

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO:



SOCI:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO

ITINERARIO NAPOLI - BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA

GN03 - GALLERIA NATURALE ROCCHETTA DA KM 10+074 A KM 16+623

ELABORATI GENERALI

Monitoraggio in macchina e in avanzamento nello scavo meccanizzato

APPALTATORE	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Consorzio HIRPINIA AV Il Direttore Tecnico Ing. Vincenzo Moriello 10/06/2020	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. G. Cassani	 Ing. G. Cassani

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

IF28	01	E	ZZ	RH	GN0300	003	B	-
------	----	---	----	----	--------	-----	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione per consegna	G. Lodigiani	21/02/2020	B. Spigarelli	21/02/2020	M. Gatti	21/02/2020	Ing. G. Cassani
B	Revisione per istruttoria	G. Lodigiani	10/06/2020	B. Spigarelli	10/06/2020	M. Gatti	10/06/2020	
								10/0672020

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF28</td> <td style="text-align: center;">01</td> <td style="text-align: center;">E ZZ RH</td> <td style="text-align: center;">GN0300 003</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">2 di 15</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF28	01	E ZZ RH	GN0300 003	B	2 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF28	01	E ZZ RH	GN0300 003	B	2 di 15													
PROGETTO ESECUTIVO Monitoraggio in macchina e in avanzamento nello scavo meccanizzato																		

Indice

1	INTRODUZIONE	3
2	OBIETTIVI DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO.....	4
3	MONITORAGGIO DEL SISTEMA DI GUIDA	5
4	SISTEMA DI ACQUISIZIONE E GESTIONE DEI DATI MACCHINA.....	7
4.1	DATI SULLE CARATTERISTICHE DEI TERRENI.....	7
4.2	DATI SULLA PRODUZIONE	7
4.3	VOLUMI DI SCAVO E RIEMPIMENTO.....	7
4.4	PARAMETRI DELLA MACCHINA.....	8
4.5	PARAMETRI DI PRESSIONE IN CAMERA DI SCAVO.....	8
4.6	GRAFICI DI CONTROLLO.....	9
5	MONITORAGGIO IN AVANZAMENTO	11
5.1	INDAGINI DIRETTE	11
5.2	INDAGINI INDIRETTE.....	12
6	STRATEGIA PER L'AVANZAMENTO	14

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF28</td> <td style="text-align: center;">01</td> <td style="text-align: center;">E ZZ RH</td> <td style="text-align: center;">GN0300 003</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">3 di 15</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF28	01	E ZZ RH	GN0300 003	B	3 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF28	01	E ZZ RH	GN0300 003	B	3 di 15													
PROGETTO ESECUTIVO Monitoraggio in macchina e in avanzamento nello scavo meccanizzato																		

1 INTRODUZIONE

La presente relazione è parte integrante del progetto esecutivo per il raddoppio della linea ferroviaria Apice – Hirpinia; tale progetto si inserisce nel più ampio ambito di riqualificazione e potenziamento dell'itinerario ferroviario Roma - Napoli – Bari.

Nell'ambito di questa tratta è presente la galleria Rocchetta, oggetto della presente relazione, che si estende per oltre 6 Km.

Oggetto della presente relazione sono le attività di monitoraggio da condurre in macchina durante le fasi di avanzamento, relative sia ai parametri di guida sia ad attività di monitoraggio vere e proprie.

Nel seguito, dopo avere individuato gli obiettivi che si intendono perseguire con il monitoraggio nel corso degli scavi, si riporta una descrizione di dettaglio del sistema previsto.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Monitoraggio in macchina e in avanzamento nello scavo meccanizzato	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0300 003	REV. B	FOGLIO 4 di 15

2 OBIETTIVI DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Il sistema di monitoraggio in macchina ed in avanzamento predisposto si sviluppa secondo tre principali elementi:

- Controllo dei parametri di guida;
- Controllo dei parametri operativi della TBM;
- Monitoraggio in avanzamento.

Il controllo dei parametri di guida è finalizzato alla verifica della corrispondenza dello scavo con il tracciato plano-altimetrico di progetto della galleria, al fine di operare tempestivamente eventuali correzioni in corso d'opera in caso di scostamenti.

La raccolta e l'analisi dei parametri operativi di funzionamento della TBM fornisce un riscontro di monitoraggio per verificare il buon andamento degli avanzamenti.

Il parametro più significativo dal punto di vista progettuale è rappresentato dalla pressione in camera di scavo, il cui valore è indicato nei profili di progetto per ciascuna tratta di galleria a comportamento omogeneo e dovrà quindi essere tenuto costantemente sotto controllo nel corso degli avanzamenti. Riduzioni inattese del valore di pressione al fronte potrebbero segnalare una perdita del fluido contenuto all'interno della camera di scavo a causa dell'intercettazione di cavità o di zone di ammasso in avanzata fase di dissoluzione, che potrebbe rendere inefficace l'azione di confinamento del fronte atta a garantirne la stabilità.

Il controllo dello smarino (volume e peso) fornirà indicazioni sulla qualità dell'ammasso attraversato oltre che rappresentare un elemento di controllo del mantenimento della sagoma di scavo. Allo stesso modo assume grande importanza la verifica della pressione e del volume delle malte di backfilling, che dovrà essere eseguito sia da "mortar car" che sui valori registrati dal sistema operativo della TBM.

Importanti indicazioni sulle proprietà dell'ammasso verranno fornite anche dai parametri macchina propriamente detti (forza di spinta, coppia torcente, velocità di avanzamento, ecc.).

L'esecuzione di un monitoraggio in avanzamento, da correlare con i parametri operativi registrati sulla fresa, consentirà un ulteriore controllo dell'ammasso anche in condizioni particolari come quelle caratteristiche dello scavo meccanizzato, in cui il fronte di scavo non risulta direttamente visibile. Il monitoraggio sarà effettuato in continuo per via indiretta (sistema BEAM) prevedendo invece misure dirette puntuali in corrispondenza di specifiche situazioni locali puntuali e/o in caso di segnalazione di valori anomali dagli altri elementi del sistema.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Monitoraggio in macchina e in avanzamento nello scavo meccanizzato	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0300 003	REV. B	FOGLIO 5 di 15

3 MONITORAGGIO DEL SISTEMA DI GUIDA

La TBM sarà attrezzata con un'apposito sistema di guida che consentirà di misurare in continuo i dati relativi alla posizione della macchina rispetto al tracciato teorico di progetto, in modo tale da consentire una calibrazione in corso d'opera degli avanzamenti.

In particolare il sistema di guida della macchina visualizzerà in continuo, sia graficamente che numericamente, la posizione della TBM (asse geometrico) in relazione all'asse del tracciato del tunnel. Il sistema fornirà inoltre la posizione assoluta di un punto in asse posto sulla coda dello scudo e di un punto in asse posto in prossimità della testa di scavo, l'inclinazione verticale e orizzontale dell'asse della TBM (relativamente alla posizione teorica dell'asse), nonché la rotazione dello scudo intorno al proprio asse.

L'operatore in macchina potrà quindi visualizzare, istante per istante, lo scostamento (verticale ed orizzontale) del centro della testa di scavo dal punto dell'asse teorico della galleria su un piano perpendicolare allo stesso.

In pratica, il sistema di guida visualizzerà graficamente e numericamente la "tendenza" verticale ed orizzontale della TBM, riferita all'asse teorico, calcolando l'eventuale curva di correzione e visualizzando la posizione della TBM relativamente a detta curva.

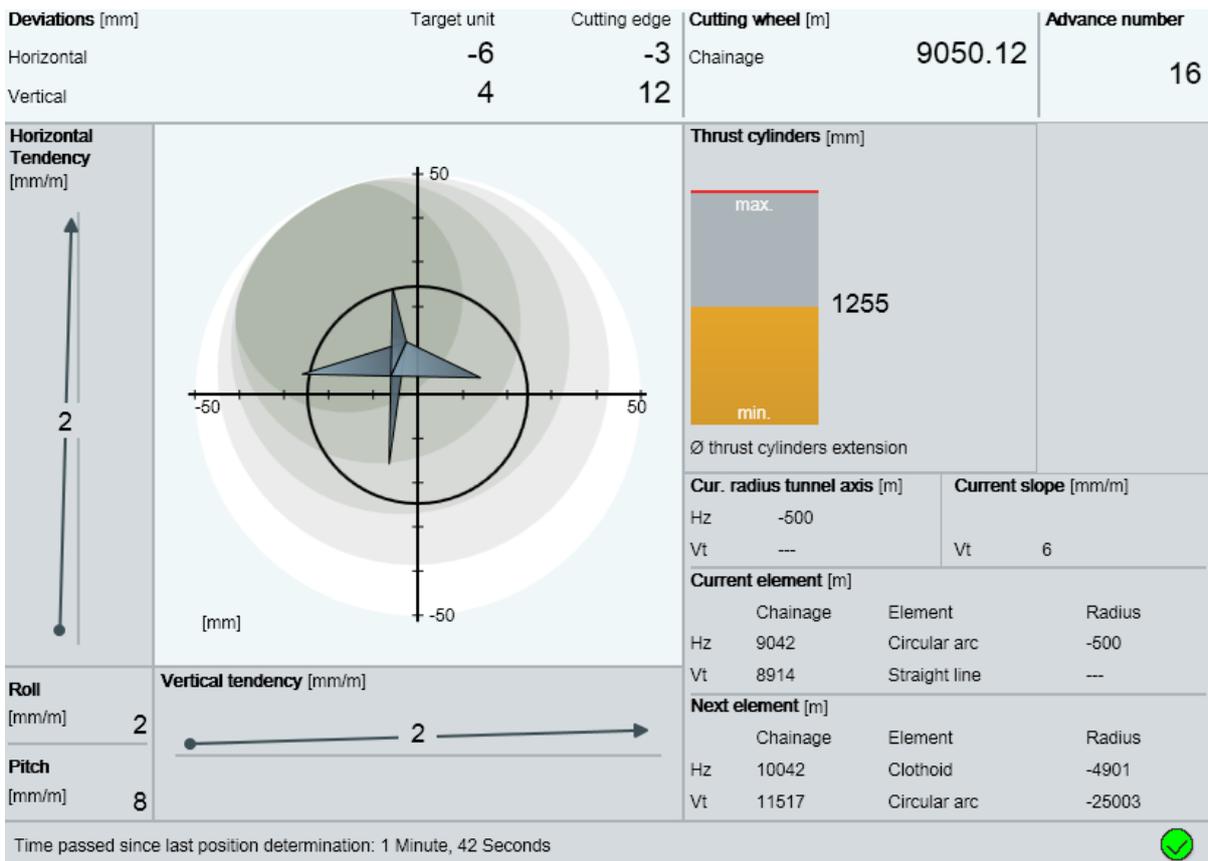


Figura 1 – Esempio di monitoraggio del sistema di guida

Tutti i dati di guida saranno registrati in continuo su un apposito sistema di acquisizione, che consentirà di individuare in tempo reale il superamento di valori di soglia, attenzione o allarme (con riferimento ad un valore di tolleranza del raggio di scavo rispetto al gabarit di progetto di 15 cm), garantendo quindi una tempestiva messa in opera delle opportune azioni di mitigazione.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">IF28</td> <td style="text-align: center;">01</td> <td style="text-align: center;">E ZZ RH</td> <td style="text-align: center;">GN0300 003</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">6 di 15</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF28	01	E ZZ RH	GN0300 003	B	6 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF28	01	E ZZ RH	GN0300 003	B	6 di 15													
PROGETTO ESECUTIVO Monitoraggio in macchina e in avanzamento nello scavo meccanizzato																		

Il sistema VMT permetterà inoltre di proporre, nell'ambito delle posizioni consentite dalla rotazione dell' "anello universale", quella che consenta di ridurre al minimo lo scostamento tra l'asse di tracciamento e l'asse del rivestimento in conci prefabbricati.

Oltre al sistema di guida e di controllo della posizione TBM mediate VMT, verrà inoltre effettuato, durante i lavori di scavo, il controllo di livellazione topografica con "topografia tradizionale", impiegando un sistema di riferimento con caposaldi di partenza posizionati all'esterno della galleria.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Monitoraggio in macchina e in avanzamento nello scavo meccanizzato	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0300 003	REV. B	FOGLIO 7 di 15

4 SISTEMA DI ACQUISIZIONE E GESTIONE DEI DATI MACCHINA

Lo scavo meccanizzato comporta una singolarità nella pratica di esecuzione di una galleria dal punto di vista dell'esame del terreno scavato poiché non è possibile rilevare il "fronte di scavo", ad eccezione di rilievi puntuali, quando viene arrestata la fresa per la pulizia della testa di scavo. Assume quindi grande importanza provvedere ad un attento e continuo controllo e analisi dei parametri rilevati nel corso degli avanzamenti, predisponendo un programma informatico di gestione dei parametri chiave, così da disporre di tabelle e grafici di semplice ed immediata comprensione, da correlare, tra l'altro, con i risultati del sistema di monitoraggio predisposto.

4.1 DATI SULLE CARATTERISTICHE DEI TERRENI

Il terreno scavato, che viene estratto dalla camera al fronte mediante la coclea e trasportato all'esterno mediante nastro, dovrà essere attentamente visionato, al fine di verificarne, seppur qualitativamente, le caratteristiche geotecniche, con particolare riferimento alla granulometria. La percentuale di materiale fine acquista un ruolo fondamentale sulla tipologia e sulle caratteristiche del condizionamento del materiale da adottare in camera di scavo, da cui dipende il raggiungimento delle proprietà necessarie, in termini di plasticità e fluidità del mezzo, per il mantenimento della pressione di bilanciamento. Allo scopo potranno essere condotte occasionalmente prove di laboratorio.

Queste ultime risultano necessarie anche per la determinazione del peso di volume del materiale estratto, γ_{nat} ; questo parametro è fondamentale per la definizione del volume di materiale scavato a partire dal peso dello stesso, come verrà discusso nel seguito.

Per analizzare le caratteristiche di consistenza del terreno è possibile inoltre utilizzare due parametri individuati dal rapporto tra "Forza di spinta" (F) e "Velocità di avanzamento" (v), rapporto denominato *Indice di qualità diretta del terreno* (D.Q.I.), e tra "Momento torcente della testa" e "Penetrazione" (p), denominato *Indice di Qualità Indiretta del terreno* (I.Q.I.).

Il D.Q.I. ha le dimensioni di una forza diviso una velocità e corrisponde ad una "resistenza meccanica", mentre I.Q.I. ha le dimensioni di una forza moltiplicata una velocità angolare e corrisponde concettualmente alla potenza necessaria per ruotare la testa all'interno del terreno.

Questi indici rappresentano un buon modo di valutare oltre alle caratteristiche del terreno anche la riuscita del condizionamento. Nel caso del primo rapporto tanto più è maggiore tanto migliore è la qualità meccanica del terreno. Anche nel secondo caso concettualmente è possibile giungere alle medesime conclusioni, ma poiché il torque della macchina è grandemente influenzato da fenomeni attritivi tra muck e cutterhead la correlazione con le caratteristiche del terreno è più incerta.

4.2 DATI SULLA PRODUZIONE

Al fine di analizzare il ciclo di produzione previsto per l'avanzamento, soprattutto durante i primi mesi di scavo, assume grande importanza la registrazione dei tempi necessari allo svolgimento delle singole attività previste, con particolare attenzione per:

- Durata della fase di scavo;
- Durata delle fase di installazione dell'anello di rivestimento;
- Registrazione di eventuali fermi macchina, per manutenzioni ordinarie o straordinarie.

Il rapporto tra il tempo di scavo e di posa dell'anello di rivestimento permette di condurre valutazioni sul livello di sistematica dell'avanzamento. Il rapporto tra fermi e ciclo di avanzamento permette di evidenziare il "livello di efficienza" del sistema e di verificare le eventuali connessioni tra fermi macchina, detensionamento del fronte di scavo e cedimenti in superficie.

4.3 VOLUMI DI SCAVO E RIEMPIMENTO

Al fine di effettuare un indispensabile equilibrio tra volumi scavati, volume della galleria e volume della miscela cementizia di riempimento a tergo dell'anello, appare necessario procedere alla registrazione in continuo di:

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Monitoraggio in macchina e in avanzamento nello scavo meccanizzato	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0300 003	REV. B	FOGLIO 8 di 15

- Peso del materiale scavato ad ogni spinta di avanzamento; attraverso la conoscenza del peso di volume del materiale condizionato (per il quale, come detto, occorrono sistematiche prove di laboratorio), è possibile determinare il volume del materiale estratto;
- Velocità di rotazione della coclea;
- Volume della miscela iniettata dalla coda dello scudo;
- Pressione di iniezione della miscela cementizia (per ogni iniettore).

Nota il volume teorico di scavo ed il volume della galleria, compreso dello spessore di rivestimento, è così possibile individuare, a partire dal volume di materiale scavato durante ogni step di avanzamento, l'eventuale prodursi di sovrascavi o vuoti al contorno del profilo di scavo, così da predisporre il corretto quantitativo di miscela e malta cementizia di riempimento.

Il rapporto tra volume di materiale scavato e volume di malta cementizia iniettata, quest'ultimo determinato attraverso il numero di pompate noto il quantitativo di ciascuna pompata, deve pertanto essere il più possibile costante e deve essere attentamente tenuto sotto controllo.

La pressione di iniezione della miscela di riempimento permette di valutare l'affidabilità della riuscita del riempimento, nonché stimare eventuali convergenze aggiuntive dovute alla pressione esterna del terreno e dell'acqua.

4.4 PARAMETRI DELLA MACCHINA

Di grande utilità per una corretta interpretazione degli scavi è anche il monitoraggio dei parametri di avanzamento della macchina, quali:

- Forza di spinta totale (valore medio del ciclo di avanzamento), espressa in KN;
- Momento torcente della testa (valore medio del ciclo di avanzamento), espresso in MNm;
- Velocità di avanzamento medio, espressa in mm/min;
- Corsa dei pistoni, espressa in mm;
- Pressione dei singoli martinetti.

I suddetti parametri consentono di stimare in modo indiretto le proprietà meccaniche del materiale, e forniscono, in particolare modo il valore di spinta, una prima stima della pressione di confinamento del fronte di scavo, ovvero da un lato della difficoltà/facilità di avanzamento (quest'ultimo dato si riscontra anche esaminando la velocità di avanzamento – penetrazione) e dall'altro delle possibili ripercussioni in superficie in rapporto alla spinta globale esercitata dal terreno e dall'acqua sulla macchina.

I dati relativi ai singoli martinetti, corsa e pressione locale, permettono di esaminare la distribuzione delle pressioni in sezione ed eventuali anomalie di spinta (dissimmetrie rispetto all'asse verticale), da correlare con i dati rilevati dal sistema di guida della TBM.

4.5 PARAMETRI DI PRESSIONE IN CAMERA DI SCAVO

La pressione in camera di scavo (e la sua distribuzione lungo l'altezza del fronte) è sicuramente il dato che maggiormente si presta ad un confronto tra quanto rilevato in situ e le ipotesi espressi in fase di progetto. La macchina presenta, in corrispondenza del bulkhead (parete stagna che separa la galleria dalla parte anteriore dello scudo dove agisce la testa di scavo), appositi sensori per la misura dei valori di pressione, disposti a diverse altezze sui due lati della circonferenza.

Risulta di fondamentale importanza il rilievo dei seguenti valori di pressione:

- Pressione della camera di scavo, misurata in bar, in corrispondenza della calotta della macchina (average top pressure);
- Pressione della camera di scavo, misurata in bar, in corrispondenza del piano dei centri (average middle pressure);

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Monitoraggio in macchina e in avanzamento nello scavo meccanizzato	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0300 003	REV. B	FOGLIO 9 di 15

- Pressione della camera di scavo, misurata in bar, in corrispondenza dell'arco rovescio (average bottom pressure);
- Rapporto delle suddette pressioni fra l'inizio e la fine del ciclo di lavoro;
- Registrazione delle perdite di pressione.

L'esame dell'andamento della pressione durante il ciclo di lavoro permette di evidenziare se il confinamento del fronte risulta continuo nel tempo e quindi tale da evitare periodi in cui avviene un decadimento del valore di pressione in camera di scavo al quale può essere associato il detensionamento del nucleo al fronte ed il prodursi di perdite di volume (ad esempio nella fase in cui i martinetti vengono ritratti per la posa di un nuovo anello di rivestimento).

Le perdite di pressione devono essere accuratamente registrate allo scopo di correlarle ai dati di monitoraggio in superficie.

4.6 GRAFICI DI CONTROLLO

Come detto in precedenza, la predisposizione nel corso degli avanzamenti di grafici di sintesi e correlazione dei diversi dati rilevati, consente di avere a disposizione in ogni momento un efficace strumento di controllo delle modalità di scavo applicate.

In particolare può essere significativo provvedere alla predisposizione sistematica dei seguenti dati (riportanti in ascissa il numero degli anelli o la corrispondente progressiva lungo il tracciato della galleria):

- Peso di volume – Numero anello;
- D.Q.I. e I.Q.I – Numero di anello;
- Durata fase di scavo – Numero di anello;
- Durata installazione anello – Numero anello;
- Rapporto fermi/ciclo di avanzamento – Numero di anello;
- Peso (Volume) di materiale scavato – Numero di anello;
- Volume di miscela iniettata – Numero di anello;
- Rapporto Volume di materiale scavato/Volume di miscela – Numero di anello;
- Velocità di rotazione della coclea – Numero di anello;
- Pressione di iniezione della miscela di riempimento – Numero di anello;
- Forza di Spinta media – Numero di anello;
- Momento torcente della testa (medio) – Numero di anello;
- Velocità di rotazione della testa – Numero di anello;
- Velocità di avanzamento – Numero di anello;
- Corsa dei cilindri – Numero di anello;
- Pressione del martinetto n° - Numero di anello;
- Pressioni al fronte (medio) – Numero di anello;
- Rapporto pressione al fronte inizio/fine ciclo – Numero di anello;
- Perdite di pressione – Numero di anello;
- Grafico con l'andamento delle pressioni lungo l'altezza della camera di scavo.

Gli stessi grafici dovranno essere predisposti anche con riferimento al tempo, considerando intervalli di lettura pari a 5-10 secondi.

In alcune tratte particolari (specie nel caso di passaggi a basse coperture) può risultare di fondamentale importanza la predisposizione di grafici di sintesi che riportano i principali parametri di scavo e li correlano ai dati derivati dal programma di monitoraggio, quali ad esempio:

- Pressioni al fronte, Cedimenti – Numero di anello;

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF28</td> <td style="text-align: center;">01</td> <td style="text-align: center;">E ZZ RH</td> <td style="text-align: center;">GN0300 003</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">10 di 15</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF28	01	E ZZ RH	GN0300 003	B	10 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF28	01	E ZZ RH	GN0300 003	B	10 di 15													
PROGETTO ESECUTIVO Monitoraggio in macchina e in avanzamento nello scavo meccanizzato																		

- Rapporto Volume di materiale scavato/Volume di miscela, Cedimenti – Numero di anello;
- Perdite di pressione, Rapporto fermi/ciclo di avanzamento – Numero di anello;
- Distribuzione delle pressioni sul fronte – Altezza camera di scavo;
- Velocità di rotazione testa / Velocità di rotazione della coclea – Cedimenti – Numero di anello;

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Monitoraggio in macchina e in avanzamento nello scavo meccanizzato	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0300 003	REV. B	FOGLIO 11 di 15

5 MONITORAGGIO IN AVANZAMENTO

la TBM sarà attrezzata per l'esecuzione di indagini geotecniche di tipo sia diretto sia indiretto, in avanzamento rispetto al fronte di scavo, per una costante verifica delle effettive condizioni geologiche, idrogeologiche e geomeccaniche previste sulla base delle diverse campagne di indagini geotecniche effettuate in fase di progetto.

L'esecuzione di indagini in avanzamento rispetto al fronte di scavo permetterà inoltre di identificare con maggiore precisione rispetto alle indagini condotte da piano campagna, che hanno portato a definire il profilo longitudinale geologico, idrogeologico e geomeccanico di previsione, le tratte di scavo più critiche per quanto concerne le caratteristiche geomeccaniche, le possibili venute d'acqua, ecc.

5.1 INDAGINI DIRETTE

In alcune tratte specifiche e/o più delicate (per la cui ubicazione si rimanda al profilo geomeccanico), nelle quali si ritiene importante verificare la rispondenza delle previsioni progettuali con le effettive condizioni geomeccaniche ed idrogeologiche, si provvederà all'esecuzione di sondaggi in avanzamento mediante apposite perforatrici in dotazione alla TBM-EPB.

Orientativamente tali sondaggi esplorativi saranno costituiti da un foro orizzontale direzionale, realizzato con sonda a rotazione, della lunghezza minima di 30-40 m e con del diametro di circa 100 mm. Il sondaggio dovrà essere protetto mediante un apposito "preventer" secondo lo schema qualitativo illustrato nella seguente Figura 2.

Il preventer consentirà di misurare anche eventuali venute d'acqua e la pressione idrostatica presente nell'ammasso roccioso.

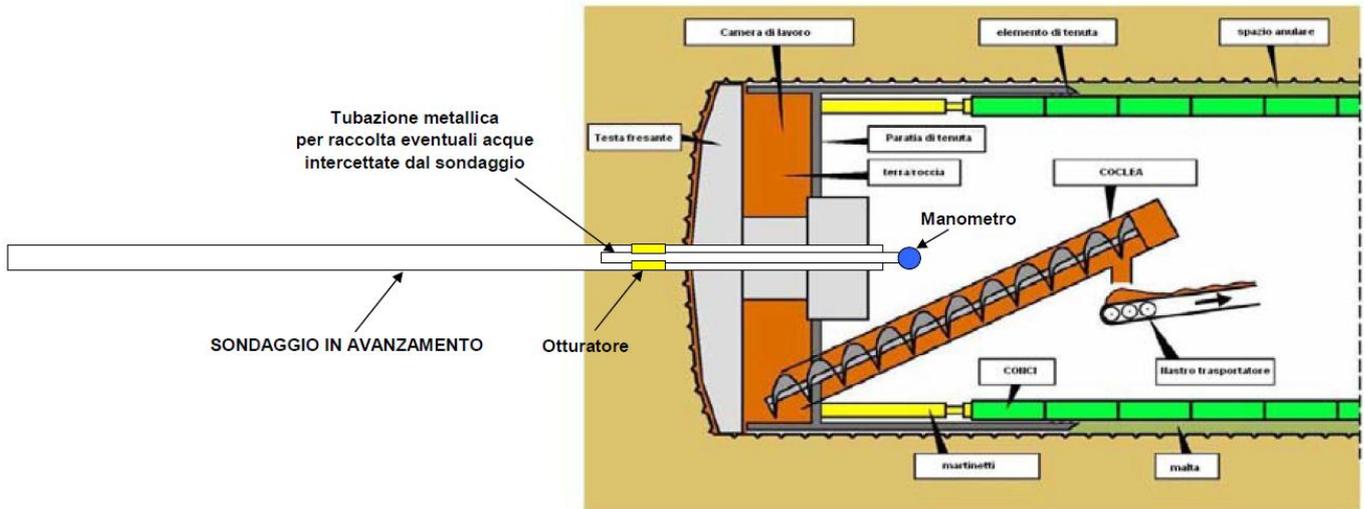


Figura 2 – Schema sondaggio in avanzamento e del sistema per la misura sia dell'eventuale acqua drenata e della pressione ("preventer").

Durante gli avanzamenti, nei settori dove risulta importante la verifica delle circolazioni d'acque sotterranee o i livelli piezometrici presenti, verrà inoltre realizzato, attraverso i conci del rivestimento definitivo, un carotaggio del diametro di 100 mm e della lunghezza di 3 m secondo lo schema mostrato nella seguente Figura 3.

Tale foro sarà anch'esso attrezzato con un tubo, per raccogliere l'eventuale flusso di acqua in direzione orizzontale intercettato dal carotaggio nella zona di contatto fra il rivestimento definitivo e l'ammasso roccioso, e con un manometro per misurare l'entità dell'eventuale pressione dell'acqua e di conseguenza il battente idraulico agente sulla galleria.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Monitoraggio in macchina e in avanzamento nello scavo meccanizzato	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0300 003	REV. B	FOGLIO 12 di 15

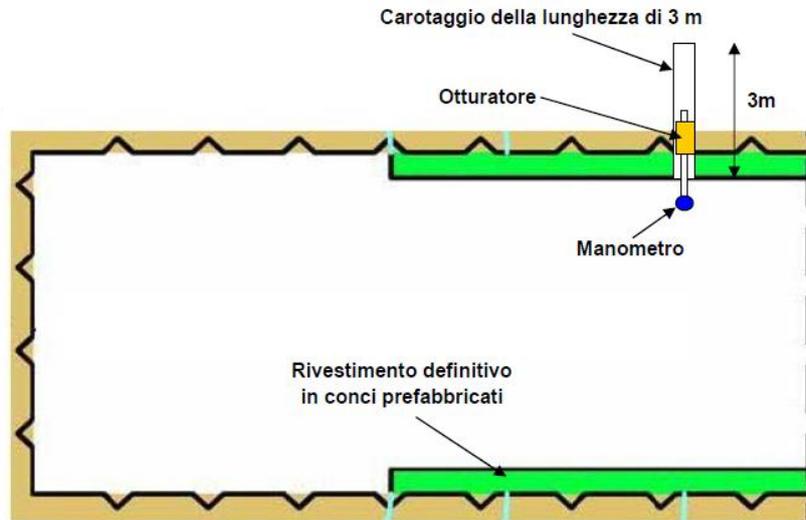


Figura 3 – Schema illustrativo dei carotaggi eseguiti attraverso il rivestimento definitivo

5.2 INDAGINI INDIRETTE

Nel corso degli avanzamenti verranno eseguite sistematicamente indagini di tipo geofisico adottando il metodo *BEAM* (Bore - tunnelling Electrical Ahead Monitoring).

Tale metodo è basato sulla polarizzazione indotta nel terreno utilizzando la testa della TBM come induttore e consente, mediante la misura della resistività, della polarizzazione indotta (PFE) e della porosità efficace di valutare, in avanzamento rispetto al fronte di scavo, le condizioni geomeccaniche critiche e le zone di ammasso roccioso saturo con presenza di acqua in pressione.

Il sistema *BEAM* consente una permanente e costante esplorazione delle condizioni presenti in avanzamento rispetto al fronte di scavo della galleria per una estensione di circa 3 volte il diametro della galleria. L'acquisizione dei dati e la loro interpretazione è condotta in automatico e i risultati della previsione sono mostrati in tempo reale permettendo rapide decisioni in sito durante l'avanzamento dello scavo.

Una caratteristica estremamente vantaggiosa del sistema è l'utilizzazione degli utensili di scavo posizionati sulle testa fresante della TBM e di componenti costruttivi estremamente sicuri come gli elettrodi che permettono di utilizzare la testa della TBM come induttore senza alcun rischio per le maestranze e per la macchina.

Sulla base dell'esperienza acquisita durante lo scavo di molte gallerie, utilizzando il sistema *BEAM*, è stata sviluppata una classificazione – relazione tra la polarizzazione indotta (PFE) e la porosità efficace.

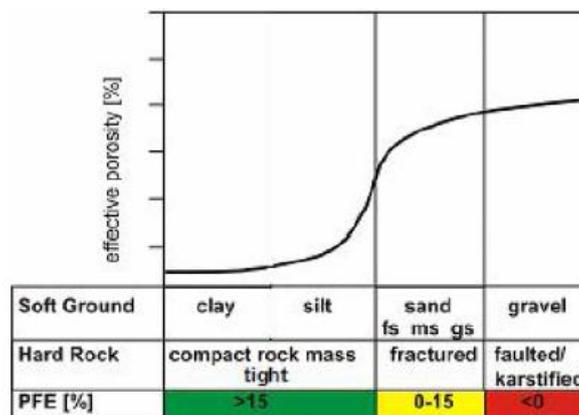


Figura 4 – Relazione fra la polarizzazione indotta (PFE) e la porosità efficace per una classificazione geologica.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Monitoraggio in macchina e in avanzamento nello scavo meccanizzato	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0300 003	REV. B	FOGLIO 13 di 15

Sono state individuate tre classi principali per i valori di PFE (> 15%, 0-15% e < 0%) che corrispondono a tre classi di porosità efficace (porosità efficace bassa, media ed elevata) che comprendono differenti tipi e condizioni sia per le rocce dure sia per quelle tenere.

Acqua e aria hanno un valore di PFE vicino allo zero. Bassi valori di PFE indicano roccia con molte fratture, cavità carsiche oppure sabbia e ghiaia. Valori elevati del PFE indicano materiale compatto. Nel caso di rocce competenti, zone ad elevata porosità (valori di PFE negativi) sono importanti dal punto di vista geotecnico in quanto possono rappresentare zone critiche a causa della presenza di faglie, zone di taglio, zone con presenza di cavità carsiche, zone con presenza di acqua o gas, zone con presenza di cavità o di materiale alterato e disintegrato.

Nel caso di rocce tenere o terreni, elevati valori della porosità efficace possono segnalare la presenza di acquiferi in sabbie e ghiaie, strati argillosi, legno, massi e pali; tutte condizioni particolarmente critiche dal punto di vista dell'avanzamento della TBM.

Una caratterizzazione geologica e idrogeologica addizionale è, inoltre, ottenuta dal valore della resistività R che è misurata dal sistema BEAM al pari del valore di PFE. L'interpretazione combinata dei valori di PFE ed R permettono di incrementare ulteriormente le capacità del metodo di segnalare variazioni del terreno incontrato durante l'avanzamento degli scavi, in modo particolare per individuare la possibile presenza d'acqua e dei conseguenti possibili fenomeni di filtrazione verso lo scavo.

Nella Figura 5 seguente è riportato un esempio delle restituzioni ottenute mediante il sistema BEAM durante lo scavo con TBM di una galleria in una formazione rocciosa, costituita da calcari, nella quale l'aspetto critico durante l'avanzamento era l'identificazione di faglie e di cavità carsiche. La previsione fornita dal sistema BEAM mostrava una consistente riduzione dei valori di PFE (linea rossa nella figura) e al tempo stesso un incremento della resistività (linea blu nella figura), indicando una zona di faglia senza presenza di acqua e con uno spessore di circa 14 m all'interno di un ammasso roccioso alterato e disintegrato.

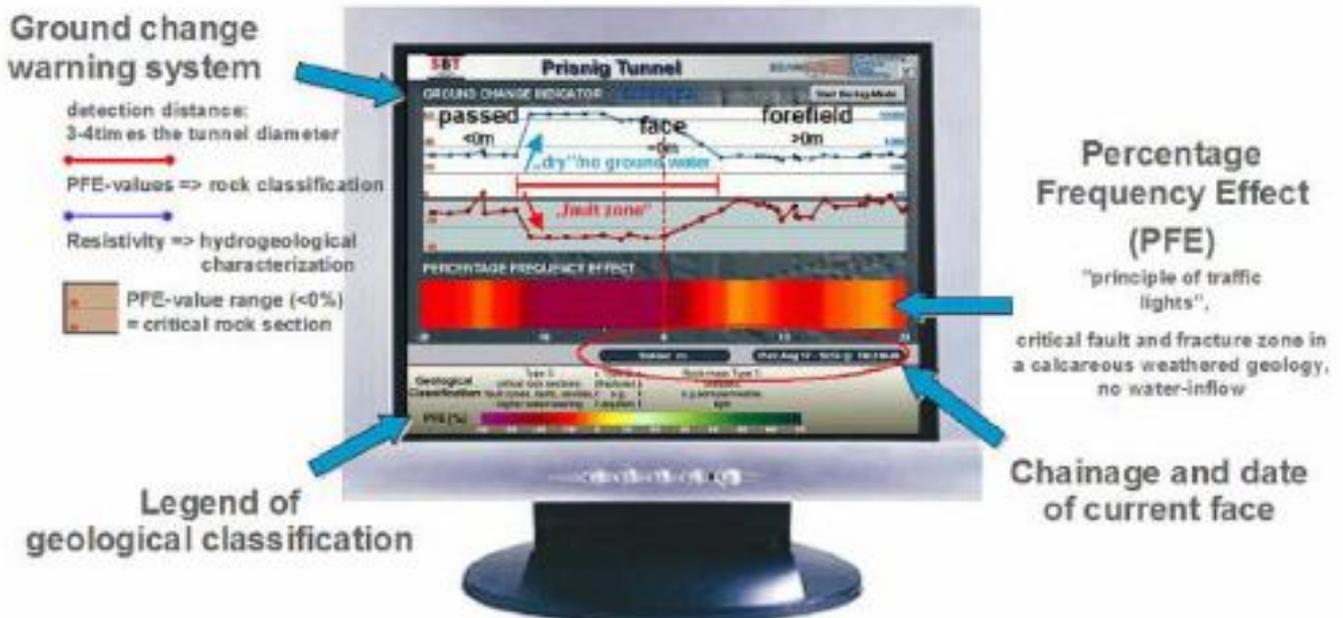


Figura 5 – Esempio di risultati riportati dal metodo BEAM relativamente ad una zona interessata dalla presenza di una faglia senza acqua.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Monitoraggio in macchina e in avanzamento nello scavo meccanizzato	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0300 003	REV. B	FOGLIO 14 di 15

6 STRATEGIA PER L'AVANZAMENTO

I dati di monitoraggio, raccolti secondo quanto descritto ai capitoli precedenti, consentiranno di guidare l'avanzamento della TBM riscontrando, passo dopo passo, le previsioni di progetto od eventualmente adeguando i parametri di avanzamento qualora i dati raccolti evidenziano scostamenti rispetto alle previsioni.

La strategia da seguire è duplice:

- Da un lato occorrerà confermare le condizioni geologiche-geomeccaniche previste per l'avanzamento. In particolare, per quanto riguarda la presente galleria Rocchetta, occorrerà verificare attentamente la localizzazione delle faglie previste lungo il profilo di previsione, sia esse osservate o presunte. In corrispondenza di tali lineamenti tettonici si prevede infatti la presenza di fasce di ammasso a più scadenti caratteristiche geomeccaniche, che necessitano di variare i parametri di guida della TBM, come indicato in profilo. Al riguardo l'adozione di indagini in avanzamento di tipo geoelettrico, tipo BEAM System o similare, andando a restituire il valore di resistività dell'ammasso, consentirà di fornire un primo riscontro. Si valuterà in corso d'opera l'efficacia del sistema BEAM anche nell'individuazione dei passaggi stratigrafici tra le facies BNA2 e BNA3 della Formazione dell'Anzano, passaggio che presenta comunque minore importanza progettuale. In aggiunta, in corrispondenza di passaggi stratigrafici (o faglie) più importanti - laddove i dati restituiti dal sistema geoelettrico in avanzamento non consentissero una facile interpretazione - si farà ricorso all'esecuzione di indagini dirette in avanzamento mediante l'esecuzione di carotaggi, di lunghezza 30-40 m. Tali carotaggi consentiranno inoltre di tarare l'interpretazione dei dati geoelettrici, pertanto potranno essere utili soprattutto nella fase di avvio dei lavori, in corrispondenza dei primi passaggi stratigrafici.
- Dall'altro occorre registrare i parametri operativi di avanzamento della TBM, al fine di verificarne la coerenza con le ipotesi progettuali; come già illustrato in precedenza, i principali parametri da controllare sono la "pressione al fronte di scavo" ed il "bilanciamento tra volumi scavati e volumi/pressioni di back-filling" così da garantire un efficiente comportamento "anello di rivestimento – confinamento d'ammasso".

Riguardo al controllo dei parametri di pressione al fronte, gli elementi da considerare al fine di calibrare in dettaglio la scelta dei valori nell'ambito dei range proposti sono i seguenti:

- Nelle tratte a bassi ricoprimenti, laddove in particolare siano presenti pre-esistenze in superficie occorrerà controllare gli esiti del monitoraggio topografico di superficie e, per l'imbocco lato Bari, delle evidenze inclinometriche. Occorrerà garantire condizioni del volume perso in fase di avanzamento nel range 0.3-0.5% del volume scavato, avendo comunque considerato, per le pre-esistenze interferite, anche un valore di $V_p=1.5\%$, corrispondente ad uno scenario di rischio. I valori di cedimento e spostamento di previsione, derivate dalle analisi numeriche, consentiranno di verificare il buon avanzamento della TBM o regolare le pressioni al fronte al fine di mantenere cedimenti/movimenti al di sotto dei valori di previsione. In particolare ci si sposterà verso il limite superiore del range dei valori di pressione al fronte previsti, allorché i dati di monitoraggio indichino una tendenza verso il limite superiore dei cedimenti attesi.
- Nelle tratte dove non si hanno interferenze dirette con le pre-esistenze ed i ricoprimenti risultano superiori ai 3-4 diametri di scavo, obiettivo dell'azione di confinamento al fronte, operata mediante la pressione in camera di scavo, è il mantenimento delle condizioni di ammasso il più possibile indisturbate, evitando eccessivi detensionamenti del materiale, specie dove questo, sia più suscettibile di decadimenti sensibili delle proprietà meccaniche. Elementi di controllo di una corretta azione di confinamento al fronte sono una contenuta componente di pressione attritiva sullo scudo, ovvero valori di spinta della TBM dentro il range di previsione del progetto. Ulteriori elementi di controllo sono correlabili ai fenomeni di chiusura del cavo durante l'avanzamento, quali il controllo del gap anulare tra profilo di scavo e estradosso scudo, riscontrabile anche dai valori di volume di back-filling posti in opera.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Monitoraggio in macchina e in avanzamento nello scavo meccanizzato	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0300 003	REV. B	FOGLIO 15 di 15

Per la presente galleria Rocchetta un ulteriore tema oggetto di monitoraggio riguarda la presenza di acqua, specie in corrispondenza del tratto di galleria che attraversa la facies BNA3 della Formazione della Baronia.

Durante le fasi di avanzamento occorrerà registrare dettagliatamente gli episodi idrici riscontrati in fase di scavo (attraverso l'esame del materiale di smarino e ogniqualvolta la presenza di un elevato battente, superiore alla pressione impostata in camera di scavo, determini un'azione di drenaggio ad opera della TBM). Tale evidenze, raccolte in dettaglio nel profilo di as-built, consentiranno di affinare in corso d'opera la localizzazione e le specifiche del sistema di drenaggio costituito dall'intercapedine anulare intasata con miscela pea-gravel ed aste drenanti corte, così da consentire di dissipare nelle condizioni di esercizio la pressione idrostatica.

Il rilievo di dettaglio degli eventi idrici consentirà anche di meglio modulare la presenza dei setti impermeabili, confinando zone a maggiore permeabilità / venute, evitando così l'instaurarsi di circolazioni longitudinali lungo il rivestimento definitivo. Si pensa infatti di tarare in corso d'opera l'alternanza delle fasce drenanti/impermeabili proprio sulla base delle evidenze idrogeologiche riscontrate durante l'avanzamento (venute d'acqua in camera di scavo e dalle perforazioni radiali da 60 cm che saranno eseguite dal backup, contemporaneamente all'avanzamento scudo). In assenza di venute concentrate, le tratte drenanti saranno nettamente preponderanti su quelle impermeabili; qualora si abbiano stillicidi/venute trascurabili, una possibile configurazione potrebbe prevedere, come indicato in progetto, la realizzazione dell'intercapedine filtrante su uno sviluppo corrispondente a 50 anelli, intervallata da 5 anelli con intasamento dell'intercapedine mediante miscela bicomponente (setto impermeabile). L'estensione effettiva delle suddette tratte potrà variare, nell'ambito di questa generale impostazione, anche in funzione dei turni e degli stop di manutenzione della macchina. Ad esempio, in presenza di venute concentrate (dell'ordine dei 10l/sec), si procederà all'esecuzione di una fascia impermeabile non appena superata la zona che porta acqua, e si verificherà a valle la efficace disconnessione con le tratte drenanti precedenti (attraverso il controllo delle perforazioni radiali); solo qualora questa disconnessione non fosse efficace, si dovrà procedere a iniezioni di seconda fase di boiaccia dai conci a ripristinare la fascia impermeabile subito a valle della venuta concentrata.

Si evidenzia che, per ragioni connesse alla sensibilità del contesto da un punto di vista idrogeologico, la configurazione non drenante della galleria che prevede l'intasamento dell'intercapedine anulare con miscela bicomponente ordinaria, è prevista sul primo settore scavato, dall'imbocco lato Napoli, sino indicativamente alla pk 15+750. Dalla pk 10+775 sino all'imbocco lato Bari è previsto analogamente che la galleria sia realizzata in configurazione non drenante, stante la compatibilità del carico idraulico teorico con la prestazione del sistema di tenuta dei rivestimenti e, al contempo, la necessità progettuale di non introdurre con lo scavo della galleria alterazioni dello stato tensionale originario dell'ammasso e del regime idrogeologico, nel contesto a minori coperture con presenza di fenomeni di instabilità gravitativa superficiali e manufatti abitativi (la modalità di avanzamento con iniezione di miscela bicomponente consente, per sua natura, una minimizzazione dei volumi persi in fase di scavo).

Anche per queste tematiche potranno essere utili le informazioni ottenibili dalle indagini in avanzamento, siano esse riconducibili a modalità di prospezione geoelettrica (BEAM) o direttamente mediante perforazioni a carotaggio continuo / distruzione di nucleo (si prevede che queste ultime siano generalmente subordinate al rilevamento di anomalie dal sistema BEAM).

Con riferimento a queste Linee Guide di indirizzo, in fase di Progetto Esecutivo di dettaglio, saranno predisposti, a partire dalle prime tratte in scavo, specifiche procedure per la taratura dei valori da adottare. Le prime evidenze, in termini di correlazione tra parametri operativi impiegati e riscontri dello scavo (cedimenti a piano campagna, comportamento dell'ammasso con controllo dei valori di spinta ...) consentiranno di calibrare sul campo i criteri adottati in fase di progettazione esecutiva, così da perfezionare, secondo gli approcci tipici del metodo osservazionale, la strategia di conduzione degli scavi.