema di scavo dovrà garantire un valore di volume perso V_p inferiore allo 0.5%);
- ❑ minimizzare le vibrazioni in fase di scavo;
- ❑ garantire una corretta iniezione di intasamento a tergo dei conci contestualmente all'avanzamento della macchina, in grado di riempire completamente e stabilmente ogni eventuale vuoto tra concio e terreno;
- ❑ superare eventuali punti critici, anche quelli non individuati nella fase di studio geologico e caratterizzazione geotecnica come per es:
 - attraversamento di faglie,
 - rinvenimento di grossi trovanti,
 - attraversamento di terreni a comportamento plastico e spingente,
 - attraversamento di materiali dotati di scarsa cementazione e/o alta fratturazione;
- ❑ meccanizzare le fasi di scavo, di rivestimento in anelli prefabbricati in c.a. e d'intasamento a tergo dei conci, per ridurre i tempi di avanzamento e in piena sicurezza per gli addetti ai lavori, minimizzando le interruzioni delle operazioni di scavo;
- ❑ mettere a disposizione della DL e del Progettista tutti i dati opportunamente rilevati relativi ai parametri di scavo e ai parametri operativi della TBM, nonché alle deformazioni indotte sia in profondità che in superficie;
- ❑ permettere l'esecuzione di perforazioni esplorative in avanzamento fino a 40 m di profondità, l'attrezzatura di perforazione dovrà essere rapidamente operativa utilizzando



anche l'erettore dei conci;

- garantire le velocità di progetto, in ogni situazione geologica e operativa, pari a 10-12 m/giorno lavorativo sulla base di 6 giorni lavorativi alla settimana.

4.2 CARATTERISTICHE TECNICHE DEL SISTEMA DI SCAVO

Il sistema "Slurry Shield" si basa sull'uso di una sospensione di bentonite in pressione che riempie la camera di scavo posta davanti ad una paratia metallica a tenuta stagna (setto anteriore), che divide la zona in pressione da quella non pressurizzata.

Una testa fresante posta sul fronte della camera contenente i fanghi fresa il terreno, mescolando simultaneamente il terreno scavato con la sospensione di bentonite, e rendendolo omogeneo. Il fango viene poi pompato fino ad un impianto di separazione posto all'esterno.

La pressione del fango (e quindi sul fronte) è esercitata da un "cuscinco" d'aria compressa che galleggia sulla superficie dei fanghi. Detto cuscinco è posto dietro un secondo diaframma (setto in pressione) che divide l'area superiore della camera di scavo. Per controbilanciare correttamente la spinta creata dalla pressione dell'acqua di falda, dal terreno del fronte di scavo e dalla miscela bentonitica, si regola la pressione dell'aria con una tolleranza dell'ordine ± 0.05 bar.

Il livello della sospensione dei fanghi dietro il diaframma in pressione viene controllato costantemente da un dispositivo ultrasonico con sonde di minimo e massimo livello; ciò assicura che ogni perdita di bentonite nel terreno sarà reintegrata senza interessare il bilanciamento della pressione al fronte.

Ogni fluttuazione di pressione al fronte derivante dalle oscillazioni di volume di fanghi è controbilanciata dal cuscinco di aria compressa tramite l'immediata immissione di altra aria. La presenza del cuscinco d'aria per il mantenimento della pressione al fronte durante lo scavo migliora la sensibilità e la rapidità d'intervento, soprattutto nei casi di cambiamento repentino delle condizioni al fronte.

Per permettere l'accesso al fronte tramite la camera iperbarica il fango bentonitico può essere estratto velocemente mediante una pompa di smarino, mentre il fronte stesso, impermeabilizzato da uno strato di bentonite (cake), viene sostenuto dall'aria compressa.

Il sistema "Slurry Shield" comprende sostanzialmente i seguenti principali componenti:

- 1) **la macchina di scavo (TBM),**
- 2) **l'impianto di separazione e di trattamento dei fanghi,**
- 3) **l'impianto di circolazione dei fanghi.**

I singoli componenti sono descritti in dettaglio nei successivi paragrafi 4.3, 4.4 e 4.5. Nel par. 4.6 sono riportate alcune prescrizioni sulla sicurezza.

4.3 LA MACCHINA DI SCAVO (TBM)

Si prevede l'impiego di una TBM monoscudata a piena sezione per lo scavo in terreni soffici e litoidi, con un diametro di scavo di 5.90 m.

La macchina di scavo è composta dai seguenti principali elementi:

- lo scudo,
- la camera di scavo



- la testa fresante,
- il sistema di supporto del fronte,
- il sistema di spinta,
- il sistema di sollevamento, trasporto e posizionamento dei conci di rivestimento,
- il sistema di iniezione a tergo del rivestimento,
- le camere iperbariche,
- l'impianto di regolazione e di produzione dell'aria compressa,
- l'impianto di ventilazione,
- la cabina di comando e controllo,
- il back-up.

Per la descrizione dei sistemi di sollevamento, trasporto e posizionamento dei conci di rivestimento e per il sistema di iniezione a tergo del rivestimento si rimanda ai successivi capp. 6 e 7.

4.3.1 Lo scudo

Lo scudo è un involucro d'acciaio cilindrico di diametro pari a quello dello scavo che ha la funzione di sostegno e di tenuta idraulica nel tratto di galleria dove non è ancora stato messo in opera il rivestimento in conci prefabbricati. Esso può considerarsi diviso in tre parti che differiscono per rigidità e funzioni: il tagliente, il tronco e la coda.

La parte anteriore è denominata "tagliente" e deve garantire una distribuzione uniforme delle enormi pressioni esercitate per la spinta in avanti della macchina. Qui è ubicata la camera di scavo, dove è posta la testa fresante. La camera di scavo è quindi separata dal resto della macchina da un diaframma metallico di tenuta, che comprende tutte le prese per le camere di decompressione, le tubazioni di alimentazione e scarico, gli ugelli, il frantoio, i dispositivi di misura e controllo del livello e della pressione dei fanghi. All'interno della camera di scavo è presente un secondo diaframma metallico, detto setto anteriore, e comprendente i portelloni di accesso alla camera di scavo, con un'apertura nella sua parte inferiore. La funzione di questo secondo diaframma è quella di permettere di sfruttare il principio dei vasi comunicanti per l'applicazione della pressione al fango bentonitico.

La parte intermedia è denominata "tronco", qui sono alloggiati i vari equipaggiamenti necessari per l'avanzamento dello scudo (i martinetti di spinta, il riduttore principale della fresa, l'impianto di regolazione dell'aria compressa, i motori idraulici della fresa, ecc.).

Nella parte terminale, denominata "coda", avviene invece la posa in opera del rivestimento definitivo. La coda è dotata di una speciale guarnizione di tenuta a più file di spazzole di acciaio armonico, confinanti le camere di grasso per contenere la miscela d'intasamento a tergo del rivestimento iniettata durante l'avanzamento dello scudo, e le possibili eventuali venute di fango bentonitico qualora si creasse una via di comunicazione tra la camera di scavo e la coda.

La lunghezza dello scudo è determinata dalla lunghezza degli anelli di rivestimento in conci prefabbricati che vengono montati all'interno della coda. Generalmente lo spazio occupato dal rivestimento corrisponde alla lunghezza di circa un anello e mezzo. La tendenza attuale di limitare il più possibile la lunghezza dello scudo, compatibilmente con gli spazi occorrenti per l'equipaggiamento, non superando la dimensione del diametro dello scudo, deriva dalla necessità di ridurre al minimo gli attriti del terreno sul mantello. Lo scudo può presentare una forma leggermente troncoconica.

Il mantello dello scudo può essere anche provvisto di feritoie con tubi guida per il passaggio delle aste di perforazione al contorno del fronte di scavo per effettuare sia sondaggi



esplorativi che eventuali iniezioni di consolidamento oltre il fronte stesso, qualora le condizioni instabili del terreno le rendessero necessarie.

Per lo scudo si prevedono le seguenti prescrizioni:

- ❑ costruzione saldata in acciaio, le singole sezioni sono imbullonate per facilitare il montaggio e lo smontaggio delle singole parti dello scudo nei pozzi di partenza e di arrivo;
- ❑ forma leggermente troncoconica, eventualmente, se ritenuto necessario, lo scudo è dotato di martinetti di articolazione per una migliore manovrabilità della macchina in curva;
- ❑ irrigidimenti, contro l'ovalizzazione e per contrastare le spinte longitudinali;
- ❑ i carichi ovalizzanti e i possibili fenomeni di instabilità dovranno essere considerati dal fornitore dello scudo secondo consuetudine e in funzione delle possibili situazioni di utilizzo della TBM (blocco, curva ecc.);
- ❑ idoneo sistema di lubrificazione del mantello;
- ❑ presenza di fori per iniettare liquidi lubrificanti al fine di diminuire l'attrito tra il mantello e il terreno in situazioni critiche (per es. materiale rigonfiante);
- ❑ il bordo del tagliente del mantello deve essere munito di protezione antiusura.

Devono essere previste sullo scudo feritoie e tubi di guida per il passaggio delle aste di perforazione per i sondaggi in avanzamento ed eventuali trattamenti di consolidamento al contorno del fronte di scavo.

La coda del mantello deve includere le guarnizioni a spazzola disposte su tre file, le linee di iniezione per l'intasamento a tergo, le linee di ingrassaggio. Le guarnizioni della coda dovranno essere sostituibili se danneggiate. Dovranno inoltre essere previste finestre per facilitare l'operazione di pulizia delle tubazioni di iniezione, in caso di otturazione delle medesime, fornite di portelli chiusi ma facilmente apribili. La coda deve essere dotata di guarnizioni antiriflusso alloggiato sul bordo d'uscita, per evitare il passaggio della miscela d'iniezione nella camera di scavo.

4.3.2 La camera di scavo

La camera di scavo è dotata di un diaframma metallico a tenuta stagna che separa la camera stessa dal resto della macchina, e comprende tutte le prese necessarie per le camere di decompressione, il cuscinetto principale, le tubazioni di alimentazione e di scarico, gli ugelli, il frantoio, i dispositivi di misura e di controllo del livello e della pressione dei fanghi, i passaggi per acqua, cavi elettrici, punti luce, collegamenti telefonici con la cabina di comando e controllo, ecc.. Tale diaframma dovrà essere dimensionato per le opportune pressioni di esercizio.

Inoltre la camera di scavo deve essere dotata di un secondo diaframma metallico, parallelo al precedente, con un'apertura nella parte inferiore per permettere la comunicazione del fango bentonitico in pressione e comprendente finestre in numero adeguato, per la visione del fronte e l'accesso alla camera di scavo, e scale per l'accesso all'arco rovescio. L'ampiezza delle aperture deve consentire il passaggio di un uomo e delle attrezzature leggere per gli interventi di manutenzione e/o riparazione. Le finestre saranno munite di portelli stagni che rimarranno chiusi durante le operazioni di scavo, ma facilmente accessibili e apribili secondo necessità.

In presenza di terreni fortemente instabili lo scudo deve poter disporre di portelloni di brandaggio da azionare, attraverso un sistema idraulico, sia dall'esterno (cabina di comando e controllo) che dall'interno della camera di scavo, con registrazione della posizione di apertura o chiusura dei medesimi sul monitor della cabina di comando. Tali portelloni possono essere applicati sulle razze, per permettere sia una maggiore chiusura parziale della testa in



fase di avanzamento o totale a scudo fermo, o fissati sul setto anteriore e, mediante pistoni idraulici, traslarli sino a contatto del fronte. Tale configurazione si adotta solo a macchina ferma per consentire al personale di effettuare in sicurezza eventuali operazioni di controllo, manutenzione e/o riparazioni all'interno della camera di scavo.

4.3.3 La testa fresante

Lo scavo viene eseguito da una testa fresante che è progettata in funzione delle caratteristiche litostratigrafiche e di tracciato della galleria.

La testa fresante deve essere dotata di utensili di scavo adatti per affrontare i seguenti tipi di terreno: argille, sabbie, ghiaie con ciottoli, terreni misti, materiale litoide. La testa dovrà inoltre essere predisposta per l'equipaggiamento in tempi brevi di idonei utensili di scavo (cutters, picchi da roccia) per superare eventuali stratificazioni di materiale di consistenza litoide anche abrasivo con resistenza fino a 100 MPa.

La testa deve avere la possibilità di intercambiare i picchi o dischi o scalpelli nelle sedi di fissaggio senza dover procedere ad alcuna modifica della testa, e deve essere prevista la sostituzione degli utensili di scavo solo da dietro la ruota fresante, senza dover accedere al fronte.

La ruota deve avere la possibilità di eseguire un sovrascavo variabile mediante l'installazione di almeno due "overcutter", sia per terreno tenero, sia per roccia. La posizione dei denti di extrascavo deve essere regolata mediante un sistema idraulico a controllo continuo assistito dall'esterno, senza impiego di personale nella camera di scavo. Lo stato di estensione deve essere segnalato o registrato sul monitor posto in cabina di comando e controllo. Il sistema deve essere in grado di funzionare anche per considerevoli tratte di avanzamento dello scavo.

Qualora le pezzature di materiale litoide risultassero di dimensioni tali da non poter essere estratti dal tubo di aspirazione della "Slurry Shield" se i normali utensili non siano stati in grado di frantumare a sufficienza il materiale scavato, il sistema deve essere predisposto per l'installazione di un frantoio davanti al tubo aspiratore, per consentire di frantumare eventuali trovanti o blocchi di roccia. Il frantoio deve essere capace di frantumare roccia di elevata consistenza, sino a 100 MPa.

La testa, se di tipo rientrante all'interno del mantello, dovrà essere equipaggiata di un sistema idraulico che permetta il suo spostamento verticale e orizzontale completo, per aumentare l'extrascavo nel corso di eventuali correzioni di rotta rispetto al tracciato di progetto. La testa, sempre se di tipo rientrante, dovrà essere equipaggiata con un sistema idraulico di avanzamento in modo da portare la ruota fresante davanti al bordo dello scudo per ridurre la resistenza all'avanzamento su tutta la macchina.

La superficie e i bordi delle razze della ruota devono essere munite di protezione antiusura.

La coppia installata deve consentire l'attraversamento, oltre che dei materiali previsti in progetto, anche di materiali a consistenza litoide. La testa deve essere movimentata con motori a variazione continua, elettrici o idraulici. I motori devono fornire la coppia richiesta. Il sistema di trasmissione della rotazione e di controllo di potenza dei motori deve assorbire gli shock generati da un eventuale blocco della rotazione. La testa fresante deve avere la possibilità di ruotare in entrambi i sensi (orario-antiorario), per correggere il rollo della macchina e per agevolare le operazioni di manutenzione.

Il cuscinetto principale deve essere permanentemente lubrificato con sistema in pressione e trafilatura continua di grasso lubrificante, Per evitare l'introduzione, in presenza di liquido in



pressione, di materiali contaminanti, il cuscinetto dovrà risultare un organo perfettamente stagno attraverso più stadi di guarnizioni a pressione differenziale. Il cuscinetto deve essere garantito per un numero di ore che copra ampiamente il periodo di scavo previsto.

Deve essere prevista la possibilità di sostituire direttamente dall'interno dello scudo sia le guarnizioni di tenuta che il cuscinetto in caso di danneggiamento del medesimo, onde evitare interventi dalla superficie mediante, per es., la realizzazione di pozzi.

4.3.4 Il sistema di supporto del fronte

Il sistema di supporto del fronte è garantito dalla sospensione pressurizzata dei fanghi che riempiono la camera di scavo. Il sistema deve essere costante ed immediato, e deve essere garantito dalla sospensione pressurizzata di fanghi che riempiono la camera di scavo.

Il controllo della pressione della miscela liquida deve essere garantito da un cuscino d'aria compressa posizionato tra le due paratie. Le pressioni da applicare sul fronte di scavo e il bilanciamento delle quantità di miscela bentonitica immessa ed aspirata sono regolati da sofisticati sistemi di controllo e gestione con una tolleranza del sistema di ± 0.05 bar. La composizione della miscela fluida varia in relazione alle caratteristiche di permeabilità del terreno. In presenza di terreno permeabile si utilizza una miscela composta da una sospensione di bentonite (acqua+bentonite), invece in condizioni di terreno impermeabile (del tipo argilloso) è possibile l'utilizzo di acqua e smarino.

Il livello di sospensione dei fanghi dietro il diaframma deve essere costantemente controllato da un dispositivo ultrasonico con una sonda di minimo e una di massimo, che trasmettono i segnali per la regolazione della pompa di alimentazione in modo da assicurare, in caso di eventuale perdita di bentonite nel terreno, l'immediato reintegro dei fanghi senza interessare il bilanciamento della pressione al fronte.

Particolare attenzione deve essere prestata per l'operazione dello svuotamento dei fanghi dal fronte e la contemporanea sostituzione del liquido con l'aria compressa, per continuare a mantenere la contropressione sul fronte. L'immissione dell'aria compressa mano a mano che si svuota la miscela bentonitica attraverso il tubo di aspirazione e la pompa dello smarino, deve essere effettuata con un sistema di regolazione pneumatico, azionato dall'operatore direttamente dalla cabina di comando dello scudo che controlla quindi il livello dei fanghi misurato dalla sonde ultrasoniche poste nella camera di scavo.

Il sistema di azionamento manuale fatto direttamente dall'operatore nella zona del cuscino d'aria deve essere considerato solo come alternativo in caso di guasto non immediatamente riparabile del precedente, ed utilizzato solo in caso di assoluta necessità di dover entrare in camera di scavo.

In presenza di materiale di scavo ad elevata permeabilità si deve ricorrere, a volte, a miscele di densità più elevata, miste anche a segatura, per creare lo strato impermeabile sul fronte e mantenere la stabilità del medesimo a scudo fermo, sia durante le normali interruzioni per il montaggio dell'anello, sia per le eventuali ispezioni e/o manutenzioni e riparazioni nella camera di scavo, previo svuotamento dei fanghi e immissione di aria compressa. In tal caso è necessario prevedere in galleria un serbatoio per i fanghi speciali, della capacità almeno pari alla metà del volume della camera di lavoro, e di un idoneo impianto di pompaggio per consentire l'intervento in tempi ridotti. Poiché tali fanghi hanno una notevole resistenza al pompaggio, e quindi difficilmente può essere utilizzato l'impianto di circolazione fanghi, essi devono essere trasportati in galleria con idonee cisterne per alimentare il serbatoio fisso posto sul back-up.



4.3.5 Il sistema di spinta

Il sistema di spinta è costituito da martinetti idraulici posizionati lungo la circonferenza dello scudo, azionati da pompe e motori elettro-idraulici, che permettono l'avanzamento dello scudo per contrasto sull'ultimo anello di rivestimento messo in opera.

La macchina deve disporre di una spinta adeguata per superare gli attriti tra terreno e mantello, e avere una riserva di potenza sufficiente a superare situazioni critiche (per es. nel caso di fermi tecnici prolungati in terreni rigonfianti).

I martinetti di spinta devono essere posizionati in modo uniforme attorno al corpo dello scudo per permettere il posizionamento del numero dei conci di rivestimento e del concio di chiave previsti in progetto. La corsa dei martinetti di spinta dipende dalla forma e dalla lunghezza dell'anello di progetto.

Per ciascun martinetto deve essere consentita la regolazione manuale del livello di pressione mediante potenziometri posizionati sul pannello di controllo installato nella cabina di comando. La spinta deve essere distribuita su un numero adeguato di settori, e comunque non inferiori a cinque, per consentire una migliore manovrabilità dello scudo. Almeno 4 martinetti devono essere equipaggiati con un misuratore di corsa elettronico collegato direttamente al quadro comandi. L'estremità di ogni martinetto deve essere equipaggiata con un cuscinetto ammortizzatore montato su un manicotto a sfera e di collegamento e coperto con poliuretano per assicurare un contatto soffice e uniforme con l'anello di rivestimento.

4.3.6 Le camere iperbariche

L'accesso del personale al fronte, in ambiente pressurizzato, avviene attraverso camere iperbariche installate sulla macchina, localizzate nella parte superiore del setto di tenuta. L'accesso al fronte può essere richiesto per effettuare controlli visivi del fronte di scavo, sostituzione degli utensili di scavo, riparazioni, demolizione/estrazione di corpi particolari, interventi di chiusura del fronte mediante spritz-beton ed altre eventualità.

La camera iperbarica per il personale deve essere omologata secondo le leggi vigenti in materia e deve consentire l'accesso al fronte nel modo più sicuro, agevole e rapido.

Le camere di decompressione per il personale sono, normalmente, a due scomparti, di cui uno per soccorso. Tali camere devono essere completamente equipaggiate con porte, oblò ed equipaggiamento interno e saranno localizzate nella parte superiore della struttura dello scudo. Le porte d'accesso devono permettere il passaggio di una lettiga per il trasporto delle persone. Ogni scomparto deve essere dotato di tutte le attrezzature necessarie e regolamentari per l'aria compressa, l'illuminazione, la comunicazione ed i meccanismi di compressione e decompressione, sistema antincendio a pioggia d'acqua, sistema d'emergenza per decompressione con ossigeno e finestre fisse per guardare all'interno.

Deve inoltre essere prevista una camera iperbarica terapeutica installata nell'infermeria di cantiere, con gli stessi accorgimenti progettuali sopra indicati.

Infine deve essere prevista una camera iperbarica per la movimentazione di materiali e attrezzature di una certa dimensione, collocata generalmente nella parte inferiore del diaframma di tenuta per facilitare le operazioni di transito.

4.3.7 L'impianto di regolazione e di produzione dell'aria compressa

Il sistema di regolazione dell'aria compressa nella camera di scavo deve essere costituito, per motivi di sicurezza, da due impianti di regolazione, inseriti nel circuito dell'aria compressa,



completi di stazioni di misura, sensori di pressione, riduttori di pressione, valvole di carico e scarico con regolazione di sicurezza elettronica a sovrappressione.

Una linea di alimentazione deve restare sempre in esercizio, mentre la seconda rimarrà in stand-by e pronta ad entrare in funzione, attraverso un commutatore, in caso di guasto della prima condotta. Le due linee devono essere collegate tra loro attraverso una condotta dotata di valvola di ritegno, per impedire il travaso da una linea all'altra.

Le indicazioni di pressione per i due condotti d'alimentazione devono trovarsi nella cabina di comando. La pressione dell'aria deve essere regolata con una pressione di ± 0.05 bar. La qualità dell'aria compressa generata dai compressori deve essere trattata e filtrata, per assicurare aria respirabile corrispondente ai requisiti indicati dalle normative specifiche.

L'impianto di produzione di aria compressa deve garantire il mantenimento costante della pressione dei fanghi nella camera di scavo. Deve essere composto da almeno due elettrocompressori, uno per ciascuna linea di alimentazione, installati all'esterno e dotati di potenza e capacità adeguata a fornire il volume d'aria richiesto. Tali compressori dovranno essere tutti collegati in automatico, in modo da intervenire immediatamente a qualsiasi calo di pressione. Inoltre sul back-up deve essere prevista l'installazione di un elettrocompressore d'emergenza per eventuali utilizzi collegati all'accesso del personale in ambiente iperbarico.

4.3.8 L'impianto di ventilazione

La ventilazione della galleria si realizza con un impianto principale collocato all'esterno in prossimità dell'imbocco e da un ventilatore secondario installato sulla coda del back-up, che aspira l'aria proveniente dall'imbocco attraverso una tubazione di diametro adeguato e la trasferisce sino allo scudo.

L'impianto esterno deve essere costituito da due ventilatori, di cui uno di emergenza che interviene in caso di guasto di quello in esercizio. I ventilatori vanno dimensionati secondo la normativa vigente per assicurare una ventilazione igienica e di sicurezza, per annullare o ridurre gli effetti tossici di sostanze gassose e polveri eventualmente contenute nell'atmosfera. La quantità minima di aria fresca da immettere in galleria, durante il normale svolgimento delle attività, deve tenere conto del fabbisogno di ciascun addetto ai lavori che opera in sotterraneo e della necessità di diluizione dei gas prodotti dai motori Diesel. In galleria, soprattutto in corrispondenza delle zone più calde (scudo e back-up), deve essere garantita una temperatura non superiore a 25° C. L'impianto deve essere insonorizzato per annullare o ridurre l'inquinamento acustico entro i limiti di tolleranza richiesti secondo la normativa vigente.

Sulla coda del back-up deve essere posizionato un ventilatore elettrico, a portata variabile e registrabile, per fornire la portata d'aria necessaria sino in prossimità dello scudo. Il ventilatore deve avere la portata necessaria per mantenere pressione e velocità dell'aria richiesta secondo la normativa vigente per i lavori in sotterraneo. In particolare modo deve essere garantita una temperatura non superiore a 25° C. Tale ventilatore deve essere silenziato e deve presentare una griglia di protezione sull'aspirazione.

4.3.9 La cabina di comando e controllo

La cabina di comando e controllo deve essere climatizzata e alloggiare:

- il posto di guida con la strumentazione di controllo e visualizzazione dei dati della TBM e dell'impianto di separazione, del circuito fanghi e il quadro sinottico di quest'ultimo,
- il computer di registrazione dei dati di avanzamento, del circuito fanghi (densità e portate), dell'impianto di separazione;



- i monitor delle cineprese di controllo dei punti nevralgici della TBM, del back-up, del circuito fanghi e dell'impianto di separazione.

4.3.10 Il back-up

Il back-up è costituito da una serie di carri trainati dallo scudo, su cui sono collocate le motorizzazioni dello scudo, il convogliatore e la gru per concii, il sistema idraulico (serbatoi, filtri, centraline idrauliche ecc.), il sistema elettrico (trasformatori, quadri elettrici, avvolgicavi ecc.), la cabina di comando e di controllo di tutte le funzioni della TBM, il sistema di lubrificazione, il sistema di allungamento dei tubi del circuito fanghi, ecc..

I carri che compongono il back-up devono essere strutture metalliche dotati della robustezza e rigidità necessaria richiesta per le sollecitazioni trasmesse dai diversi componenti presenti sullo stesso. La struttura deve essere progettata per essere smontabile e trasportabile, la geometria dei carri deve essere idonea per affrontare le curve plano-altimetriche di progetto.

Il back-up dovrà essere attrezzato con tutti i dispositivi adeguati per la movimentazione, il trasporto e lo stoccaggio dei materiali e delle attrezzature necessarie per la costruzione della galleria (attrezzature per la movimentazione e posa delle rotaie di servizio dei treni di servizio se è previsto questo sistema di trasporto, attrezzatura per lo scarico, il sollevamento e la movimentazione ed alimentazione dei concii sino all'erettore, eventuale serbatoio per lo stoccaggio della malta d'iniezione, pompe d'iniezione, eventuale serbatoio per lo stoccaggio di fanghi speciali, trasformatori, quadri elettrici, avvolgicavi per la M.T. e B.T., sistema di lubrificazione della coda, sistema di allungamento dei tubi, officine, attrezzatura per la movimentazione, stoccaggio e posa della linea di ventilazione ecc.). Esso deve essere inoltre provvisto di passaggi pedonali, guardavia e scale che assicurino un movimento sicuro e agevole del personale.

4.4 L'IMPIANTO DI SEPARAZIONE E DI TRATTAMENTO DEI FANGHI

L'evacuazione del materiale di scavo all'esterno della galleria avviene per via idraulica, mediante pompaggio attraverso tubazioni metalliche della miscela bentonitica mista al materiale scavato.

È necessario pertanto prevedere un idoneo impianto di separazione solido-liquido, ubicato esternamente alla galleria, in posizione fissa, che provvede a separare la parte solida dal fluido di veicolazione, il quale, opportunamente reintegrato o rigenerato, ritorna in circolazione per essere inviato al fronte di scavo.

L'impianto di separazione sostanzialmente è suddiviso in due sezioni distinte:

- separazione fisica dei fanghi,
- trattamento dei fanghi.

La sezione di separazione fisica dei fanghi è costituita essenzialmente da un vaglio primario, da un sistema di ciclonaggio a semplice o a doppio stadio (in relazione alla minore o maggiore percentuale del materiale fino presente nel terreno), e da un vaglio vibroasciugatore.

Il fango bentonitico misto al materiale scavato viene pompato dalla camera di scavo sino al vaglio primario che consente di separare la frazione grossolana di dimensioni maggiori, che viene scaricata in un deposito per essere successivamente caricata su autocarri e allontanata.



Il fluido contenente materiale detritico di dimensioni inferiori, viene poi scaricato in una tramoggia, posta sotto il vaglio primario, e da qui viene pompato ad un doppio stadio di ciclonaggio, che separa le sabbie fino alla granulometria minima possibile consentita dal progetto. Prima di essere scaricate a deposito tali sabbie sono asciugate attraverso un vaglio vibrante (vaglio vibroasciugatore).

La parte di terreno rimasto nel fluido di veicolazione è costituito da particelle di dimensioni inferiori al diametro di taglio del ciclonaggio di secondo stadio, materiale che tende a sciogliersi (limi ed argille) nel fluido medesimo. Ciò comporta un continuo aumento del peso specifico del fluido di veicolazione fino a valori incompatibili per il corretto funzionamento del sistema, potendo affaticare il sistema di pompaggio e/o otturare le tubazioni dello smarino.

Per evitare tale fenomeno e correggere la densità del fluido di veicolazione occorre sottrarre una porzione di portata di fango di densità maggiore di quella normalmente utilizzata per lo scavo e inviarla alla sezione di disidratazione. Il fluido restante invece viene rinviato nel circuito di veicolazione previa opportuna integrazione di acqua e bentonite per conferirgli i corretti parametri di progetto (peso specifico, viscosità e capacità impermeabilizzante).

La sezione di trattamento dei fanghi consiste:

- nella disidratazione per via meccanica dei fanghi,
- nella successiva chiarificazione delle acque di filtrazione.

I fanghi in eccesso vengono inviati all'impianto di disidratazione costituito da centrifughe o filtropresse a nastro. Queste ultime funzionano in base al principio della filtrazione meccanica continua. Preliminarmente all'invio alle nastropresse i fanghi vengono condizionati, mediante passaggi successivi, con un coagulante inorganico, calce idrata e polielettrolita organico. I reattivi chimici adoperati non presentano problematiche legate all'inquinamento ambientale e sono comunemente utilizzati nei processi di potabilizzazione delle acque. All'uscita delle nastropresse si ottiene un materiale sufficientemente asciutto, potabile e trasportabile al sito di destinazione finale.

Le acque di risulta della disidratazione dei fanghi vengono inviate ad un chiarificatore per il processo di abbattimento e sedimentazione dei solidi rimasti ancora sospesi, al fine di poterle scaricare in un corpo idrico ricettore nel rispetto delle vigenti leggi.

4.5 L'IMPIANTO DI CIRCOLAZIONE DEI FANGHI

L'impianto di circolazione dei fanghi è costituito principalmente da:

- due tubazioni per il trasporto idraulico, rispettivamente per l'invio del fluido di veicolazione al fronte di scavo e per l'evacuazione della miscela fluido-detriti di scavo dal fronte fino all'impianto di separazione;
- stazioni di pompaggio per l'invio del fluido al fronte e per l'evacuazione del fluido con il materiale di scavo dal fronte fino all'impianto di separazione;
- misuratori di portata e di densità del fluido, montati su entrambe le tubazioni, che trasmettono le informazioni in tempo reale alla cabina di comando e controllo del sistema installata sulla TBM.

Il sistema " Slurry Shield " si può considerare, almeno teoricamente, come un sistema a circuito chiuso dove il fluido segue il seguente ciclo: accumulo - pompaggio alla camera di scavo - smarino - separazione - accumulo.

Tuttavia la mancanza di correzioni della densità di fluido di veicolazione nel processo di scavo porterebbe ad un aumento della densità del fluido medesimo, a causa dello scioglimento delle



particelle più fini, fino a valori intollerabili per il sistema. Occorre pertanto eliminare dal circuito chiuso una parte di fluido e reintegrarlo con acqua e bentonite. La quantità di fluido da reintegrare è funzione delle caratteristiche geotecniche del materiale interessato dagli scavi. In pratica in presenza di terreni granulari dove la porzione di materiale fino (limi e argille) è molto limitata la quantità d'acqua da reintegrare è minima. Viceversa i terreni con una consistente percentuale di materiale fino (limi, argille) comportano un notevole consumo di acqua di reintegro, a fronte di un minore consumo di bentonite, soprattutto in presenza di argilla.

In definitiva quando si prevede di adoperare una Slurry Shield occorre anche prevedere un adeguato approvvigionamento idrico per consentire di raggiungere i parametri di avanzamento previsti.

L'impianto di circolazione dei fanghi deve essere costituito almeno dai seguenti componenti:

- ❑ linea di alimentazione costituita da due tubazioni in acciaio, che collegano la camera di scavo con l'impianto di separazione, una per l'invio dei fanghi al fronte l'altra per lo smarino;
- ❑ valvole delle tubazioni, sia manuali (a ghigliottina, a sfera, a farfalla) sia con attuatore elettrico, idraulico o pneumatico, idonee per l'uso con materiali fangosi e abrasivi, valvole di non ritorno, valvole di scarico, valvole by-pass a comando idraulico etc.;
- ❑ pompe di alimentazione dei fanghi e dello smarino, con controllo elettronico delle portate e della potenza, adeguatamente dimensionate per assicurare le portate di progetto dell'impianto di separazione e idonee per l'uso con materiali fangosi e abrasivi;
- ❑ se necessario, in relazione al dimensionamento delle pompe di mandata e di alimentazione, si potranno anche prevedere ulteriori stazioni di rilancio, montate su entrambe le linee, per superare le perdite di carico sul circuito di circolazione dei fanghi;
- ❑ pompa per alimentare i fanghi al fronte in caso di emergenza, posta in by-pass rispetto a quella in esercizio, da attivare in caso di danneggiamento di quest'ultima;
- ❑ tubo a gomito per l'aspirazione dei fanghi ubicato nella parie inferiore dello scudo, tale tubo dovrà avere la possibilità di eseguire movimenti radiali intorno al proprio asse;
- ❑ ugelli fissi e mobili, in numero e diametro adeguato da stabilire in fase di progettazione costruttiva, per l'immissione dei fanghi nella camera di scavo;
- ❑ sistema di estensione delle tubazioni dei fanghi costituito da due tubi telescopici e comprendente l'equipaggiamento di comando e il magazzino per le tubazioni;
- ❑ sistemi ultrasonico di controllo livello fanghi e di controllo della pressione dei fanghi per mezzo di traduttori comprendenti la strumentazione, tubazioni, cavi, sistema di trasferimento dati;
- ❑ misuratori di densità e di portata dei fanghi sia in entrata che in uscita.

4.6 ALCUNI ASPETTI SULLA SICUREZZA

Le indicazioni e prescrizioni che seguono riguardano solo alcuni aspetti della sicurezza, sono di larga massima e quindi da intendersi come puramente indicative. Il completamento e la definizione delle specifiche saranno oggetto delle successive fasi di progettazione.

4.6.1 Monitoraggio atmosferico in galleria

La TBM deve essere dotata di apparecchiature per il monitoraggio atmosferico in grado di rilevare carenza di ossigeno, la presenza di gas infiammabili (es. metano), di gas tossici e radioattivi (es. radon). I sensori di rilevazione dovranno essere montati nello scudo e lungo il back-up.



Tutte le apparecchiature per il monitoraggio atmosferico dovranno azionare segnali acustici e ottici nel caso di concentrazioni pericolose di gas tossici e/o infiammabili o in caso di carenza di ossigeno.

4.6.2 Sistema antincendio in galleria

Lo scudo e il back-up devono essere dotati di sistemi antincendio oppure, in alternativa, di estintori con una massa di agente schiumogeno.

I sistemi antincendio dovranno essere distribuiti sulla macchina e sul back-up in luoghi dove il rischio è particolarmente alto, quali ad es.:

- area dell'operatore principale,
- in prossimità dei motori principali della testa fresante,
- gruppi idraulici d'alimentazione d'energia elettrica,
- cabine elettriche,
- trasformatori,
- quadri elettrici.

4.6.3 Sistema di emergenza per l'evacuazione dei fanghi

Poiché il tracciato altimetrico della galleria presenta diverse corde molli si deve prevedere l'installazione di sistemi di emergenza che possano garantire, in caso di rottura di una o di entrambe le linee del circuito fanghi, la tempestiva e sicura evacuazione dei fanghi all'esterno, al fine di evitare o limitare al massimo l'allagamento della galleria e di parti dello scudo, che potrebbe compromettere sia la sicurezza degli addetti ai lavori che il danneggiamento dello scudo stesso. Tale sistema potrebbe essere costituito da tubazioni ausiliarie che attraverso una idonea pompa consentano di evacuare i fanghi all'esterno, e valvole di intercettazione a sfera con attuatore elettrico azionate dall'operatore dello scudo, montate su entrambe le linee del circuito fanghi, che interrompono il flusso di fanghi.

4.6.4 Alimentazione elettrica d'emergenza

Deve essere assicurata l'alimentazione elettrica d'emergenza per alcuni componenti della TBM per mezzo di gruppi elettrogeni che intervengono automaticamente in caso d'interruzione dell'alimentazione elettrica. Tali gruppi devono consentire il mantenimento dei seguenti sistemi essenziali, ai fini del mantenimento delle condizioni di sicurezza del fronte di scavo e dell'ambiente di lavoro:

- illuminazione zona scudo, back-up e galleria;
- ventilazione;
- produzione aria compressa e sistemi di regolazione dell'aria compressa al fronte;
- sistema circuito fanghi (pompe, valvole con attuatori elettrici, idraulici o pneumatici) e regolazione del livello di bentonite al fronte;
- sistemi di controllo elettrici dello scudo;
- funzionamento del PLC di bordo.

4.6.5 Altro

- Lungo il back-up devono essere distribuiti interruttori di emergenza per l'arresto immediato dello scudo o di alcuni suoi organi meccanici.
- Il back-up e la TBM devono sempre poter essere in contatto telefonico o radio con l'esterno.
- Deve essere sempre assicurato il contatto telefonico tra le camere iperbariche, la camera di scavo e la cabina comando e controllo.
- Nella camera di scavo devono essere installati diversi punti luce.



5 IL SISTEMA DI SCAVO CON “EPB”

La descrizione che segue vuole essere solo un'indicazione delle principali caratteristiche del sistema di scavo indicato; essa non è da considerarsi esaustiva in quanto la configurazione di una TBM tipo “EPB” può essere diversa da costruttore a costruttore, pur rimanendo invariate le sue caratteristiche principali.

5.1 REQUISITI

I requisiti e le specifiche indicate nei paragrafi presenti sono vincolanti ma non esaustive delle caratteristiche tecniche del sistema di scavo. L'Appaltatore dovrà fornire una macchina a regola d'arte, eventualmente implementando impianti, macchinari e attrezzature, che tengano conto dei requisiti e delle caratteristiche di seguito indicate, affinché sia garantita l'esecuzione dei lavori nel pieno rispetto della sicurezza e della funzionalità dell'opera.

La macchina di scavo dovrà possedere i seguenti principali requisiti:

- ❑ garantire in ogni momento la sicurezza degli addetti in tutte le fasi operative, nelle varie aree di lavoro, con particolare riguardo al verificarsi di situazioni critiche quali per esempio l'eventuale sviluppo di incendio a bordo, l'entrata d'acqua attraverso guarnizioni rovinate, ecc.;
- ❑ garantire lo scavo in presenza di fronti misti ed eterogenei, con terreni di natura e comportamento geotecnico differenti, anche sotto falda;
- ❑ garantire il superamento di eventuali zone a comportamento litoide non individuate nella fase di progettazione;
- ❑ garantire la stabilità del fronte di scavo lungo tutto lo sviluppo delle gallerie con il fronte sempre, costantemente e completamente in pressione, sia durante le operazioni di scavo che durante i fermi macchina di qualsiasi durata;
- ❑ annullare, o comunque controllare e limitare eventuali assestamenti del terreno durante lo scavo, che possono avere ripercussioni in superficie in termini di cedimenti superficiali (in particolare il sistema di scavo dovrà garantire un valore di volume perso V_p inferiore allo 0.5%);
- ❑ garantire che gli scostamenti dell'asse della galleria dall'asse teorico non siano superiori a 10 cm;
- ❑ minimizzare le vibrazioni in fase di scavo
- ❑ garantire una corretta iniezione di intasamento a tergo dei conci contestualmente all'avanzamento della macchina, in grado di riempire completamente e stabilmente ogni eventuale vuoto tra concio e terreno;
- ❑ superare eventuali punti critici, anche quelli non individuati nella fase di studio geologico e caratterizzazione geotecnica come per es:
 - attraversamento di faglie,
 - rinvenimento di grossi trovanti,
 - attraversamento di terreni a comportamento plastico e spingente,
 - attraversamento di materiali dotati di scarsa cementazione e/o alta fratturazione;
- ❑ meccanizzare le fasi di scavo, di rivestimento in anelli prefabbricati in c.a. e d'intasamento a tergo dei conci, per ridurre i tempi di avanzamento e in piena sicurezza per gli addetti ai lavori, minimizzando le interruzioni delle operazioni di scavo;
- ❑ mettere a disposizione della DL e del Progettista tutti i dati opportunamente rilevati relativi ai parametri di scavo e ai parametri operativi della TBM, nonché alle deformazioni indotte



- sia in profondità che in superficie;
- permettere l'esecuzione di perforazioni esplorative in avanzamento fino a 40 m di profondità, l'attrezzatura di perforazione dovrà essere rapidamente operativa utilizzando anche l'erettore dei conci;
 - garantire le velocità di progetto, in ogni situazione geologica e operativa, pari a 10-12 m/giorno lavorativo sulla base di 6 giorni lavorativi alla settimana.

5.2 CARATTERISTICHE TECNICHE DEL SISTEMA DI SCAVO

Il sistema "EPB" prevede che l'avanzamento della macchina avvenga con la camera di scavo costantemente e completamente piena del materiale di scavo opportunamente condizionato, in modo da garantire una distribuzione omogenea ed uniforme di pressione di terra al fronte e senza cali di pressione tra una spinta e quella successiva. Il condizionamento dei terreni nella camera di scavo deve avvenire, in funzione delle caratteristiche granulometriche dei terreni da scavare, con l'aggiunta di schiume e se necessario di polimeri e di materiale fino (filler), nel caso di frazioni granulari contenenti basse percentuali di fini. Non possono essere accettati in alcun modo avanzamenti a camera vuota o con camera non completamente piena.

L'avanzamento deve avvenire con una corretta applicazione della pressione al fronte, in modo da garantire costantemente la necessaria stabilità del fronte di scavo e il controllo delle deformazioni e dei cedimenti in superficie. A tal fine dovrà essere redatta una relazione di dettaglio che individui per le tratte omogenee da scavare due valori di pressioni al fronte: un valore di pressione di riferimento ed un valore di pressione massimo calcolato nelle condizioni di spinta a riposo. Ambedue i valori individuati saranno gestiti all'interno di un intervallo con soglie di attenzione e di allarme individuate attraverso una procedura operativa. In particolare l'operatore dovrà sempre scavare garantendo che il valore di pressione al fronte rimanga all'interno dei due limiti (inferiore e superiore) di attenzione.

È necessaria inoltre una corretta esecuzione delle iniezioni a tergo, eseguite in linea di principio da tutte le linee distribuite sulla circonferenza dello scudo e con valori di pressione di iniezione che dovranno essere valutati per le varie tratte geotecnicamente omogenee. I valori di pressione di iniezione a tergo dovranno essere calcolati e differenziati per i vari punti di iniezione in funzione della posizione degli stessi sullo scudo, e quindi in funzione del carico litostatico ed idraulico presente, con riguardo anche alle pressioni massime ammissibili sull'estradosso dei conci. L'intasamento avviene contemporaneamente all'avanzamento iniettando, alla pressione stabilita, il volume di malta necessario per garantire la completa ed omogenea saturazione dell'intercapedine a tergo dei conci, e fino alle pressioni di rifiuto previste. Per l'intasamento dell'intercapedine dovrà essere utilizzata una miscela idonea caratterizzata da una viscosità tale da non disperdersi nel terreno e nel contempo da impedire l'otturazione delle tubazioni, e comunque una miscela che non sia caratterizzata da elevati valori di bleeding o di ritiro.

Il sistema "EPB" comprende sostanzialmente i seguenti principali componenti:

- 1) **la macchina di scavo (TBM),**
- 2) **il sistema di estrazione ed allontanamento del materiale di scavo.**

I singoli componenti sono descritti in dettaglio nei successivi paragrafi 5.3 e 5.4, mentre nel par. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** sono riportate alcune prescrizioni sulla sicurezza.



5.3 LA MACCHINA DI SCAVO

Si prevede l'impiego di una TBM monoscudata a piena sezione per lo scavo in terreni soffici e litoidi, con un diametro di scavo di 5.90 m.

La macchina di scavo è composta dai seguenti principali elementi:

- lo scudo,
- la camera di scavo
- la testa fresante,
- il cuscinetto principale,
- il sistema di spinta,
- il sistema di estrazione ed allontanamento del materiale,
- il sistema di sollevamento, trasporto e posizionamento dei conci di rivestimento,
- il sistema di iniezione a tergo del rivestimento,
- le camere iperbariche,
- l'impianto di regolazione e di produzione dell'aria compressa,
- l'impianto di ventilazione,
- la cabina di comando e controllo,
- il back-up.

Per la descrizione dei sistemi di sollevamento, trasporto e posizionamento dei conci di rivestimento e per il sistema di iniezione a tergo del rivestimento si rimanda ai successivi capp. 6 e 7.

5.3.1 Lo scudo

Lo scudo è un involucro d'acciaio cilindrico di diametro pari a quello dello scavo, che ha la funzione di sostegno e di tenuta idraulica nel tratto di galleria dove non è ancora stato messo in opera il rivestimento in conci prefabbricati. Esso può considerarsi diviso in tre parti che differiscono per rigidità e funzioni: il tagliente, il tronco e la coda.

La parte anteriore è denominata "tagliente" e deve garantire una distribuzione uniforme delle pressioni esercitate per la spinta in avanti della macchina. Qui è ubicata la camera di scavo, dove è posta la testa fresante. La camera di scavo è separata dal resto della macchina da un diaframma metallico di tenuta.

La parte intermedia è denominata "tronco", qui sono alloggiati i vari equipaggiamenti necessari per l'avanzamento dello scudo (i martinetti di spinta, il riduttore principale della fresa, i motori idraulici della fresa, ecc.).

Nella parte terminale, denominata "coda", avviene invece la posa in opera del rivestimento definitivo. La coda è dotata di una speciale guarnizione di tenuta a più file di spazzole di acciaio armonico, confinanti le camere di grasso per contenere la miscela d'intasamento a tergo del rivestimento iniettata durante l'avanzamento dello scudo, e le possibili eventuali venute di fango bentonitico qualora si creasse una via di comunicazione tra la camera di scavo e la coda.

La lunghezza dello scudo è determinata dalla lunghezza degli anelli di rivestimento in conci prefabbricati che vengono montati all'interno della coda. Generalmente lo spazio occupato dal rivestimento corrisponde alla lunghezza di circa un anello e mezzo. La tendenza attuale di limitare il più possibile la lunghezza dello scudo, compatibilmente con gli spazi occorrenti per l'equipaggiamento, non superando la dimensione del diametro dello scudo, deriva dalla necessità di ridurre al minimo gli attriti del terreno sul mantello. Lo scudo può presentare una



forma leggermente troncoconica.

Il mantello dello scudo può essere anche provvisto di feritoie con tubi guida per il passaggio delle aste di perforazione al contorno del fronte di scavo per effettuare sia sondaggi esplorativi che eventuali iniezioni di consolidamento oltre il fronte stesso, qualora le condizioni instabili del terreno le rendessero necessarie.

Per lo scudo si prevedono le seguenti prescrizioni:

- ❑ costruzione saldata in acciaio, le singole sezioni sono imbullonate per facilitare il montaggio e lo smontaggio delle singole parti dello scudo nei pozzi di partenza e di arrivo;
- ❑ forma leggermente troncoconica, eventualmente, se ritenuto necessario, lo scudo è dotato di martinetti di articolazione per una migliore manovrabilità della macchina in curva;
- ❑ irrigidimenti, contro l'ovalizzazione e per contrastare le spinte longitudinali;
- ❑ i carichi ovalizzanti e i possibili fenomeni di instabilità dovranno essere considerati dal fornitore dello scudo secondo consuetudine e in funzione delle possibili situazioni di utilizzo della TBM (blocco, curva ecc.);
- ❑ idoneo sistema di lubrificazione del mantello;
- ❑ presenza di fori per iniettare liquidi lubrificanti al fine di diminuire l'attrito tra il mantello e il terreno in situazioni critiche (per es. materiale rigonfiante);
- ❑ il bordo del tagliente del mantello deve essere munito di protezione antiusura.

Devono essere previste sullo scudo feritoie e tubi di guida per il passaggio delle aste di perforazione per i sondaggi in avanzamento ed eventuali trattamenti di consolidamento al contorno del fronte di scavo.

La coda del mantello deve includere le guarnizioni a spazzola disposte su tre file, le linee d'iniezione per l'intasamento a tergo, le linee d'ingrassaggio. Le guarnizioni della coda dovranno essere sostituibili se danneggiate. Dovranno inoltre essere previste finestre per facilitare l'operazione di pulizia delle tubazioni d'iniezione, in caso di otturazione delle medesime, fornite di portelli chiusi ma facilmente apribili. La coda deve essere dotata di guarnizioni antiriflusso alloggiato sul bordo d'uscita, per evitare il passaggio della miscela d'iniezione attorno allo scudo e quindi nella camera di scavo.

5.3.2 La camera di scavo

La camera di scavo deve essere dotata di un diaframma metallico a tenuta stagna che separa la camera stessa dal resto della macchina. Questo diaframma deve comprendere tutte le prese necessarie per le camere iperbariche, il cuscinetto principale, l'apertura per l'alimentazione della vite della coclea, gli ugelli per l'iniezione di prodotti per il condizionamento del terreno, i dispositivi di misura della pressione nella camera di scavo, i passaggi per tubazioni dell'acqua, cavi elettrici, punti luce, collegamenti per comunicare con l'esterno, sistema dell'aria compressa, ecc.. Tale diaframma dovrà essere dimensionato per le opportune pressioni di esercizio.

I dispositivi di misura della pressione all'interno della camera di scavo sono collegati al sistema automatico d'operazione e di controllo dello scudo, e consentono di valutare lo stato di riempimento della camera di scavo e la densità del materiale.

Attraverso gli ugelli di iniezione possono essere introdotti i prodotti specifici per migliorare le condizioni del terreno all'interno della camera stessa, che possono essere costituiti da schiume, polimeri, fanghi bentonitici, acqua ecc.. Deve essere prevista una valvola di sfiato in calotta, per lo spurgo di eventuale accumulo di schiume o bolle d'aria.



5.3.3 La testa fresante

Lo scavo viene eseguito da una testa fresante che è progettata in funzione delle caratteristiche litostratigrafiche e di tracciato della galleria.

La testa fresante deve essere dotata di utensili di scavo adatti per affrontare i seguenti tipi di terreno: argille, sabbie, ghiaie con ciottoli, terreni misti, materiale litoide. La testa dovrà inoltre essere predisposta per l'equipaggiamento in tempi brevi di idonei utensili di scavo (cutters, picchi da roccia) per superare eventuali stratificazioni di materiale di consistenza litoide anche abrasivo con resistenza fino a 100 MPa.

La testa deve avere la possibilità di intercambiare i picchi o dischi o scalpelli nelle sedi di fissaggio senza dover procedere ad alcuna modifica della testa, e deve essere prevista la sostituzione degli utensili di scavo solo da dietro la ruota fresante, senza dover accedere al fronte.

La ruota deve avere la possibilità di eseguire un sovrascavo variabile mediante l'installazione di almeno due "overcutter", sia per terreno tenero, sia per roccia. La posizione dei denti di extrascavo deve essere regolata mediante un sistema idraulico a controllo continuo assistito dall'esterno, senza impiego di personale nella camera di scavo. Lo stato di estensione deve essere segnalato o registrato sul monitor posto in cabina di comando e controllo. Il sistema deve essere in grado di funzionare anche per considerevoli tratte di avanzamento dello scavo.

La testa, se di tipo rientrante all'interno del mantello, dovrà essere equipaggiata di un sistema idraulico che permetta il suo spostamento verticale e orizzontale completo, per aumentare l'extrascavo nel corso di eventuali correzioni di rotta rispetto al tracciato di progetto. La testa, sempre se di tipo rientrante, dovrà essere equipaggiata con un sistema idraulico di avanzamento in modo da portare la ruota fresante davanti al bordo dello scudo per ridurre la resistenza all'avanzamento su tutta la macchina.

La superficie e i bordi delle razze della ruota devono essere munite di protezione antiusura.

La coppia installata deve consentire l'attraversamento, oltre che dei materiali previsti in progetto, anche di materiali a consistenza litoide. La testa deve essere movimentata con motori a variazione continua, elettrici o idraulici. I motori devono fornire la coppia richiesta. Il sistema di trasmissione della rotazione e di controllo di potenza dei motori deve assorbire gli shock generati da un eventuale blocco della rotazione. La testa fresante deve avere la possibilità di ruotare in entrambi i sensi (orario-antiorario), per correggere il rollio della macchina e per agevolare le operazioni di manutenzione.

5.3.4 Il cuscinetto principale

Il cuscinetto principale deve essere permanentemente lubrificato con sistema in pressione e trafilatura continua di grasso lubrificante. Per evitare l'introduzione, in presenza di liquido in pressione, di materiali contaminanti, il cuscinetto dovrà risultare un organo perfettamente stagno attraverso più stadi di guarnizioni a pressione differenziale. Il cuscinetto deve essere garantito per un numero di ore che copra ampiamente il periodo di scavo previsto.

Deve essere prevista la possibilità di sostituire direttamente dall'interno dello scudo sia le guarnizioni di tenuta che il cuscinetto stesso in caso di danneggiamento del medesimo, onde evitare interventi dalla superficie mediante, per es., la realizzazione di pozzi.

Dovrà essere sempre disponibile un cuscinetto di riserva trasportabile in cantiere nel più breve tempo possibile, dando evidenza di codesta disponibilità alla DL.



5.3.5 Il sistema di spinta

Il sistema di spinta è costituito da martinetti idraulici posizionati lungo la circonferenza dello scudo, azionati da pompe e motori elettro-idraulici, che permettono l'avanzamento dello scudo per contrasto sull'ultimo anello di rivestimento messo in opera.

La TBM deve disporre di una spinta adeguata per superare gli attriti tra il terreno e il mantello, per controbilanciare e sostenere il fronte, e avere una riserva di potenza sufficiente a superare situazioni critiche (per es. nel caso di fermi tecnici prolungati in terreni rigonfianti).

I martinetti di spinta devono essere posizionati in modo uniforme attorno al corpo dello scudo per permettere il posizionamento del numero dei conci di rivestimento e del concio di chiave previsti in progetto. La corsa dei martinetti di spinta dipende dalla forma e dalla lunghezza dell'anello di progetto.

Per ciascun martinetto deve essere consentita la regolazione manuale del livello di pressione mediante potenziometri posizionati sul pannello di controllo installato nella cabina di comando. La spinta deve essere distribuita su un numero adeguato di settori, e comunque non inferiori a cinque, per consentire una migliore manovrabilità dello scudo. Almeno 4 martinetti devono essere equipaggiati con un misuratore di corsa elettronico collegato direttamente al quadro comandi. L'estremità di ogni martinetto deve essere equipaggiata con un cuscinetto ammortizzatore montato su un manicotto a sfera e di collegamento e coperto con poliuretano per assicurare un contatto soffice e uniforme con l'anello di rivestimento.

5.3.6 Le camere iperbariche

L'accesso del personale al fronte, in ambiente pressurizzato, avviene attraverso camere iperbariche installate sulla macchina, localizzate nella parte superiore del setto di tenuta. L'accesso al fronte può essere richiesto per effettuare controlli visivi del fronte di scavo, sostituzione degli utensili di scavo, riparazioni, demolizione/estrazione di corpi particolari, interventi di chiusura del fronte mediante spritz-beton ed altre eventualità.

La camera iperbarica per il personale deve essere omologata secondo le leggi vigenti in materia e deve consentire l'accesso al fronte nel modo più sicuro, agevole e rapido.

Le camere di decompressione per il personale sono, normalmente, a due scomparti, di cui uno per soccorso. Tali camere devono essere completamente equipaggiate con porte, oblò ed equipaggiamento interno e saranno localizzate nella parte superiore della struttura dello scudo. Le porte d'accesso devono permettere il passaggio di una lettiga per il trasporto delle persone. Ogni scomparto deve essere dotato di tutte le attrezzature necessarie e regolamentari per l'aria compressa, l'illuminazione, la comunicazione ed i meccanismi di compressione e decompressione, sistema antincendio a pioggia d'acqua, sistema d'emergenza per decompressione con ossigeno e finestre fisse per guardare all'interno.

Deve inoltre essere prevista una camera iperbarica terapeutica installata nell'infermeria di cantiere, con gli stessi accorgimenti progettuali sopra indicati.

Infine deve essere prevista una camera iperbarica per la movimentazione di materiali e attrezzature di una certa dimensione, collocata generalmente nella parte inferiore del diaframma di tenuta per facilitare le operazioni di transito.

5.3.7 L'impianto di regolazione e di produzione dell'aria compressa

Il sistema di regolazione dell'aria compressa nella camera di scavo deve essere costituito, per motivi di sicurezza, da due impianti di regolazione, inseriti nel circuito dell'aria compressa, completi di stazioni di misura, sensori di pressione, riduttori di pressione, valvole di carico e



scarico con regolazione di sicurezza elettronica a sovrappressione.

Una linea di alimentazione deve restare sempre in esercizio, mentre la seconda rimarrà in stand-by e pronta ad entrare in funzione, attraverso un commutatore, in caso di guasto della prima condotta. Le due linee devono essere collegate tra loro attraverso una condotta dotata di valvola di ritegno, per impedire il travaso da una linea all'altra.

Le indicazioni di pressione per i due condotti d'alimentazione devono trovarsi nella cabina di comando. La pressione dell'aria deve essere regolata con una pressione di ± 0.05 bar. La qualità dell'aria compressa generata dai compressori deve essere trattata e filtrata, per assicurare aria respirabile corrispondente ai requisiti indicati dalle normative specifiche.

L'impianto di produzione di aria compressa deve garantire il mantenimento costante della pressione nella camera di scavo. Deve essere composto da almeno due elettrocompressori, uno per ciascuna linea di alimentazione, installati all'esterno e dotati di potenza e capacità adeguata a fornire il volume d'aria richiesto. Tali compressori dovranno essere tutti collegati in automatico, in modo da intervenire immediatamente a qualsiasi calo di pressione. Inoltre sul back-up deve essere prevista l'installazione di un elettrocompressore d'emergenza per eventuali utilizzi collegati all'accesso del personale in ambiente iperbarico.

5.3.8 L'impianto di ventilazione

La ventilazione della galleria si realizza con un impianto principale collocato all'esterno in prossimità dell'imbocco e da un ventilatore secondario installato sulla coda del back-up, che aspira l'aria proveniente dall'imbocco attraverso una tubazione di diametro adeguato e la trasferisce sino allo scudo.

L'impianto esterno deve essere costituito da due ventilatori, di cui uno di emergenza che interviene in caso di guasto di quello in esercizio. I ventilatori vanno dimensionati secondo la normativa vigente per assicurare una ventilazione igienica e di sicurezza, per annullare o ridurre gli effetti tossici di sostanze gassose e polveri eventualmente contenute nell'atmosfera. La quantità minima di aria fresca da immettere in galleria, durante il normale svolgimento delle attività, deve tenere conto del fabbisogno di ciascun addetto ai lavori che opera in sotterraneo e della necessità di diluizione dei gas prodotti dai motori Diesel. In galleria, soprattutto in corrispondenza delle zone più calde (scudo e back-up), deve essere garantita una temperatura non superiore a 25° C. L'impianto deve essere insonorizzato per annullare o ridurre l'inquinamento acustico entro i limiti di tolleranza richiesti secondo la normativa vigente.

Sulla coda del back-up deve essere posizionato un ventilatore elettrico, a portata variabile e registrabile, per fornire la portata d'aria necessaria sino in prossimità dello scudo. Il ventilatore deve avere la portata necessaria per mantenere pressione e velocità dell'aria richiesta secondo la normativa vigente per i lavori in sotterraneo. In particolare modo deve essere garantita una temperatura non superiore a 25° C. Tale ventilatore deve essere silenziato e deve presentare una griglia di protezione sull'aspirazione.

5.3.9 La cabina di comando e controllo

La cabina di comando e controllo deve essere climatizzata e alloggiare:

- il posto di guida con la strumentazione di controllo e visualizzazione dei dati della TBM,
- il computer di registrazione dei dati di avanzamento e dei parametri fondamentali del sistema (portate scaricate dalla coclea, additivi, ecc.);
- i monitor delle cineprese di controllo dei punti nevralgici della TBM e del back-up, (scarico del materiale dalla coclea sul nastro, ecc.).



5.3.10 Back-up

Il back-up è costituito da una serie di carri trainati dallo scudo, su cui sono collocate le motorizzazioni dello scudo, il convogliatore e la gru per conci, il sistema idraulico (serbatoi, filtri, centraline idrauliche ecc.), il sistema elettrico (trasformatori, quadri elettrici, avvolgicavi ecc.), la cabina di comando e di controllo di tutte le funzioni della TBM, il sistema di lubrificazione, ecc..

I carri che compongono il back-up devono essere strutture metalliche dotati della robustezza e rigidità necessaria richiesta per le sollecitazioni trasmesse dai diversi componenti presenti sullo stesso. La struttura deve essere progettata per essere smontabile e trasportabile, la geometria dei carri deve essere idonea per affrontare le curve plano-altimetriche di progetto.

Il back-up dovrà essere attrezzato con tutti i dispositivi adeguati per la movimentazione, il trasporto e lo stoccaggio dei materiali e delle attrezzature necessarie per la costruzione della galleria (attrezzature per la movimentazione e posa delle rotaie di servizio dei treni di servizio se è previsto questo sistema di trasporto, attrezzatura per lo scarico, il sollevamento e la movimentazione ed alimentazione dei conci sino all'erettore, eventuale serbatoio per lo stoccaggio della malta d'iniezione, pompe d'iniezione, eventuale serbatoio per lo stoccaggio di fanghi speciali, trasformatori, quadri elettrici, avvolgicavi per la M.T. e B.T., sistema di lubrificazione della coda, sistema di allungamento dei tubi, officine, attrezzatura per la movimentazione, stoccaggio e posa della linea di ventilazione ecc.). Esso deve essere inoltre provvisto di passaggi pedonali, guardavia e scale che assicurino un movimento sicuro e agevole del personale.

5.4 IL SISTEMA D'ESTRAZIONE ED ALLONTANAMENTO DEL MATERIALE DI SCAVO

Il sistema di estrazione ed allontanamento del materiale di scavo è costituito essenzialmente dai seguenti componenti:

- il sistema a coclea,
- il nastro trasportatore,
- il sistema d'iniezione degli additivi.

5.4.1 Il sistema a coclea

Tale sistema è costituito da un trasportatore a coclea che dal fondo della camera di scavo in pressione, per mezzo delle eliche, obbliga il materiale a passare lungo tutta la struttura sino a raggiungere il punto di scarico situato a pressione ambiente. La coclea deve essere dimensionata per garantire una portata compatibile con le prestazioni di avanzamento della TBM previste in progetto.

La coclea deve poter essere ritirata idraulicamente per effettuare le operazioni di controllo e manutenzione sulla medesima. Sul diaframma in pressione, in corrispondenza dell'apertura per il passaggio della coclea, devono essere predisposte due porte stagne azionate idraulicamente per chiudere tale apertura ed evitare perdite di pressione nella camera di scavo. Lo stesso sistema può essere utilizzato in caso di soste prolungate per evitare fughe di pressione.

La coclea deve possedere un dispositivo per invertire il senso di rotazione in caso di bloccaggio, per evitare danni sulla sua struttura. La velocità di rotazione deve essere regolabile, in forma sia manuale che automatica, in funzione della velocità d'avanzamento



dello scudo, delle pressioni nella camera di scavo e della coppia della testa fresante.

L'uscita del materiale dalla coclea è regolata da una porta a ghigliottina con apertura regolabile. Lungo la coclea devono essere installati ugelli per permettere l'iniezione di prodotti specifici per il condizionamento del materiale di scavo (schiume, fanghi bentonitici, ecc) e una serie di sensori per il controllo della pressione in diversi punti (almeno 3).

L'elica e l'interno della camicia devono essere rivestite con materiale antiusura. Entrambe devono poter essere sostituite dall'interno della galleria, in caso di grave danneggiamento.

5.4.2 Il nastro trasportatore

Il materiale estratto dalla coclea viene scaricato su un nastro trasportatore primario inclinato e uno secondario sub-orizzontale, che deve assicurare a sua volta il trasferimento al sistema di smarino dell'intera galleria.

La struttura dei nastri deve essere progettata per affrontare le curve e le pendenze di progetto, e deve essere dimensionata per garantire le rese produttive richieste. I nastri devono essere dotati di tutti i sistemi di pulizia necessari in relazione ai terreni che si incontreranno nello scavo.

Il nastro deve essere fornito di bilance e di uno scanner volumetrico per la misura in continuo del materiale di scavo (controllo in peso e in volume); tali strumenti vanno installati quanto più vicino possibile al fronte, e in modo tale che risentano il meno possibile degli effetti dinamici e delle vibrazioni indotte dalla macchina. Le misure devono essere costantemente relazionate all'avanzamento della TBM per il controllo immediato di eventuali flussi di terreno in camera, per evitare così l'innesco di pericolosi fornelli o la formazione di cavità. Le bilance e lo scanner dovranno essere sottoposti a taratura periodicamente, sotto il controllo della DL.

5.4.3 Il sistema d'iniezione degli additivi

Lo scudo deve essere dotato di un sistema completo per l'iniezione di diversi prodotti (schiume, polimeri, fanghi bentonitici) per il condizionamento del terreno scavato. Tali prodotti sono necessari per migliorare la stabilità del fronte di scavo, ridurre la coppia necessaria della testa fresante, ridurre l'abrasività del terreno, migliorare la fluidità e ridurre la permeabilità del materiale scavato, facilitare l'evacuazione del materiale scavato ed evitare possibili intasamenti del materiale plastico.

L'iniezione avviene attraverso ugelli installati sulla testa fresante, nella camera di scavo e nella coclea.

Il sistema deve essere progettato specificamente per le caratteristiche geotecniche del materiale interessato dallo scavo. Per valutare il reale effetto dei vari prodotti di iniezione, e quindi mettere a punto le miscele e le quantità da utilizzare nei vari tratti dello scavo, si deve procedere ad una serie di specifiche prove in laboratorio o direttamente in sito sul materiale proveniente dagli scavi.

Tutti gli additivi utilizzati devono essere biodegradabili, non devono essere classificabili come "rifiuti tossici o pericolosi", e comunque devono condizionare il terreno in modo tale che sia possibile trasportarlo a discarica senza particolari accorgimenti. L'impianto dovrà comprendere sistemi per la generazione di schiuma, di rifornimento d'acqua e di aria compressa completi degli apparati di regolazione, consolle di comando, tubazioni e cavi elettrici.

I generatori dovranno essere installati quanto più vicino possibile ai punti d'iniezione, in modo



da evitare il deterioramento dell'additivo nella fase di trasporto. Dovrà essere garantito un controllo visivo del processo di generazione della schiuma.

Le linee d'iniezione saranno quindi suddivise tra la testa, la camera di scavo e la coclea. Tutte le linee dovranno essere indipendenti, in modo da poter diversificare, a seconda delle esigenze, la tipologia di additivo nelle varie posizioni. La portata totale d'iniezione della soluzione schiumosa, la portata massima per ogni linea e gli altri parametri del sistema d'iniezione saranno definiti nelle successive fasi di progettazione.

5.5 ALCUNI ASPETTI SULLA SICUREZZA

Le indicazioni e le prescrizioni che seguono riguardano solo alcuni aspetti della sicurezza, sono di larga massima e quindi da intendersi come puramente indicative. Il completamento e la definizione delle specifiche saranno oggetto delle successive fasi di progettazione.

5.5.1 Monitoraggio atmosferico in galleria

La TBM deve essere dotata di apparecchiature per il monitoraggio atmosferico in grado di rilevare carenza di ossigeno, la presenza di gas infiammabili (es. metano), di gas tossici e radioattivi (es. radon). I sensori di rilevazione dovranno essere montati nello scudo e lungo il back-up.

Tutte le apparecchiature per il monitoraggio atmosferico dovranno azionare segnali acustici e ottici nel caso di concentrazioni pericolose di gas tossici e/o infiammabili o in caso di carenza di ossigeno. Tutte le apparecchiature e i segnali elettrici necessari al monitoraggio e alla gestione dell'emergenza dovranno essere a tenuta stagna e antideflagranti.

5.5.2 Sistema antincendio in galleria

Lo scudo e il back-up devono essere dotati di sistemi antincendio oppure, in alternativa, di estintori con una massa di agente schiumogeno.

I sistemi antincendio dovranno essere distribuiti sulla macchina e sul back-up in luoghi dove il rischio è particolarmente alto, quali ad es.:

- area dell'operatore principale,
- in prossimità dei motori principali della testa fresante,
- gruppi idraulici d'alimentazione d'energia elettrica,
- cabine elettriche,
- trasformatori,
- quadri elettrici.

5.5.3 Operazioni di manutenzione

Tutte le procedure per la manutenzione al fronte, per il controllo dello stato della testa, per il controllo dello stato degli ugelli, per la verifica dello stato degli utensili di scavo e loro eventuale sostituzione, dovranno essere condotte con la camera di scavo parzialmente o totalmente sgombera ma comunque sempre in pressione, con una pressione garantita dal sistema di generazione d'aria compressa di cui sopra. Prima di cominciare le operazioni di manutenzione bisognerà assicurarsi che la pressione impostata si mantenga stabile nel tempo, come prova per l'impermeabilità dell'aria al fronte, precedentemente trattato con fanghi bentonitici in modo da ottenere un opportuno cake impermeabilizzante.



5.5.4 Alimentazione elettrica di emergenza

Deve essere assicurata l'alimentazione elettrica d'emergenza per alcuni componenti della TBM per mezzo di gruppi elettrogeni che intervengono automaticamente in caso d'interruzione dell'alimentazione elettrica. Tali gruppi devono consentire il mantenimento dei seguenti sistemi essenziali, ai fini del mantenimento delle condizioni di sicurezza del fronte di scavo e dell'ambiente di lavoro:

- illuminazione zona scudo, back-up e galleria;
- ventilazione;
- produzione aria compressa e sistemi di regolazione dell'aria compressa al fronte;
- sistemi di controllo elettrici dello scudo;
- funzionamento del PLC di bordo.

5.5.5 Altro

- Lungo il back-up devono essere distribuiti interruttori di emergenza per l'arresto immediato dello scudo o di alcuni suoi organi meccanici.
- Il back-up e la TBM devono sempre poter essere in contatto telefonico o radio con l'esterno.
- Deve essere sempre assicurato il contatto telefonico tra le camere iperbariche, la camera di scavo e la cabina di comando e controllo.
- Nella camera di scavo devono essere installati diversi punti luce.



6 IL RIVESTIMENTO IN CONCI PREFABBRICATI

Il rivestimento della galleria deve essere resistente ed impermeabile, esso è costituito da anelli circolari formati da conci prefabbricati e messi in opera all'interno del mantello dello scudo, immediatamente dietro la testa della TBM.

Per sopportare gli sforzi d'avanzamento dello scudo, gli elementi in calcestruzzo devono presentare un'elevata resistenza meccanica e precisione geometrica, indispensabili per evitare lo sviluppo di sforzi che possono portare alla rottura dei singoli conci.

La tenuta idraulica del rivestimento deve essere garantita attraverso l'utilizzo di una doppia fila di guarnizioni impermeabili montate sul perimetro dei singoli conci.

Le seguenti indicazioni sul rivestimento in conci prefabbricati sono da ritenersi valide sia per il sistema di scavo con Slurry shield che per il sistema con EPB.

6.1 DESCRIZIONE DEI CONCI

Il diametro interno delle gallerie a singolo binario è compreso tra un minimo di 4.70 (per il sistema VAL) e un massimo di 5.30 m (per il sistema ANSALDO), in dipendenza della sagoma del materiale rotabile che sarà adottato. In questa fase progettuale per non vincolare il sistema di trasporto si è fatto riferimento alle dimensioni massime delle gallerie ($D_i=5.30$ m). In queste ipotesi, il rivestimento definitivo delle gallerie consiste in anelli prefabbricati in c.a. della lunghezza media 1.20 m e spessore pari a 30 cm. Il diametro degli anelli di rivestimento all'intradosso è pari a 5.30 m, quello all'estradosso di 5.90 m.

Secondo quanto previsto in progetto, ogni anello è costituito da sei elementi più un concio di chiave, di dimensioni più piccole rispetto agli altri. I conci presentano delle scanalature sulle facce laterali, per l'inserimento di una doppia fila di guarnizioni impermeabili in neoprene che assicurano la tenuta idraulica del rivestimento.

Per il sistema dei conci prefabbricati si è previsto in progetto un anello di tipo "universale", che consente, mediante la semplice rotazione attorno al proprio asse di un anello rispetto al precedente, di sfalsare i giunti longitudinali e di seguire così l'andamento plano-altimetrico del tracciato e di apportare le eventuali correzioni in corso d'opera, senza la necessità di ricorrere ad anelli speciali.

6.2 MODALITÀ ESECUTIVE DI MONTAGGIO

I singoli conci vengono montati tra loro e collegati all'ultimo anello messo precedentemente in opera, l'operazione avviene all'interno del mantello dello scudo. Nel montare un nuovo anello occorre assicurarsi che non ci siano giunti longitudinali allineati con l'anello precedente già montato. Per ogni anello occorre prendere nota della posizione del concio di chiave.

Secondo quanto indicato nei disegni di progetto i conci vengono assemblati in senso circonferenziale (giunti trasversali) per mezzo di bulloni d'acciaio zincato che possono essere eventualmente recuperati man mano che il fronte di scavo avanza. Per il collegamento tra gli anelli di rivestimento successivi (giunti longitudinali) sono state previste barre guida in materiale plastico, da predisporre sulla faccia anteriore dell'anello già montato prima del posizionamento dei nuovi conci.

L'Appaltatore potrà comunque prevedere soluzioni alternative di almeno pari efficienza rispetto a quelle proposte in questo progetto.



6.3 GUARNIZIONI PER LA TENUTA STAGNA

La tenuta stagna tra i giunti (sia longitudinali che circonferenziali) deve essere garantita attraverso una doppia fila di guarnizioni in gomma, le guarnizioni sono schiacciate l'una contro l'altra attraverso il serraggio dei bulloni e la spinta dei martinetti della testa della TBM sull'anello di rivestimento.

Deve essere garantita la tenuta idraulica sotto una pressione di 6 bar, tenuto in debito conto il possibile errore (disassamento) di montaggio tra i due conci. Le guarnizioni devono essere resistenti agli agenti atmosferici (raggi solari UV e calore) cui sono soggette durante lo stoccaggio dei conci all'aperto. Le guarnizioni dovranno essere montate con gran cura ricorrendo ad adeguati collanti, per evitare in ogni modo il loro distacco dagli alloggiamenti previsti sulle facce dei conci nelle fasi di stoccaggio, di movimentazione e di posa in opera.

6.4 GUARNIZIONI PER LA RIPARTIZIONE DELLE PRESSIONI

Nella sezione di contatto dei giunti occorre prevedere una placca di fibra dura o di materiale elastomerico, al fine di assicurare la corretta ripartizione delle pressioni.

6.5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

✓ Calcestruzzo

Il calcestruzzo dovrà soddisfare la classe di resistenza Rck 45 N/mm² ed il mix dovrà essere studiato in modo da rispettare la prescrizione della norma UNI-EN-201-1-2001 per ambienti moderatamente aggressivi (classe di esposizione XC2).

Il calcestruzzo deve essere confezionato in un impianto di produzione con controlli automatici degli inerti, del cemento, dell'acqua e degli additivi.

La composizione e le caratteristiche fisico-meccaniche del calcestruzzo devono essere individuate mediante idonee prove approvate e controllate dalla D.L.

✓ Armatura

Dovrà essere del tipo FeB 44k controllato in stabilimento.

Il copriferro dovrà essere di almeno 40 mm.

6.6 IL SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE DEI CONCI

I conci sono trasportati all'interno della galleria con mezzi di trasporto su rotaia sino al punto di scarico, e caricati su apposito convogliatore installato nel back-up, che a sua volta provvede ad avvicinarli all'area di montaggio.

Il sistema può variare secondo la configurazione adottata dal costruttore. Può essere costituito ad es. da una gru che solleva ciascun concio e lo deposita su un convogliatore che immagazzina un set completo di anello, collocato sopra un carro del back-up a ridosso dello scudo. Da qui ogni concio viene traslato ad una tavola di trasferimento che porta ciascun segmento alla posizione di presa dell'erettore.

Un altro sistema può essere costituito da un alimentatore dei conci posto all'altezza dei binari di servizio, a ridosso della coda dello scudo, sul quale tramite un ponte gru vengono posati tutti i segmenti dell'anello. Da qui con un movimento di traslazione i conci vengono posti uno ad uno sotto la posizione di presa dell'erettore, per la successiva posa in opera.



Metropolitana automatica Leggera della città di Palermo.

Prima linea Tratta funzionale Oreto-Notarbartolo.

Relazione sul sistema di scavo meccanizzato e Specifiche Tecniche TBM

6.7 ERETTORE

La posa in opera dei conci all'interno della galleria è prevista con un erettore, munito d'idoneo sistema d'aggancio e dotato di tutte le necessarie predisposizioni di sicurezza. L'erettore deve avere la capacità di movimentare conci delle dimensioni e peso previsti in progetto.

I sistemi di movimento dell'erettore devono essere comandati idraulicamente, e devono permettere diverse possibilità: movimento assiale per lo smontaggio di uno o due anelli, erezione, rotazione del concio attorno all'asse principale dell'erettore, rotazione attorno all'asse della galleria, e lenti movimenti finali in qualsiasi direzione. La trave di scorrimento dell'erettore deve essere di lunghezza tale che possa permettere la rimozione del penultimo anello posato in caso di rottura dell'anello stesso o di problemi alla guarnizione della coda.

Il sistema d'aggancio può essere realizzato secondo diversi schemi: con pinze che stringono verso l'interno o verso l'esterno di una maschera metallica preventivamente imbullonata sulla superficie interna del concio, o con accoppiamento a vite su un inserto inglobato nel calcestruzzo realizzata in materiale plastico, o anche con sistema a vuoto d'aria omologato. L'erettore deve essere dotato di un sistema automatico di sicurezza che impedisce il sollevamento del concio nel caso d'imperfetto aggancio.



7 INIEZIONI D'INTASAMENTO A TERGO DEI CONCI

Lo spazio anulare compreso tra il profilo dello scavo e l'estradosso degli anelli di rivestimento deve essere riempito con una miscela d'iniezione in pressione, durante la fase d'avanzamento, per consentire il definitivo fissaggio dell'anello ed evitare o limitare possibili assestamenti del terreno che potrebbero ripercuotersi in superficie sotto forma di cedimenti.

Le modalità d'iniezione sono essenzialmente due:

- attraverso tubazioni inserite nella coda dello scudo e distribuite sulla circonferenza;
- attraverso i conci di rivestimento;

Il primo sistema è quello che soddisfa l'esigenza di limitare i cedimenti in superficie e viene eseguito contemporaneamente all'avanzamento dello scudo, ed è quindi il sistema che viene normalmente utilizzato e che viene prescritto in questo progetto. L'iniezione attraverso gli inserti predisposti nei conci interviene in ritardo rispetto all'avanzamento con il rischio di lasciare pericolosi spazi vuoti all'esterno del rivestimento. Tale sistema viene eventualmente adoperato in seconda battuta, per completare possibili porzioni rimaste vuote in calotta.

Il sistema d'iniezione è costituito principalmente da un serbatoio contenente la malta, dalle pompe per l'iniezione e dalle linee di alimentazione installate nella coda dello scudo.

La malta di iniezione viene fornita da un vagone provvisto di agitatore (mortar car) che è collegato con tubature alle pompe di iniezione. Può essere anche previsto un serbatoio supplementare, con agitatore, montato sul back-up che viene riempito mediante tubature flessibili che lo collegano al vagone portamalta. Comunque la malta disponibile con continuità per ogni anello deve essere almeno il 30% in più del volume teorico.

Dovranno essere previste almeno tre pompe d'iniezione, del tipo a doppio stantuffo, che assicurino, ciascuna, una portata oraria (alle pressioni richieste) adeguata alle necessità d'intasamento ordinario e straordinario (eventuali vuoti determinati da eccessivo sovrascavo, innesco di fornelli, etc.); le pompe devono essere complete delle necessarie centraline idrauliche, quadri elettrici etc.

Le pompe dovranno essere installate il più vicino possibile ai punti d'iniezione, per evitare l'eventuale ma possibile otturazione delle tubazioni flessibili di collegamento.

Devono essere previsti almeno sei punti di iniezione funzionanti in ogni momento. Ogni linea di iniezione ne avrà una di riserva delle medesime caratteristiche, per garantirsi da malfunzionamenti a seguito di intasamento, per un totale di almeno dodici linee, tutte installate all'interno dello scudo ed equamente distribuite lungo la circonferenza dello stesso. La sezione delle linee deve avere un diametro interno equivalente di almeno 50 mm.

Le sei linee di iniezione in funzione dovranno poter essere attivate indipendentemente a due a due (quindi tre gruppi da due) grazie al sistema di alimentazione indipendente per ogni gruppo.

Deve essere previsto un sistema di controllo in continuo dei volumi di malta iniettati e della pressione d'iniezione, al fine di avere sempre prova che l'iniezione ha soddisfatto entrambi i requisiti di volume e pressione.

In corrispondenza del tratto terminale di ogni linea d'iniezione (punti di immissione nella coda della macchina) deve essere installato un trasduttore di pressione, in posizione tale da evitare che un eventuale accumulo di materiale pregiudichi la sua capacità di misura.

Le linee di alimentazione devono essere dotate di portelli per facilitare l'operazione di pulizia delle tubazioni, in caso di otturazione delle medesime.

Il sistema di iniezione deve essere sincronizzato con la velocità di scavo della macchina, di modo che in caso di improvviso arresto della TBM anche le pompe si arrestino al



raggiungimento del valore di massima pressione impostato.

7.1 MODALITÀ ESECUTIVE

Il vuoto tra l'estradosso del rivestimento ed il profilo dello scavo deve essere riempito con una miscela di adeguate caratteristiche, in modo da mettere in contatto il rivestimento con il terreno circostante e quindi fissare definitivamente e stabilmente l'anello.

L'iniezione dovrà interessare ogni singolo anello che fuoriesce dal mantello durante la spinta. Le operazioni di iniezione devono avvenire con continuità, mentre il singolo anello fuoriesce dalla coda.

Deve essere prevista una modalità accessoria per eseguire l'eventuale intasamento supplementare (o iniezione secondaria) attraverso i conci per mezzo di inserti passanti muniti di valvole di ritegno, qualora si registrassero dei vuoti a tergo del rivestimento.

In corso d'opera dovranno essere effettuati, nei tempi e quantità da stabilire di concerto con la D.L. carotaggi sul rivestimento per il prelievo di campioni della miscela consolidata, al fine di verificare il completo riempimento dello spazio anulare tra l'anello del rivestimento ed il terreno retrostante. Nel caso si riscontrassero dei vuoti questi dovranno essere prontamente riempiti mediante l'iniezione secondaria.

7.2 MISCELA D'INIEZIONE

La miscela di iniezione riveste un ruolo fondamentale per la corretta esecuzione dell'opera, e in particolare per un efficace controllo dei cedimenti in superficie. Essa deve avere le seguenti caratteristiche:

- essere sufficientemente lavorabile per essere pompata con continuità,
- garantire tempi di presa compatibili con i livelli produttivi della macchina di scavo (comunque entro 6-8 ore dalla messa in opera),
- avere una viscosità tale da non disperdersi nel terreno, e tale comunque da consentire il pompaggio senza provocare otturazioni nelle tubazioni,
- avere una composizione tale da permettere di riempire completamente il vuoto anulare tra i conci e il profilo di scavo,
- tenere in conto le esigenze operative, in modo che la sua messa in opera non penalizzi l'ottimale ciclo di lavorazione,
- risultare idonea alla funzione definitiva di solidarizzazione, stabilizzazione dei conci e riempimento dei vuoti,
- essere confezionata preferibilmente direttamente in cantiere, e comunque da un impianto dedicato, per evitare un accidentale contaminazione con inerti non idonei, che possono intasare e ostruire le linee di iniezione.

A puro titolo indicativo la miscela potrà essere una malta di tipo consistente (cementizia o semi-inerte) confezionata con sabbia, cemento, filler, bentonite, additivi fluidificanti ed acceleranti; oppure, in alternativa, del tipo bicomponente costituita da due sostanze che, iniettate separatamente attraverso la bocca di iniezione, a contatto tra loro formano un gel leggero. In tal caso i due componenti sono costituiti uno da una miscela di materiale solidificante (cemento) con stabilizzatore e l'altro da un acceleratore d'indurimento,



8 MONITORAGGIO

Il computer di bordo nella cabina di comando della TBM deve consentire la gestione della guida, dei controlli, degli allarmi e dei difetti della macchina e del sistema di scavo in genere. Il computer deve avere inoltre riscontro delle deformazioni indotte dallo scavo in superficie, attraverso un collegamento dedicato con il sistema di monitoraggio centrale (v. Relazione sul monitoraggio)

I dati del monitoraggio devono essere registrati in tempo reale con una frequenza idonea per ogni tipologia di dato. In linea di principio si prevede la registrazione dei seguenti parametri, distinti nel caso di scavo con Slurry shield (SISh) o con EPB.

8.1 SISTEMA DI GUIDA [SLSH -EPB]

Lo scudo deve essere fornito di un sistema di controllo e registrazione dei parametri spaziali della macchina in rapporto all'asse teorico della galleria, basato sull'impiego di sistemi a raggi laser, sistemi di rilevamento del punto laser sulla sezione di scavo, sistema inclinometrico dell'assetto assiale e trasversale del corpo macchina, elaboratore dei dati strumentali, schermo di lettura degli scostamenti attuali e previsti rispetto all'asse plano-altimetrico teorico.

Devono essere fornite almeno le seguenti informazioni:

- posizione altimetrica rispetto all'asse teorico [SISh-EPB],
- posizione planimetrica rispetto a quella teorica [SISh -EPB],
- inclinazione verticale ed orizzontale rispetto all'asse teorico [SISh -EPB],
- tendenza (sia verticale che orizzontale) rispetto all'asse teorico [SISh -EPB],
- rullaggio dello scudo (rotazione intorno al proprio asse) [SISh -EPB],
- coordinate della posizione dello scudo [SISh -EPB],
- progressiva d'avanzamento riferita al bordo anteriore dello scudo [SISh -EPB].

Gli spostamenti ammissibili plano-altimetrici dell'asse reale rispetto a quello teorico potranno avere una tolleranza non superiore a ± 5 cm.

8.2 TESTA FRESANTE E CAMERA DI SCAVO [SLSH -EPB]

I parametri da registrare sono almeno i seguenti:

- momento torcente applicato sulla testa fresante [SISh -EPB],
- velocità di rotazione della testa fresante [SISh -EPB],
- pressione di spinta della testa fresante [SISh -EPB],
- penetrazione della testa fresante [SISh -EPB],
- direzione di rotazione della testa fresante [SISh -EPB],
- consumo corrente motori testa fresante [SISh -EPB],
- profilo della sezione di extrascavo [SISh -EPB],
- posizione dei portelloni di brandeggio [SISh -EPB],
- pressione dei sensori nella camera di scavo su almeno tre livelli: in calotta, in asse scudo e al livello dell'arco rovescio [SISh -EPB],
- pressione e portata dell'aria compressa [SISh -EPB],
- pressione e portata della bentonite [SISh -EPB],
- pressione nella camera di scavo [EPB].



8.3 SISTEMA DI SPINTA [SLSH -EPB]

I parametri da registrare sono almeno i seguenti:

- pressione dei martinetti di spinta [SISh -EPB],
- corsa dei martinetti di spinta [SISh -EPB],
- velocità d'avanzamento [SISh -EPB],
- forza totale di avanzamento [SISh -EPB].

8.4 SISTEMA D'INIEZIONE DELLA MALTA [SLSH -EPB]

I parametri da registrare sono almeno i seguenti:

- pressione linee di iniezione misurata in prossimità del punto di iniezione [SISh -EPB],
- portata e pressione di ogni pompa [SISh -EPB],
- volumi iniettati [SISh -EPB].

8.5 SISTEMA D'INIEZIONE DEL GRASSO [SLSH -EPB]

I parametri da registrare sono almeno i seguenti:

- pressione del grasso nel punto terminale delle linee di alimentazione [SISh -EPB],
- portata del grasso nel punto terminale delle linee di alimentazione [SISh -EPB].

8.6 SISTEMA DI CIRCOLAZIONE DEI FANGHI [HS]

I parametri da registrare sono almeno i seguenti:

- densità del fango inviato nella camera di scavo [SISh],
- densità del fango inviato all'impianto di separazione [SISh],
- portata del fango inviato nella camera di scavo [SISh],
- portata del fango inviato all'impianto di separazione [SISh],
- pressioni delle pompe per l'invio del fango nella camera di scavo e all'impianto di separazione [SISh].

8.7 SISTEMA D'INIEZIONE DEGLI ADDITIVI [EPB]

I parametri da registrare sono almeno i seguenti:

- quantità, pressione e tipologia degli additivi iniettati per ogni linea della testa fresante [EPB],
- quantità, pressione e tipologia degli additivi iniettati per ogni linea della camera di scavo [EPB],
- quantità, pressione e tipologia degli additivi iniettati per ogni linea della coclea [EPB],
- per ogni tipologia di additivo le sue caratteristiche fisiche/meccaniche principali [EPB],
- per ogni generatore di schiuma: FIR (Foam injection rate), FER {foam expansion rate), Cf (concentrazione dell'agente schiumogeno), Q (portata schiuma prodotta) [EPB].

8.8 SISTEMA D'ESTRAZIONE DEL MATERIALE [EPB]

I parametri da registrare sono almeno i seguenti:

- velocità di rotazione della coclea [EPB],
- coppia impegnata [EPB],
- pressione di terra all'entrata, all'uscita e in un punto intermedio della coclea [EPB],
- coefficiente di riempimento della coclea [EPB],



- misura della corsa del portello della coclea [EPB],
- peso del materiale scaricato, attraverso bilance installate sul nastro [EPB],
- volume del materiale scaricato, attraverso scanner installato sul nastro [EPB],
- misura del gas metano all'uscita della coclea [EPB],
- forza di tiro [EPB].

8.9 SISTEMA DI POSA IN OPERA DEI CONCI PREFABBRICATI [SLSH -EPB]

I dati da registrare sono almeno i seguenti:

- numero anello [SISh -EPB],
- posizione del concio di chiave [SISh -EPB],
- data di inizio della posa in opera dell'anello [SISh -EPB],
- data di completamento dell'anello [SISh -EPB],
- tempo totale per ciascun anello [SISh -EPB],
- tempo totale in avanzamento [SISh -EPB],
- tempo totale di assemblaggio concio [SISh -EPB],
- tempo totale di fermo attività [SISh -EPB],
- volume teorico scavato [SISh -EPB].

8.10 ALTRE MISURE [SLSH -EPB]

Altri parametri da registrare possono essere ad esempio i seguenti:

- temperature e livelli degli olii relativi ai singoli sistemi oleodinamici della macchina (sistema di scavo, sistema di spinta, erettore, coclea, nastro trasportatore, convogliatore concii, etc.), evidenziando i valori di soglia d'attenzione e d'allarme [SISh -EPB],
- monitoraggio delle condizioni ambientali in galleria (temperatura, umidità, ...) [SISh -EPB],
- controllo dei volumi e delle pressioni delle malte di intasamenti iniettate a tergo del rivestimento definitivo [SISh -EPB],
- portata del sistema di ventilazione [SISh -EPB].

8.11 RESTITUZIONE E DISTRIBUZIONE DEI DATI DI MONITORAGGIO

Il sistema di registrazione ed elaborazione dei dati del monitoraggio deve permettere la rappresentazione dei risultati mediante grafici immediatamente comprensibili, con unità di misura e scale dei tempi opportune. Il software di gestione dei dati deve permettere ulteriori operazioni matematiche sulla serie di misure per agevolarne l'interpretazione.

Tutti i dati sopra elencati devono essere messi in relazione con i dati provenienti dal monitoraggio in superficie, di cui alla Relazione sul monitoraggio, in modo da consentire la rielaborazione dei parametri di lavoro della TBM al fine di minimizzare i cedimenti in superficie.

Tutti i dati relativi ai parametri di scavo, ai parametri operativi della macchina nel suo complesso, alle deformazioni indotte sia in profondità che in superficie, dovranno essere messi a disposizione della Committente, della Direzione Lavori e del Progettista, in tempo reale e in modo assolutamente trasparente. La trasmissione dei dati avviene generalmente via Internet, su siti dedicati accessibili attraverso password. I dati dovranno essere aggiornati in continuo o con la periodicità indicata, e resi disponibili sia in cantiere che in ogni altra sede, compreso all'interno della macchina stessa, sotto forma di grafici immediatamente leggibili, strutturati ed elaborati secondo quanto indicato dalla Direzione Lavori e/o dal Progettista.