

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL
TERRITORIO**

DICAM

TESI DI LAUREA

In

Ingegneria Mineraria M

**RELAZIONE TRA PRESTAZIONI DI TBM EPB DI
GRANDE DIAMETRO IN AMMASSI COMPLESSI E
PARAMETRI STRUTTURALI E MECCANICI -
CRITICITA' E APPROCCI RISOLUTIVI**

CANDIDATO
Viola Patriarchi

RELATORE:
Prof. Ing. Paolo Berry

Anno Accademico 2010/2011

Sessione III

1. INTRODUZIONE	4
1.1 Organizzazione del testo	5
2. TUNNEL BORING MACHINE	6
2.1 Cenni sulla costruzione delle TBM	7
2.2 Le varie classificazioni possibili	8
2.3 Le varie tipologie di TBM	11
2.3.1 TBM per lo scavo in ammassi rocciosi	11
2.3.2 TBM per lo scavo in terreni sciolti	15
3. TBM NEL MONDO	19
3.1 Grandi dimensioni nel Mondo	19
3.2 La tecnologia EPB	28
3.3 Le grandi TBM in Italia	32
3.4 I grandi progetti per il futuro	36
3.5 Le case produttrici e i loro record	37
4. LA GALLERIA SPARVO	39
4.1 Il progetto della “Variante di Valico”	39
4.2 Il nodo della Galleria Sparvo – Inquadramento generale	41
4.3 Inquadramento geologico – geomeccanico dell’area di intervento	45
4.3.1 Unità tettoniche riconosciute nell’area indagata	46
4.3.2 Condizioni geologiche presenti lungo il tracciato	46
4.3.3 Campagne geognostiche eseguite	49
4.3.4 Le formazioni attraversate dalla Galleria Sparvo	52
4.4 La TBM più grande del mondo - EPB Herrenknecht S-574 “Martina”	60
4.4.1 Principio di funzionamento di una TBM EPB	60
4.4.2 Descrizione della macchina	62
4.4.3 Parametri macchina	75
5. PREVISIONE DELLE PERFORMANCE DI UNA TBM	78
5.1 Fattori che influenzano le performance di una TBM	79
5.2 Principi di base dei modelli di previsione	80
5.3 Metodi di previsione	82
5.3.1 Metodo NTH (Norwegian Institute of Technology)	82

5.3.2	Metodo CSM (<i>Earth Mechanics Institute of Colorado School of Mines</i>)	85
5.3.3	Il sistema Q_{TBM}	88
5.3.4	La classifica RMR (Rock Mass Rating)	91
5.3.5	<i>Rock Mass Excavability Index (RME)</i>	93
5.4	Criticità e soluzioni applicative dei metodi di previsione	98
6.	REALIZZAZIONE DEL MODELLO DI OTTIMIZZAZIONE DELLE PERFORMANCE	101
6.1	Parametri di input dell'analisi	102
6.1.1	Parametri meccanici	102
6.1.2	Parametri geomeccanici	103
6.1.3	Efficienza	103
6.1.4	Consumi.....	107
6.2	Struttura dell'analisi	109
6.2.1	Analisi complessiva per ogni formazione.....	110
6.2.2	Analisi specifica per ogni formazione	114
6.3	Analisi della formazione delle Argille a Palombini	115
6.3.1	<i>Range</i> individuati per la Formazione delle Argille a Palombini.....	115
6.3.2	<i>Performance</i> ottimali individuate per la Formazione delle Argille a Palombini	144
6.3.3	Conclusioni per la formazione delle Argille a Palombini.....	171
6.4	Passaggio di formazione da APA a SCB	174
6.5	Analisi della formazione delle Arenarie tipo Scabiazza	180
6.5.1	<i>Range</i> individuati per la Formazione delle Arenarie tipo Scabiazza.....	180
6.5.2	<i>Performance</i> ottimali individuate per la Formazione delle Arenarie tipo Scabiazza.....	208
6.5.3	Conclusioni per la formazione delle Arenarie tipo Scabiazza	235
6.6	Confronto fra le prestazioni nelle Argille a Palombini e nelle Arenarie tipo Scabiazza	237
7.	CONCLUSIONI	250
8.	BIBLIOGRAFIA	252
	ALLEGATO A – ARGILLE A PALOMBINI	257
	ALLEGATO B – ARENARIE TIPO SCABIAZZA	275

1. INTRODUZIONE

L'obiettivo di un processo produttivo, di un'attività o di una macchina, è il raggiungimento della massima prestazione al minor costo possibile.

Analogamente si può dire per la realizzazione di un'opera di ingegneria, per la quale, in sede progettuale, è fondamentale poter stimare costi e pianificare le attività, tanto più se questa prevede l'impiego di tecnologie innovative, di cui non si conosce a pieno le potenzialità.

Nella maggior parte dei casi, la formulazione di una stima puntuale delle risorse necessarie alla realizzazione dell'opera esaminata risulta poco accurata, in quanto alcuni parametri risultano incerti o non disponibili.

L'incertezza che accompagna la loro determinazione risulta massima quando l'opera è realizzata in sotterraneo, vista l'impossibilità di conoscere punto per punto le caratteristiche del terreno, interessato dalle lavorazioni, e, incrementata maggiormente, se il contesto entro cui ci si va ad inserire è caratterizzato da caoticità e problematiche connesse alla presenza di gas metano.

L'**obiettivo di questa tesi** è realizzare un modello che consenta l'ottimizzazione delle performance di una TBM, *Tunnel Boring Machine*, di dimensioni eccezionali, impiegata per la realizzazione della Galleria Sparvo, opera che presenta la maggiore complessità dell'intero progetto autostradale della Variante di Valico, con lo scopo di ottenere il maggior rendimento possibile, dal punto di vista dell'avanzamento della macchina, con il minor consumo e migliore gestione delle risorse e delle materie prime a disposizione.

A differenza degli esistenti modelli di predizione, di natura teorica ed empirica, basati per la maggior parte su classifiche tecniche, la presente tesi si caratterizza per un'analisi dei dati eseguita osservando l'andamento della macchina in fase di scavo, al fine di definire un modello di ottimizzazione delle prestazioni della TBM, in relazione alle caratteristiche geomeccaniche e alle criticità dell'ammasso roccioso interessato dall'opera.

Attraverso l'esame dei parametri di funzionamento della fresa, durante lo scavo della Canna Nord, si sono studiate correlazioni, che appaiono significative, tra i valori dei parametri e le performance della macchina previste in sede di progetto, mettendo in evidenza le eventuali problematiche incontrate e le possibilità di superarle agendo sulla conduzione della TBM.

I risultati ottenuti e le valutazioni eseguite, forniranno spunti interessanti per la realizzazione della Canna Sud, della Galleria Sparvo, che presenta caratteristiche analoghe a quelle della canna seguita nel corso di questa tesi.

1.1 Organizzazione del testo

Il presente elaborato è stato articolato nei seguenti 8 capitoli.

Il secondo capitolo, fornisce una panoramica sulle *Tunnel Boring Machine*, soffermandosi sulle differenti modalità di funzionamento e i differenti campi di applicazioni.

Il capitolo 3 è una breve carrellata di opere realizzate in sotterraneo, negli ultimi anni, con l'impiego di TBM dalle dimensioni eccezionali, in Italia e nel Mondo, dalle maggiori case produttrici di tali macchine. Particolare attenzione viene rivolta alle TBM EPB, categoria alla quale appartiene la macchina impiegata nella Galleria Sparvo.

Nel capitolo 4 viene inquadrata l'opera, nell'ambito del Progetto Autostradale della Variante di Valico, presentandone criticità e aspetti innovativi. Il contesto geologico e la macchina di scavo EPB HERRENKNECHT S-574 verranno descritti in maniera particolareggiata, approfondendo il tema dei parametri operativi.

Il capitolo 5 presenta i più noti e comuni metodi di previsione delle *performance* di una TBM, sulla base delle caratteristiche dell'ammasso roccioso entro cui questa va ad operare, così da introdurre, nel capitolo seguente (6) la metodologia seguita nel presente studio: la realizzazione di un metodo di ottimizzazione delle prestazioni della macchina sulla base dell'osservazione del rendimento in fase di scavo.

Il capitolo 7 riporta le conclusioni del presente studio.

2. TUNNEL BORING MACHINE

La realizzazione di *tunnel* tramite la tecnica dello scavo meccanizzato ha avuto, a partire dalla seconda metà dell'Ottocento, degli sviluppi importantissimi, ed in maniera più marcata negli ultimi trent'anni, durante i quali le frese a piena sezione, note come TBM, sono state impiegate con successo per lo scavo di rocce dure e terreni sciolti nelle più disparate condizioni geomeccaniche, consentendo di realizzare opere in sotterraneo in condizioni ritenute impossibili qualche decennio fa. Dalla seconda metà dell'Ottocento fino alla prima del Novecento si utilizzarono TBM con teste fresanti equipaggiate da utensili striscianti (*drag cutter tools*), noti come picchi, che consentirono di ottenere buoni indici di produttività se applicate in terreni teneri e carbone ma mostrarono ancora pesanti limiti se utilizzate per lo scavo di rocce dure. Nel 1956 grazie all'intuizione di James Robbins di equipaggiare la testa fresante con utensili a disco rotanti (*disc cutter tools*), si raggiunsero produzioni invidiabili anche su rocce dure, come riscontrato durante la realizzazione del tunnel fognario a Toronto in cui si raggiunse un avanzamento giornaliero di 34 m . Alla fine degli anni Settanta e agli inizi degli Ottanta, diverse università e centri di ricerca scientifica sia negli Stati Uniti che in Europa portarono avanti degli studi finalizzati alla comprensione della fisica di interazione tra utensili rotanti e roccia cercando di spiegarne i vantaggi del loro impiego sulle TBM, consentendo di definire dei primitivi metodi predittivi sulle prestazioni di queste ultime per lo scavo di rocce dure. Analogamente le frese a piena sezione in terreni sciolti ebbero il loro principio con il famoso scudo di Brunei e Barlow. Le spinte esercitate su dei conci prefabbricati posizionati all'interno dello scudo e le aperture realizzate nella parte frontale dello stesso per controllare il fluire del materiale di scavo, consentirono di sottopassare il Tamigi in poco più di un anno, nel 1864. Questa macchina può essere considerata il predecessore del sistema EPB (*Earth Pressure Balance*) e del sistema *Slurry Shield*, di iniziale concezione europea, poi sviluppatasi in particolar modo in Giappone.

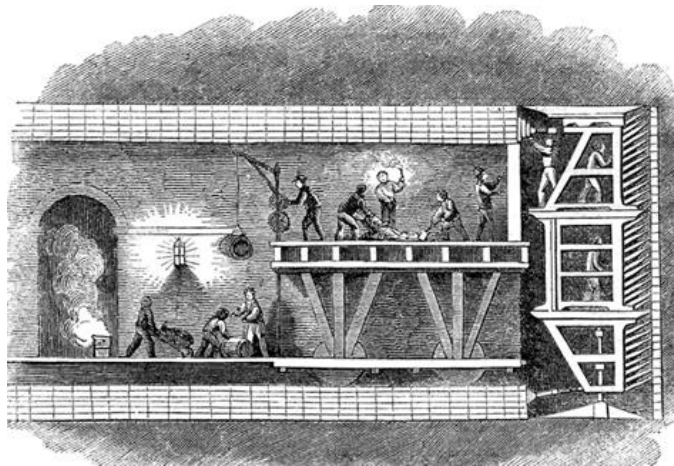


Figura 2.1 Scudo di perforazione usato per lo scavo del *tunnel* sotto il Tamigi nel 1864 [9]

2.1 Cenni sulla costruzione delle TBM

Una fresa a piena sezione (TBM) è costituita da tre parti essenziali:

- una testa rotante, sulla quale sono collocati gli utensili d'abbattimento, aventi la funzione di disaggregare la roccia;
- un sistema di propulsione e guida, destinato a spingere innanzi la testa ed a far progredire la macchina;
- un apparato di sgombero atto a liberare il fronte dai detriti ed avviarli ai mezzi di trasporto.

La testa, dotata di moto rotatorio, è comandata da motori elettrici posti nella zona posteriore della macchina, con sistemi, elettromeccanici o idraulici, di riduzione della velocità e su di essa sono collocati dischi e denti che permettono di attaccare e distaccare la roccia compatta e la roccia degradata o i terreni. Gli organi di propulsione e contrasto sono costituiti da una o più coppie di piastre, le quali vengono spinte dai rispettivi martinetti idraulici (facenti parte del corpo della macchina) contro le pareti della galleria (che ovviamente risulta di sezione circolare). Altri cilindri, appoggiandosi sulla struttura così ancorata sulle pareti, mandano innanzi la testa durante un'intera corsa d'abbattimento.

L'apparato di sgombero è costituito da due serie di organi, posti in zone differenti:

- tazze disposte sulla periferia della testa atte ad asportare il detrito dal fronte;
- un trasportatore ad alette raschianti che riceve il detrito proveniente dalle tazze di carico e, attraversando il corpo della macchina, lo rovescia sui mezzi di sgombero (vagonetti o nastri trasportatori).

Il corpo centrale e la coda della macchina, contengono, oltre ai motori, i servizi accessori, come trasformatori, serbatoio del fluido idraulico, pompe, dispositivi d'illuminazione, cabina di guida, compressori, ventilatori e anche gli organi di messa in opera dei sostegni e del rivestimento definitivo (erettore dei conci).

Alla macchina segue un traino (*back-up*) costituito da una struttura atta a:

- ricevere ed avvicinare i mezzi di sgombero del detrito (generalmente vagonetti);
- approvvigionare la zona di lavoro dei materiali necessari (elementi di armatura, parti di ricambio, etc.);
- ricevere attrezzature che consentano di predisporre particolari operazioni riguardo alle opere di sostegno (per es. proiezione del calcestruzzo spruzzato).

2.2 Le varie classificazioni possibili

Dall'epoca dei primi pionieristici tentativi, vari costruttori meccanici si sono cimentati in questa sfida, introducendo nel mercato differenti tipi di macchine, ognuno dei quali meglio si adattava alle diverse condizioni geologiche dei tracciati da scavare o alle più diverse condizioni progettuali. Vi sono diversi schemi, a livello mondiale, per la classificazione delle macchine di scavo di gallerie, ma è chiaro che una semplice classificazione non può offrire, da sola, criteri per la scelta della migliore macchina.

Le classifiche disponibili, e maggiormente utilizzate, per le TBM, che prendono in esame diverse caratteristiche e che cambiano a seconda della zona del Mondo in cui ci si trova, sono le seguenti:

- AFTES (*French Association of Tunnels and Underground Space*), che distingue le TBM sulla base del supporto (*immediate support*) che fornisce la macchina al fronte:
 - nessuno (*none*);
 - periferico (*peripheral*);
 - periferico e frontale (*peripheral and frontal*).

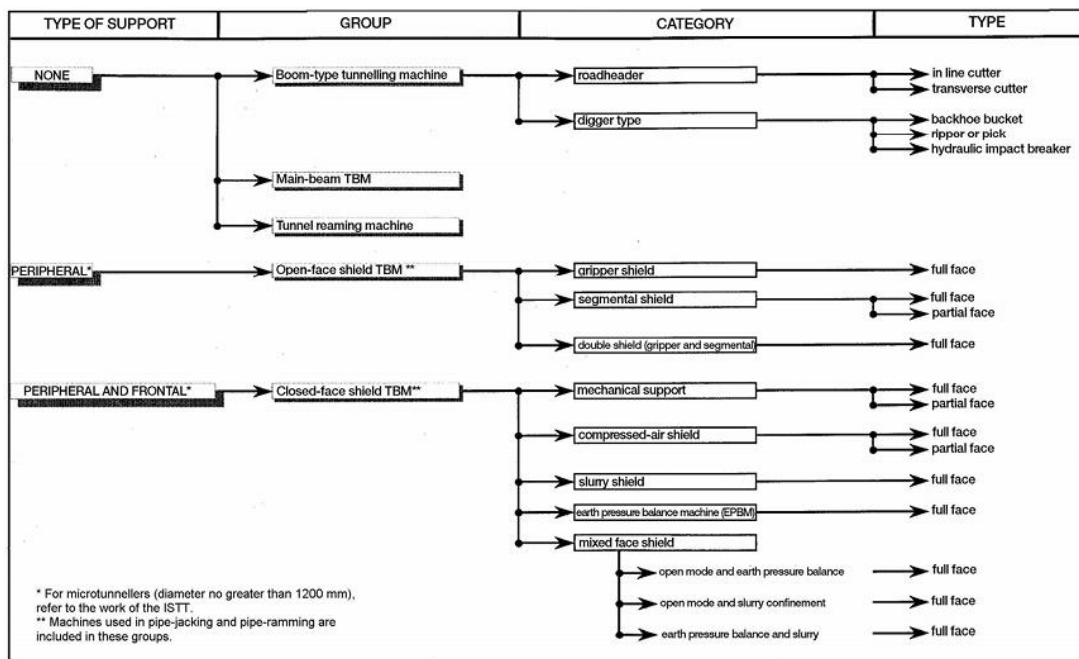


Figura 2.2 Classificazione della French Association of Tunnels and Underground Space [13]

- DAUB (German Committee for Underground Construction), che fa la seguente distinzione:
 - TBM senza scudo (without Shield);
 - TBM-S con scudo (with Shield).

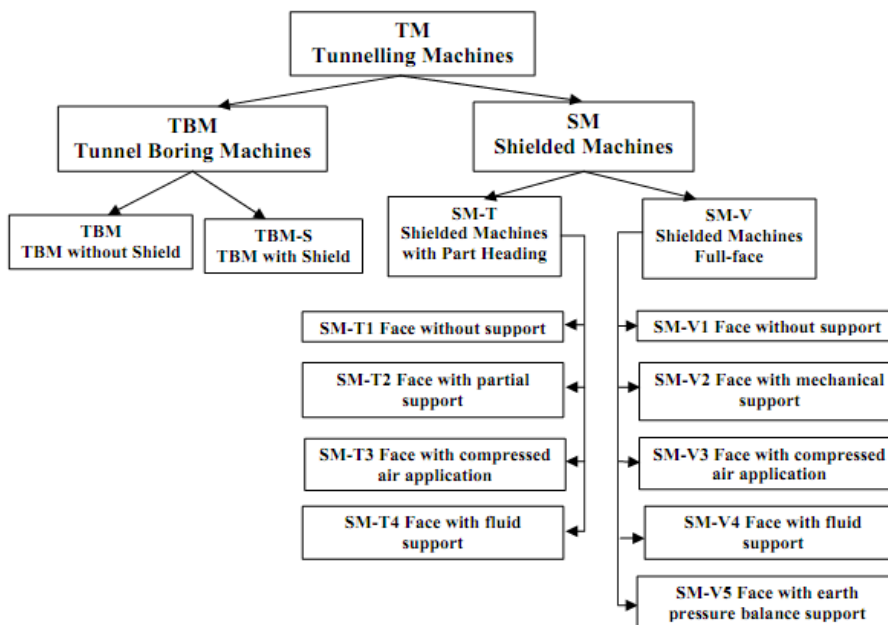


Figura 2.3 Classificazione della German Committee for Underground Construction [13]

- JSCE (*Japan Society of Civil Engineers*), che fa distinzione fra TBM aperte e TBM chiuse;

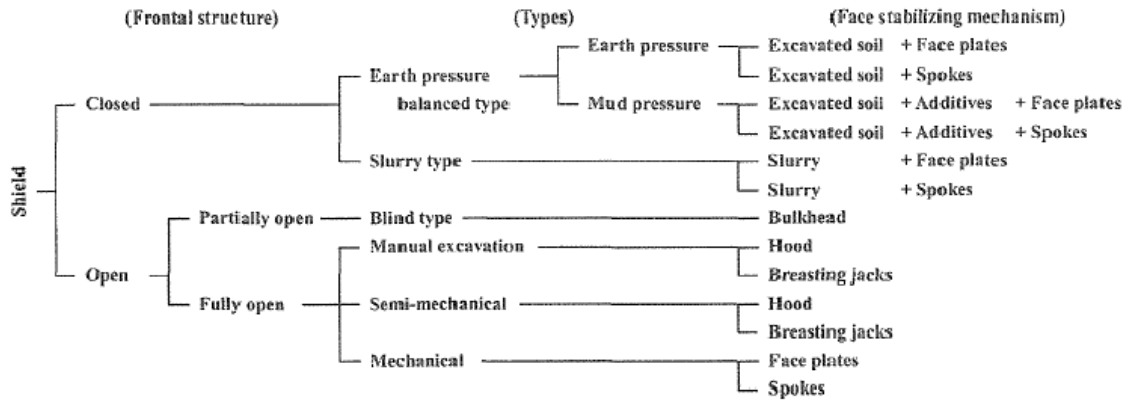


Figura 2.4 Classificazione *Japan Society of Civil Engineers* [13]

- REHM (*Range of diameter of TBM manufactured by Herrenknecht*), fa una distinzione esclusivamente sulle dimensioni del diametro della macchina;








Diameter		0mm ->	1,000mm	-> 2,000mm	-> 16,000mm
	Auger Drilling Machines		DN 150 - DN800		
	AVN Micromachines		DN 250 - DN 2000		
	Shields with partial face excavation	Pipe Jacking		DN 1200 - DN 3500	
		Segmental Lining		DN 1800 - DA 12000	
	EPB-Machines	Pipe Jacking		DN 1200 - DN 3000	
		Segmental Lining		DN 1800 - DA 16000	
	Mixshields	Pipe Jacking		DN 1600 - DN 3000	
		Segmental Lining		DN 1800 - DA 15060	
	Hard Rock-TBM			DN 1200 - DA 12500	
	Hard Rock Gripper-TBM				DN 2200 - DN 10000

Figura 2.5 Classifica REHM (*Range of diameter of TBM manufactured by Herrenknecht*) [13]

Quella a cui faremo riferimento nel nostro elaborato distingue fra:

- TBM per lo scavo di gallerie in ammassi rocciosi, per lo scavo di lunghe gallerie in rocce di resistenza medio-alta;
- TBM per lo scavo di gallerie in terreni sciolti, per lo scavo di gallerie di lunghezza limitata in terreni generalmente omogenei e sciolti.

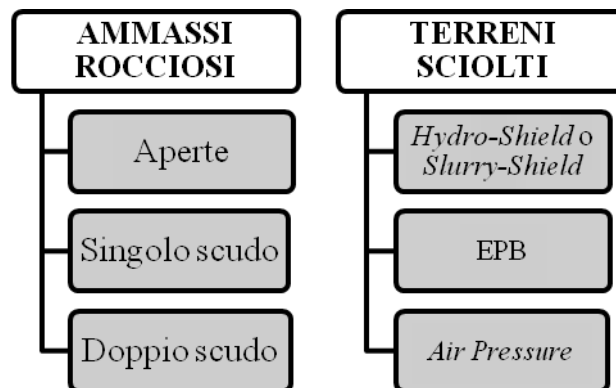


Figura 2.6 Classificazione impiegata nell'ambito di questa tesi

2.3 Le varie tipologie di TBM

Sulla base della classifica che abbiamo deciso di utilizzare, faremo distinzione fra macchine di scavo in roccia e macchine di scavo in terreni sciolti, dandone una breve descrizione in termini di tipologia di macchina, principio di funzionamento e componenti principali.

2.3.1 TBM per lo scavo in ammassi rocciosi

Le macchine di scavo in roccia possono essere suddivise in 3 categorie principali:

- TBM aperte;
- TBM a singolo scudo;
- TBM a doppio scudo.

TBM aperte

Sono utilizzate nel caso in cui il fronte di scavo e il terreno circostante siano caratterizzati da elevate capacità autoportanti e per le quali non è richiesta un'applicazione immediata di sostegni.

Il ciclo di lavoro è discontinuo e comprende le seguenti fasi:

- a) scavo per una lunghezza pari alla corsa dei pistoni;
- b) riposizionamento dei *gripper*;
- c) ripresa dello scavo.

Un tale tipo di TBM consiste di:

- elementi mobili quali la testa di scavo rotante e sistema principale di trasporto dell'abbattuto;
- un elemento fisso che contrasta i pistoni di spinta, attraverso uno o più coppie di *gripper* che ancorano la TBM sul contorno della galleria;
- una zona di coda che contiene il meccanismo di avanzamento e gli elementi di *back-up*.

Queste frese vengono impiegate quando:

- le formazioni rocciose sono sostanzialmente stabili;
- sono impiegati supporti tradizionali, quali bulloni, centine e *spritz beton*, a distanze dal fronte comprese fra 3 m e 30 m;
- non si hanno diametri di scavo notevoli (non superiore ai 9 metri), in quanto le problematiche per l'avanzamento e la stabilità crescono in maniera considerevole.

Fra questi tipi di macchina riconosciamo le:

- frese tipo *Robbins*, che posseggono la più semplice configurazione possibile tra le macchine aperte, essendo costituite essenzialmente da due elementi: uno di contrasto stazionario, posizionato nella parte retrostante della macchina, contenente un sistema di contrasto a roccia denominato *gripper*, ed uno di lavoro traslante, formato essenzialmente dalla testa fresante, dal supporto delle testa, dalla trave centrale e dal convogliatore a nastro.

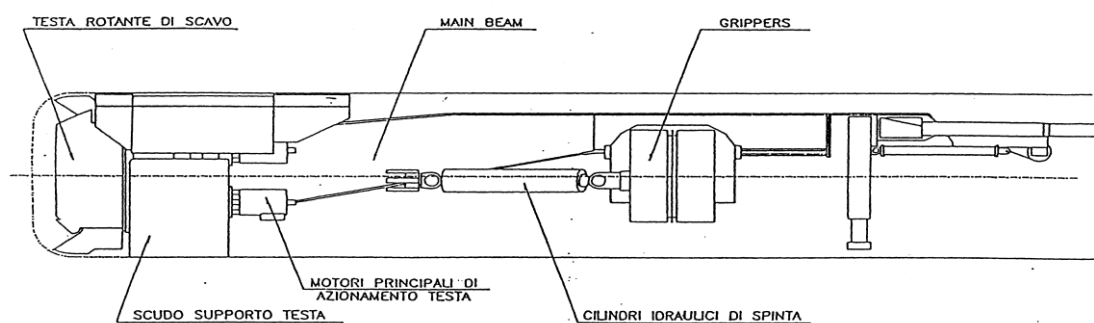


Figura 2.7 Schema di TBM di tipo *Robbins* [6]

- frese tipo *Jarva*, anche queste essenzialmente riassumibili in due elementi: uno di contrasto stazionario, rappresentato dalla parte centrale della macchina, denominato *kelly*, costituito da una struttura rigida con due coppie di *grippers*, ed uno di lavoro traslante, costituito essenzialmente dalla testa fresante, dall'alloggiamento del cuscinetto principale, dalla trave di contrasto della coppia, dal sistema di motorizzazione e dal convogliatore a nastro.

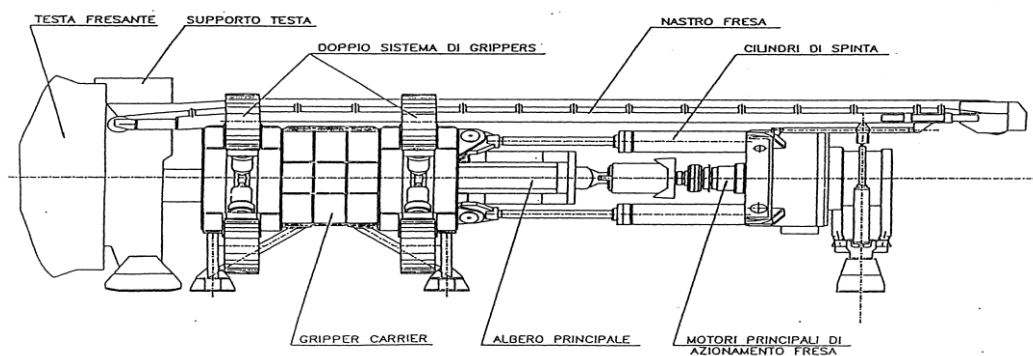


Figura 2.8 Schema di TBM di tipo *Jarva* [6]

TBM a singolo scudo

Queste TBM sono in grado di fornire automaticamente il supporto laterale al *tunnel*, durante la fase di scavo.

Il ciclo di lavoro è discontinuo e comprende:

- avanzamento per una lunghezza pari alla corsa effettiva dei pistoni di spinta;
- realizzazione del nuovo ancoraggio (usando i pistoni di spinta longitudinali agenti contro gli anelli del rivestimento) e posa di un nuovo anello di rivestimento;
- nuovo avanzamento.

I componenti principali della macchina comprendono:

- la testa di scavo;
- lo scudo protettivo, monolitico o articolato, che può essere cilindrico o a leggera forma tronco-conica e contiene le principali componenti della macchina;
- il sistema di spinta che consiste in una serie di pistoni idraulici longitudinali posti all'interno dello scudo, che contrastano contro il rivestimento della galleria.

Le frese monoscudo soddisfano in larga misura la “Universalità Tecnica” nei riguardi della geologia, ma non nei confronti dei sostegni e della produttività. Affinché il loro impiego sia conveniente o possibile è, quindi, necessario che:

- sia montato un rivestimento prefabbricato sistematico;

- la roccia sia ben fresabile in modo che la durata del ciclo d'avanzamento sia accettabile.

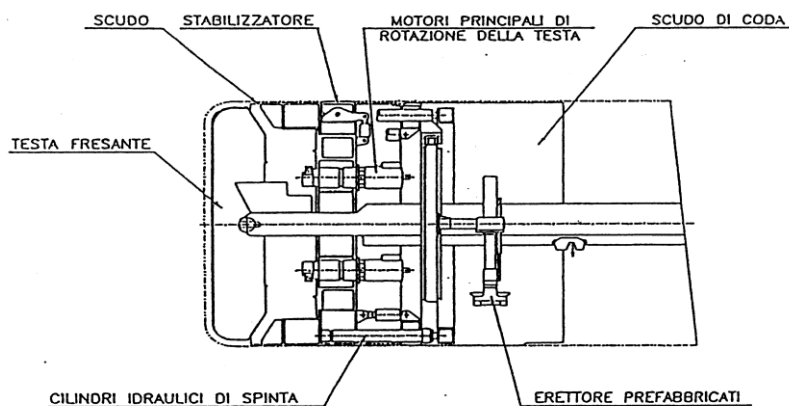


Figura 2.9 Schema di TBM a singolo scudo [6]

TBM a doppio scudo

In questa tipologia di TBM troviamo due scudi: nel primo è installata la testa fresante con i suoi organi meccanici e i relativi motori; nel secondo, collegato al primo tramite cilindri di spinta, sono installati i *grippers*.

I due scudi sono telesopicamente connessi in modo da assicurare la continuità dello scavo durante l'avanzamento del primo rispetto al secondo. Per il suo avanzamento non è richiesto, salvo casi speciali, la posa di un rivestimento: tali macchine sono, comunque, in grado di montare un rivestimento prefabbricato o un supporto provvisorio centinato, là dove richiesto o necessario, contemporaneamente alla fase di scavo. Lo scavo può essere effettuato e supportato come una fresa aperta, ma in sicurezza in quanto protetto dallo scudo. Ove occorra, le TBM doppio scudo possono trovare la reazione per la spinta di scavo direttamente sui rivestimenti prefabbricati posti in opera, anziché sui *grippers*.

Queste frese consistono in:

- testa di scavo;
- scudo protettivo, monolitico o articolato, che può essere cilindrico o a leggera forma tronco-conica e che contiene le principali componenti della macchina;
- doppio sistema di spinta che comprende una serie di pistoni longitudinali e una serie di *grippers*, posizionati all'interno della parte anteriore dello scudo, che spingono contro la parete della galleria.

Queste frese sono utilizzabili in un ampio spettro di qualità di terreni, dalle rocce tenere e/o fessurate a quelle dure e tenaci, con velocità d'avanzamento in quest'ultime analoghe alle TBM aperte. La velocità d'avanzamento dipende solo dal tempo di scavo, in quanto armature e/o pre rivestimenti vengono montati contemporaneamente allo scavo.

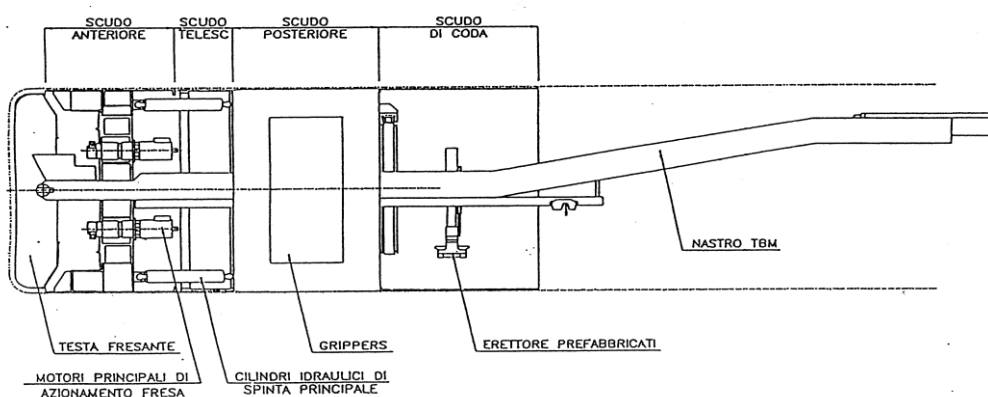


Figura 2.10 Schema di TBM a doppio scudo [6]

2.3.2 TBM per lo scavo in terreni sciolti

Questa tipologia di macchine si caratterizzano perché la camera della testa di scavo è isolata, dalla parte posteriore della TBM, mediante un diaframma, all'interno del quale si mantiene una pressione di confinamento, garantita dallo stesso materiale scavato che si accumula all'interno di essa, in modo da sostenere il fronte dello scavo e/o bilanciare la pressione idrostatica del flusso dell'acqua di falda. Il fronte viene scavato da una testa fresante che ruota all'interno della camera di scavo.

La macchina è spinta in avanti da pistoni che fanno contrasto sul rivestimento precedentemente posizionato, tramite un erettore all'interno della coda della TBM.

Le macchine di scavo in terreni sciolti possono essere suddivise in 3 categorie principali:

- *Slurry o fluid support machines (Hydroshield);*
- *Compressed air (Air pressure) TBM;*
- *EPB - Earth Pressure Balance.*

Slurry o Fluid support machines (Hydroshield)

Queste TBM sono state sviluppate recentemente per sopperire ad alcune esigenze tecniche, in termini di sicurezza e di stabilità del terreno:

- scavo sopra e sotto falda in terreni non coesivi;
- evitare l'uso di aria compressa;
- rendere minimo il disturbo sull'ambiente circostante.

Sono caratterizzate da una testa di taglio a piena sezione, garantendo un confinamento e sostegno del fronte di scavo, pressurizzando il “fluido di scavo” all'interno della camera.

Generalmente è il fango bentonitico che viene preferito per:

- il suo comportamento tixotropico;
- perché forma una pellicola impermeabile al fronte (*cake*).

Tali macchine permettono al fluido di fuoriuscire dalla camera di scavo verso l'esterno attraverso regolari variazioni di pressione, assieme al materiale che viene estratto attraverso pompe centrifughe che lo portano verso l'impianto di separazione in superficie.

Il ciclo di lavoro è discontinuo e comprende:

- a) avanzamento per una lunghezza pari alla corsa effettiva dei pistoni di spinta;
- b) montaggio dell'anello del rivestimento definitivo.

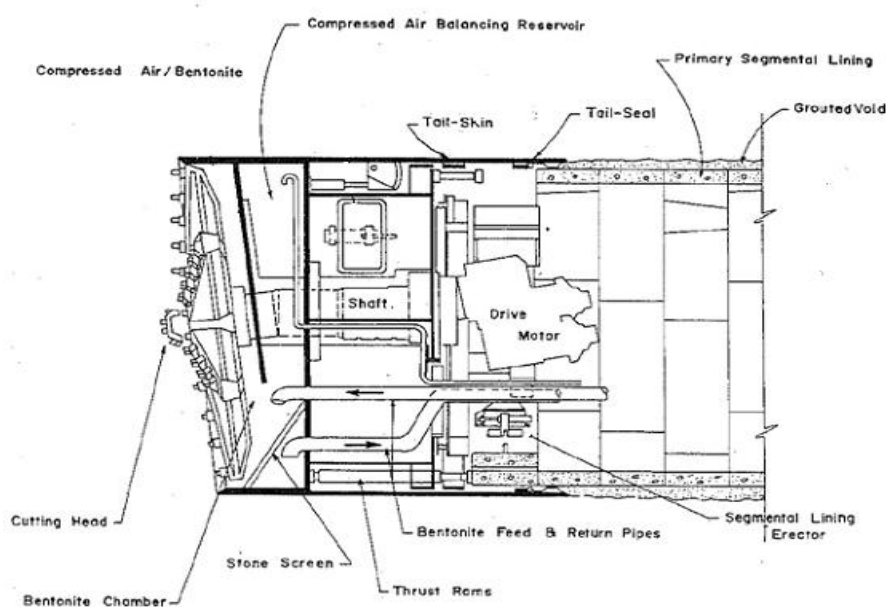


Figura 2.11 Schema di TBM tipo *Slurry o Fluid support machines (Hydroshield)* [6]

Compressed air (Air pressure) TBM

Possono essere costituite:

- da una testa fresante a piena sezione
- da un braccio brandeggiabile, come nel caso delle *Boom type unite*.

Il confinamento e il sostegno del fronte è garantito pressurizzando l'aria nella camera di scavo.

Il marino è estratto in continuo ad intervalli da un sistema di scarico a rilascio graduale di pressione che trasporta il materiale dalla camera in pressione all'interno della TBM, in cui governa la pressione atmosferica, ed allontanato mediante nastro trasportatore.

Negli ultimi anni, grazie agli sviluppi tecnologici e ad una crescente riluttanza, specialmente per ragioni mediche, nei confronti dell'uso dei metodi ad aria compressa, questa tecnologia è stata messa da parte in favore delle TBM *Slurry Shield* e delle EPB.

Analogamente a quanto visto per le *Slurry Shield*, anche per le TBM ad aria compressa, il ciclo di lavoro è discontinuo, prevedendo una fase di avanzamento e una di montaggio del rivestimento.

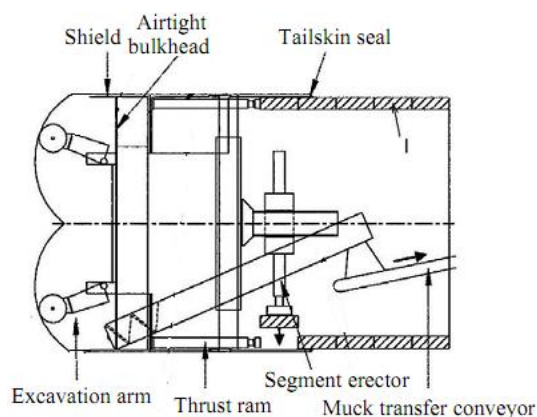


Figura 2.12 Schema di TBM ad Aria compressa [12]

EPB - Earth Pressure Balance

Invece di una sospensione idraulica/bentonitica come nel caso delle *TBM Slurry*, nel caso delle EPB viene utilizzato lo stesso terreno scavato come parte del fluido di sostegno del fronte, che viene condizionato con additivi specifici, all'interno della camera.

Queste macchine sono impiegate per lo scavo in terreni non omogenei (misti), teneri, non coesivi e sottofalda.

Il marino è estratto ciclicamente attraverso un sistema di rilascio di pressione che consente il passaggio del materiale dalla camera di scavo, all'interno della macchina sul sistema di allontanamento del materiale, attraverso una coclea.

Analogamente a quanto visto per le *Slurry Shield* e le *Compressed Air*, il ciclo di lavoro è discontinuo, prevedendo una fase di avanzamento e una di montaggio del rivestimento.

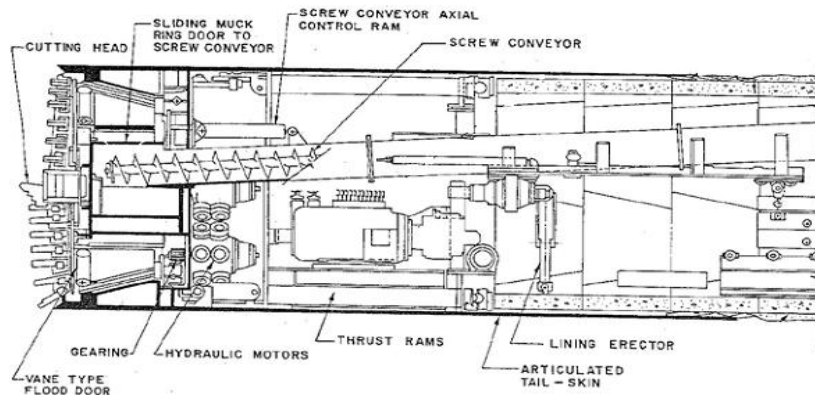


Figura 2.13 Schema di TBM di tipo EPB [6]

3. TBM NEL MONDO

La *Tunnel Boring Machine* è una macchina che è stata sviluppata recentemente e che ha rivoluzionato l'industria del *tunneling* rendendo sia lo scavo più sicuro, sia individuando delle soluzioni di scavo più economiche, dando la possibilità di realizzare *tunnel* là dove prima non era possibile.

Attualmente sono presenti molti fabbricanti di *Tunnel Boring Machine* in Europa, in Nord America e in Asia che continuano a sviluppare nuove ed evolute macchine fianco a fianco ad uno sviluppo sempre maggiore della tecnologia, avvenuto a partire dal Diciannovesimo Secolo, che le ha rese in grado di affrontare condizioni sempre più difficoltose e riducendo i rischi associati allo scavo.

3.1 Grandi dimensioni nel Mondo

Di seguito riporteremo le più grandi macchine TBM utilizzate negli ultimi anni, nelle varie parti del Mondo, per lo scavo di *tunnel* ferroviari, autostradali e pedonali, senza distinzioni riguardo al metodo di funzionamento.

Herrenknecht S-574 – Galleria Sparvo

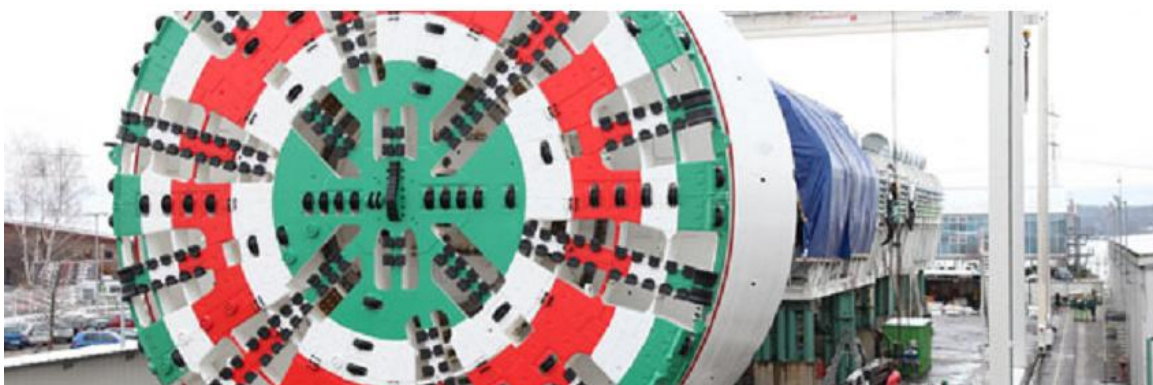


Figura 3.1 TBM Herrenknecht S-574 impiegata per la realizzazione della Galleria Sparvo [49]

In Italia, il tratto dell'autostrada A1, fra Bologna e Firenze, è quello maggiormente utilizzato e dunque in fase di allargamento.

Una parte del progetto della “Variante di Valico” consiste nella realizzazione del Tunnel Sparvo fra Sasso Marconi e Barberino di Mugello.

Tale galleria consiste in due canne parallele con le seguenti caratteristiche:

- Diametro di 15 m, che ha stabilito il nuovo record in termini di scavo meccanizzato;
- lunghezza 2,5 km;
- due corsie di percorrenza per le automobili e una di emergenza.

I 5 km di gallerie, ci si aspetta diano luogo a materiale sciolto e possibili emissioni di grisù, verranno realizzate, per assicurarsi un alto livello di sicurezza e velocità nella perforazione, mediante una *Earth Pressure Balance TBM* con diametro di 15,55 metri realizzata da Herrenknecht.

Lo scavo è iniziato vicino Firenze, lavorando in direzione Nord, nel 2011; l’apertura della nuova tratta è prevista per la fine del 2013. Questa opera rappresenta una significativa riduzione di tempo di viaggio per più di 90000 veicoli al giorno fra Bologna e Firenze.

Herrenknecht S-317 e S-318 - Shanghai Changjiang Underground Motorway



Figura 3.2 TBM Herrenknecht S-317 e S-318 impiegate per la realizzazione della Galleria Shanghai Changjiang [49]

In coincidenza con il *World Expo 2010* a Shangai, sono state aperte al traffico 2 gallerie con le seguenti caratteristiche:

- 7,47 km lunghezza;
- 3 corsie di percorrenza.

Le gallerie collegano il distretto di Pudong con l’isola di Changxing, i quali abitanti dovevano contare sull’utilizzo del traghetto per raggiungere l’isola principale. Da quando lo Yangtze è

diventato una delle rotte navali più trafficate della Cina, era vitale che i lavori di costruzioni non disgregassero il normale traffico marittimo. Per questa ragione, è stato deciso di realizzare una galleria profonda sotto il fiume, mediante scavo meccanizzato.

Le TBM, di diametro 15,43 metri, hanno lavorato sotto Shangai, alla profondità di 65 metri e massima pressione dell'acqua di 6,5 bar.

Il progetto è su scala colossale:

- circa 1500 persone sono state impiegate nel cantiere;
- 2,7 milioni di metri cubi di terra sono stati rimossi;
- approssimativamente sono stati installati 7500 anelli di rivestimento.

Le gigantesche TBM hanno cominciato a lavorare il 28 Maggio 2008 ed hanno ultimato i lavori 3 mesi dopo, con 10-12 mesi di anticipo rispetto a quanto programmato, il 5 Settembre 2008.

Queste 2 gallerie sono una pietra miliare nello scavo meccanizzato.

Herrenknecht S-300 - M-30 Highway in Madrid



Figura 3.3 TBM Herrenknecht S-300 impiegata per la realizzazione delle gallerie dell'autostrada M-30 [49]

La nuova strada urbana M-30 era stata programmata dal 2007, per alleviare il traffico congestionante di Madrid.

La costruzione comportava la realizzazione di un *tunnel*, in direzione nord, scavato nelle argille e gesso compatto, con le seguenti caratteristiche:

- 3,65 km di lunghezza;
- 3 corsie di percorrenza;
- gradiente di salita del 5%.

Questo progetto richiedeva estrema precisione e attenzione, perché, prima di tutto, l'area interessata dallo scavo era densamente popolata, in secondo luogo ferrovia e metro erano già state perforate ad una distanza di soli 6,5 metri dal punto in cui sarebbe dovuto passare il *tunnel*. Per la realizzazione dei *tunnel* nord, è stato deciso di utilizzare una EPB TBM ("Dulcinea") con un innovativo design meccanico: una parte tagliente della testa interna (ϕ 7 metri) e una parte della testa coassiale esterna (ϕ 15,20 metri) erano montate sullo stesso piano di lavoro, rendendo la macchina in grado di operare sia in senso orario che in senso antiorario, indipendentemente l'una dall'altra.

Lo scavo è stato terminato 2 mesi prima rispetto a quanto programmato, grazie ad un'organizzazione ottimale dei tempi e le prestazioni eccezionali della macchina (36 metri al giorno).

Sarà un'alternativa interessante per i 260.000 conducenti che percorrono giornalmente questa tratta di M-30, di cui un terzo, 80.000, utilizzeranno le nuove gallerie, risparmiando 120.000 km al giorno.

Mitsubishi - M-30 Highway in Madrid



Figura 3.4 TBM Mitsubishi impiegata per la realizzazione delle gallerie dell'autostrada M-30 [51]

Per la realizzazione del *tunnel* gemello della nuova strada urbana M-30 di Madrid, in direzione sud, è stata impiegata una macchina EPB realizzata dalla Mitsubishi, soprannominata "Tizona". La variante sud, che collega la A-3 e la M-30 all'altezza di Conde de Casal con il Viale di Santa María de la Cabeza e le due gallerie lungo Manzanares, avrà un percorso di 1,5 km più corto rispetto a quello in superficie.

La macchina ha terminato il suo lavoro il 30 Ottobre 2006, con circa cinque mesi di anticipo sui dodici previsti.

Sono così terminati tutti i lavori di scavo in sotterraneo previsti dal progetto e resta unicamente da provvedere al relativo equipaggiamento: completare le tre carreggiate, installare gli impianti elettrici e di ventilazione e mettere tutta la segnaletica.

La TBM della Mitsubishi, ha realizzato i 3,664 metri del tunnel sud arrivando al record di 46 m al giorno di avanzamento.

Herrenknecht S-349 e S-350 - Nanjing Yangtze River Tunnel



Figura 3.5 TBM Herrenknecht S-349 e S-350 impiegate per la realizzazione del Nanjing Yangtze River Tunnel [49]

Nanjing, la capital della provincia Cinese dello Jiangsu, è un importante snodo nei trasporti sull'asse che porta nell'entroterra di Shanghai. Al fine di canalizzare la rapida crescita del traffico, è stato realizzato, al di sotto del Fiume Yangtze, un *tunnel* con le seguenti caratteristiche:

- 3 corsie di percorrenza;
- lunghezza 2,9 km.

Lo "Nanjing Yangtze River Tunnel" è un progetto chiave per la città, che mira ad alleviare il traffico sul Ponte Yangtze River e migliorare lo sviluppo urbano nel distretto nord della città, dalla parte opposta del fiume.

Le macchine della Herrenknecht, S-349 e S-350 *Mixshields*, , ognuna con un diametro di 14,93 metri, hanno lavorato al di sotto del Fiume Yangtze, sopportando una pressione dell'acqua pari a 7,5 bar scavando strati di ghiaia e limo, talvolta con un sovraccarico di soli 30 metri dal letto del fiume.

La S-350 ha raggiunto il punto di arrivo nel *tunnel* di sinistra il 20 Maggio 2009, mentre la S-349 ha completato il *tunnel* di destra il 22 Agosto dello stesso anno.

NFM Technologies “Aurora” – Groene Hart Tunnel



Figura 3.6 TBM NFM Technologies per la realizzazione del Groene Hart Tunnel [52]

La Randstad è la zona urbanizzata nella parte occidentale dei Paesi Bassi. Città come Amsterdam, Rotterdam, L’Aia e Utrecht si trovano qui disposte in maniera circolare. Vi è tuttavia una zona scarsamente popolata, aperta e rurale, nel cuore della Randstad: la “*Green Heart*”, cioè il “Cuore Verde”.

Questa zona verde gioca un ruolo importante per le città circostanti, nel fornire spazio per la natura, l’agricoltura e la ricreazione e, anche se la pressione sull’uso del suolo da parte delle città si è fatta sentire sempre di più, si è cercato di mantenere la zona più rurale possibile.

Così, quando è stata necessaria l’estensione della linea alta velocità di Thalys, fra Rotterdam e Amsterdam, nella regione rurale di “*Green Heart*”, è stato deciso lo scavo di una galleria di quasi 15 metri di diametro per proteggere questo naturale polder.

La galleria realizzata presentava le seguenti caratteristiche:

- lunghezza totale pari a 5,3 miglia;
- diametro pari a 14,87 metri;
- unico *tunnel* con 2 ferrovie.

La costruzione della TBM “Aurora”, una *Slurry Shield*, utilizzata per lo scavo, è iniziata nel 2001 e completata nel 2004.

La data di apertura della galleria era prevista per il 2007, ma in realtà la costruzione è stata terminata nel 2009.

La stessa macchina è stata utilizzata per la realizzazione del Shangzhong Tunnel, a Shanghai, una galleria stradale subacquea.

The Robbins Company “Big Becky” - Niagara Tunnel



Figura 3.7 TBM Robbins impiegata per la realizzazione del Niagara Tunnel [54]

Il Niagara Tunnel è un progetto ambizioso di 10,4 km di lunghezza sotto le Cascate del Niagara. Il nuovo *tunnel* di adduzione, il terzo realizzato, aumenterà l'alimentazione dell'impianto della OPG (*Ontario Power Generation*), necessario per fornire il servizio di energia idroelettrica a 130000 clienti, di 150 MW e contribuirà a rafforzarne il sistema di alimentazione, vicino a superare la sua capacità massima durante i mesi di picco.

Per perforare il *tunnel*, la scelta è ricaduta su una TBM per roccia, di diametro 14,4 metri, che ha iniziato a lavorare nel Settembre 2006. Il traguardo è stato raggiunto il 13 Maggio 2011, ma i lavori di completamento dell'opera richiederanno altri due anni di lavoro.

Mitsubishi - Yingbinsan Road Tunnel in Shanghai



Figura 3.8 TBM Mitsubishi impiegata per la realizzazione del Yingbinsan Road Tunnel [51]

Il 29 ottobre 2009, dopo 29 mesi di lavoro non *stop*, è stato completato un altro *tunnel* facente parte del Hongqiao transport hub - Yingbin Sanlu Tunnel Project, che congiunge il Terminal 1 con il 2 dell'aeroporto di Hongqiao.

Il *tunnel*, di lunghezza pari a 2,6 km, di cui 1,86 km scavati con l'ausilio di una TBM EPB della Mitsubishi, del diametro di 14,27 metri, è diventato un importante passaggio per migliorare e incrementare le arterie della rete superficiale, realizzando anche un accesso supplementare del traffico al di là di Hongqiao.

Il *tunnel* attraversa il Qixin Road Viaduct, BeiHeJin Creek, la corsia dei taxi, la carreggiata delle macchine, le condotte di carburante dell'aeroporto, la linea ferroviaria #101, la pista dell'aeroporto e edifici sensibili, nonché cimeli storici: sono stati affrontati diversi problemi tecnici durante l'attraversamento di queste strutture, come l'avviamento dello scavo, l'attraversamento di formazioni geologiche complesse, realizzare le curve del tracciato, ecc.

Il lavoro è stato realizzato con grande precisione e rapidità, attraversando le strutture presenti nel tracciato con distanze millimetriche e raggiungendo un tempo di avanzamento pari a 9 anelli di rivestimento montati al giorno.

Herrenknecht S-164 – Lefortovo Tunnel



Figura 3.9 TBM Herrenknecht S-164 impiegata per la realizzazione del Lefortovo Tunnel [49]

La terza circonvallazione di Mosca ha necessitato di un *tunnel*, di dimensioni e scala fino ad allora inimmaginabili in Russia, per vedere il suo completamento: un diametro esterno di oltre 14 metri è stato necessario per consentire al traffico stradale di percorrere due ponti, uno sopra l'altro.

In una scala di tempi molto stretti dalla partenza della perforazione all'apertura del *tunnel*, si sono dovute affrontare diverse problematiche:

- la presenza degli edifici nel centro città;

- il Fiume Jausa, sotto il quale la galleria doveva passare, con le elevate pressioni che esso ha comportato;
- le condizioni geologiche difficili.

La soluzione, per questo progetto unico nel suo genere, ha comportato la realizzazione da parte di Herrenknecht di una macchina altrettanto unica: con un diametro di 14,20 metri, la TBM era, a quel tempo, la più grande *Mixshield* al mondo e presentava, inoltre, diverse innovazioni:

- dischi taglienti accessibili in condizioni atmosferiche;
- taglierina centrale attiva fino a 600 metri davanti alla testa tagliente, migliorando lo scavo in terreni estremamente coesivi;
- sistema sismico di sondaggio (SSP).

Grazie ad un team di grande esperienza e una macchina di ottima tecnologia, il progetto ha ottenuto un gran successo: 2, 2 km sono stati perforati mediante scavo meccanizzato in 15 mesi.

La stessa macchina è stata impiegata successivamente per altri 2 progetti:

- Herrenknecht S-108 Trude - Röhre Elbtunnel Hamburg



Figura 3.10 TBM Herrenknecht S-108 impiegata per la realizzazione del Röhre Elbtunnel Hamburg [49]

Dal 1990 i già presenti 3 *tunnel* della città di Elba non erano in grado di far fronte al volume di traffico nella città anseatica: è stato necessario lo scavo di una quarta galleria, per ridurre la congestione del traffico.

È stato realizzato mediante scavo meccanizzato in modo da evitare l'interruzione della navigazione sul Fiume Elba. Ciò ha richiesto di lavorare in sicurezza in situazioni geologiche estremamente diverse, sotto alte pressioni, fino anche a 5,5 bar, e con strati di copertura tra 7 e 13 metri.

I cittadini di Amburgo hanno soprannominato la Herrenknecht *Mixshield*, la migliore macchina attrezzata per svolgere questo compito, “Trude” (in fondo al Fiume Elba).

Lo scavo della galleria è stato completato in soli 2 anni.

- Herrenknecht S-250 - Silberwald Tunnel



Figura 3.11 TBM Herrenknecht S-250 impiegata per la realizzazione del Silberwald Tunnel [49]

Questo progetto ha coinvolto la costruzione di una galleria al di sotto della zona protetta conosciuta con il nome di “Serebryanny Bor” (il bosco d’argento) a nord ovest di Mosca, sulle rive del fiume Moskva, con l’obiettivo di facilitare il flusso del traffico stradale e della metropolitana.

I *tunnel* sono stati programmati su 2 piani: il piano superiore doveva ospitare una strada a 3 corsie di percorrenza, mentre quello inferiore riservato alla Linea Metropolitana “Strogino”.

Dopo aver terminato la prima galleria nel 2005, l’S-250 è stata ristrutturata, modificata e rinominata “Elisaveta”. Dopo il suo riposizionamento, la macchina è ritornata in sotterraneo nell’autunno dello stesso anno, pronta per la sfida della seconda parte del *tunnel*.

La *Mixshield* ha sfondato la sua destinazione, prima del previsto, il 12 Ottobre 2006.

3.2 La tecnologia EPB

Poiché più avanti ci interesseremo in particolar modo alla tecnologia EPB (Earth Pressure Balance), questo paragrafo si concentra sui progetti realizzati mediante l’impiego di TBM che utilizzano questo metodo di scavo nel Mondo.

Riportiamo, ovviamente, quelli significativi dal punto di vista delle dimensioni del diametro della macchina utilizzata.

Herrenknecht EPB S-574 – Galleria Sparvo

Precedentemente descritta e di cui avremo, successivamente, modo di approfondire.

Herrenknecht EPB S-300 - M-30 Highway in Madrid

Precedentemente descritta.

Mitsubishi - M-30 Highway in Madrid

Precedentemente descritta.

Mitsubishi - Yingbinsan Road Tunnel in Shanghai

Precedentemente descritta.

Herrenknecht EPB S-452 - Tunnel Längholz e Tunnel Büttenberg



Figura 3.12 TBM Herrenknecht EPB S-452 impiegata per la realizzazione dei tunnel della Biel East [49]

Lo scopo era quello di alleviare Bienna (cantone d Berna) e i villaggi circostanti dal volume sempre crescente di traffico.

Il *by-pass* di Biel dell'autostrada A5 chiude il gap finale nella rete nazionale svizzera: è diviso in una porzione ovest e una porzione est, ognuna lunga approssimativamente 5 km e comprende il Tunnel Längholz lungo 2487 m e il Tunnel Büttenberg lungo 1460 m.

Il termine dei lavori per il congiungimento delle 2 porzioni e il completamento dei 2 *tunnel* è previsto per il 2016.

La S-452, soprannominata “Belena” viene utilizzata per le due gallerie della porzione est del *by-pass*. La macchina, di diametro pari a 12,56 m, ha iniziato la sua perforazione attraverso rocce non consolidate a maggio.

Il 4 Ottobre del 2010 i tecnici del *tunnel* hanno deciso di smontare la macchina e riposizionarla a Bötzingenfeld, dopo aver perforato circa 2,5 km di galleria. Qui la macchina sarà assemblata e preparata per lo scavo dei Tunnel Büttenberg e Längholz.

Verso la metà del 2012 dovrebbe essere possibile vedere completati i 2 *tunnel*.

Herrenknecht S-512 and S-514 - Brisbane Airport Link East-West Tunnel



Figura 3.13 TBM Herrenknecht S-512 and S-514 impiegate per la realizzazione del Brisbane Airport Link East-West Tunnel [49]

Brisbane, Australia, sta investendo molto tempo nello sviluppo delle capacità della sua rete autostradale suburbana: costruendo una rete di *tunnel* che collega le principali aree di crescita della città, l'obiettivo è quello di ridurre la congestione del traffico delle strade in superficie.

L'“Airport Link East-West Tunnel” dovrebbe ridurre il tempo di percorrenza tra la città e l'aeroporto di nove minuti per i 95000 veicoli al giorno.

Due Herrenknecht S-375 e S-376 *Double Shield*, soprannominate “Florence” e “Matilda”, ognuna con diametro di 12,34 m, avevano scavato il Clem Jones Tunnel sotto il fiume Brisbane dal Maggio 2009.

L'Airport Link rappresenta un prolungamento del progetto di questo *tunnel*. Le EPB S-512 e S-514, “Rocksy” e “Sandy”, ognuna con diametro di 12,45 m, più grandi rispetto alle macchine gemelle del Clem Jones Tunnel, sono diventate così le macchine più grandi ad aver realizzato un *tunnel* in Australia.

Le due macchine hanno iniziato la perforazione nel Luglio e nell'Agosto del 2010 e solo dopo 12 mesi circa entrambe le macchine hanno raggiunto il loro obiettivo.

Il nuovo *tunnel* dovrebbe rivoluzionare il traffico nel nord del Brisbane, dopo il completamento dell'opera prevista per il 2012.

Herrenknecht “Gerunda” – Tunnel ferroviario urbano di Girona



Figura 3.14 TBM Herrenknecht impiegata per la realizzazione del Tunnel ferroviario urbano di Girona [49]

Come parte dell’espansione della linea ferroviaria ad alta velocità Madrid-Barcellona-Parigi, il completamento della sezione incompiuta tra Barcellona e il confine con la Francia sul lato spagnolo è previsto entro il 2012.

Questo *tunnel* dovrebbe attraversare Girona, città nel Nord della Catalogna: il 20 Aprile 2010, lo scudo EBP chiamato “Gerunda”, di diametro 12,11 m, ha iniziato a perforare il *tunnel* di lunghezza 2,9 km. Nel Settembre 2010 la macchina ha raggiunto il primo obiettivo intermedio, posto dopo 1,3 km di perforazione. Dopo una completa revisione, la macchina ha perforato i rimanenti 1,6 km, raggiungendo il suo obiettivo finale il 7 Luglio 2011.

La messa in funzione dell’opera è prevista per il 2012.

Herrenknecht S-442 - Barcelona Metro Line 9



Figura 3.15 TBM Herrenknecht S-442 impiegata per la realizzazione della Barcelona Metro Line 9 [49]

Le 5 linee, che trasportano più di 300 milioni di passeggeri ogni anno, attraverso la capitale della Catalogna, prevedono un ampliamento mediante ulteriori 3 linee in fase di costruzione, fra le quali anche la Linea 9.

Con una lunghezza di 43 km e con 49 stazioni, diventerà la linea più lunga in Europa e collegherà l'aeroporto a sud di Barcellona con il sobborgo di Santa Coloma de Gramenet.

Quattro scudi EPB stanno già lavorando alla costruzione della nuova Linea 9:

- i primi 2 (Herrenknecht S-461 e S-279), con un diametro di 9,37 m, hanno già raggiunto i loro obiettivi;
- il terzo, Herrenknecht EPB S-221, ha iniziato a perforare gli 8,52 km di tunnel nell'Agosto 2003;
- il quarto, Herrenknecht EPB S-442, ha iniziato a lavorare nell'Aprile del 2009, e possiede un diametro di 12,06 m.

Sia la S-221 che la S-442, hanno già scavato quasi 10 km di *tunnel* della nuova linea metropolitana fino ad oggi.

3.3 Le grandi TBM in Italia

Attualmente l'Italia può vantare il record per l'impiego, nel progetto "Variante di Valico", della più grande TBM mai costruita, la EPB Herrenknecht S-574 "Martina".

Record ancora per poco, perché altri 2 progetti, che saranno brevemente analizzati in uno dei paragrafi seguenti, sono in fase di realizzazione nel mondo.

Riportiamo adesso un elenco delle grandi *Tunnel Boring Machine* che sono state impiegate nel tempo nei progetti italiani.

Herrenknecht S-251 – Valsugana Trento Nord



Figura 3.16 TBM Herrenknecht S-251 impiegata nel tratto Valsugana Trento Nord [49]

Non sono soltanto le principali città e grandi centri commerciali a trovarsi di fronte ad un collasso del sistema del traffico urbano: lontano dalle grandi metropoli, le piccole città e località soffrono sotto l'impatto del traffico, del rumore e dei gas di scarico.

Condizioni simili sono vissute intorno alla città di Trento, ai piedi del quale la strada statale SS 47 convoglia il traffico verso est sulla A 22.

Per alleviare queste località, in particolare dal traffico sempre più pressante, la provincia Autonoma di Trento ha deciso di realizzare un nuovo *by-pass*. Il cuore della nuova circoscrizione ruoterebbe attorno alla perforazione di due *tunnel*, di 2,67 km di lunghezza, attraverso le Dolomiti.

Dalla metà del Febbraio 2004 uno scudo TBM Herrenknecht (S-251), di diametro 12,055 metri, ha scavato attraverso formazioni di calcare, argilla e sabbia.

Una volta terminato il primo *tunnel*, la macchina è stata voltata per realizzare il secondo nella direzione opposta, spaziato dal primo di 8 metri.

Il progetto si è concluso nel mese di Dicembre 2005.

Herrenknecht - Roma Metro Linea B1



Figura 3.17 TBM Herrenknecht impiegata per la realizzazione delle Linea B1 Roma Metro [49]

L'espansione della metropolitana di Roma è un'urgente misura necessaria in vista della congestione del traffico senza fine nelle strade dentro e fuori la città di Roma. Fino ad oggi, l'espansione di questa rete ferroviaria piuttosto piccola per una città così grande, si è rivelata difficile a causa dell'importanza archeologica della parte sotterranea della città, che ha ostacolato la costruzione di ulteriori stazioni della metropolitana o di altre tratte.

Per non entrare in collisione con testimonianze di storia romana non ancora scoperte, i piani per le sezioni delle linee B1 e C hanno previsto profondità maggiori e tecnologie sempre più efficaci.

La decisione è stata presa in favore di macchine EPB che offrono un elevato grado di sicurezza quando si tratta di evitare la subsidenza e lavorare in condizioni geologiche problematiche.

Sono state impiegate:

- 2 scudi EPB identici (Herrenknecht S-387 e S-388), ciascuno con diametro di 6,77 metri, per la sezione settentrionale della Linea B- futura Linea B1;
- 1 scudo EPB (Herrenknecht S-544), di diametro 9,79 m, è stata necessaria per la realizzazione dello scavo della sezione fra la Stazione Conca D'Oro e il Piazzale Ionio ,di lunghezza pari a 1,109 km.

Seli – Passante ferroviario del Nodo di Firenze (Alta Velocità)



Figura 3.19 TBM Seli impiegata per la realizzazione del passante ferroviario del Nodo di Firenze [45]

La ferrovia ad alta velocità Bologna – Firenze è una linea ferroviaria di proprietà statale che collega la città di Bologna a quella di Firenze, dotata degli standard ferroviari dell'Alta Velocità (AV) e dell'Alta capacità (AC) per la maggior parte del suo percorso.

Fa parte dell'”Asse ferroviario 1” della Rete ferroviaria convenzionale trans-europea TEN-T e va ad affiancare e rinforzare la Direttissima Bologna – Firenze. È lunga 78,5 chilometri e per 73,3 km si concretizza in gallerie.

Per la realizzazione delle gallerie naturali del passante AV di Firenze è previsto l'impiego di una macchina da scavo meccanizzato integrale scudata di tipo EPB, realizzata dalla Seli e soprannominata “Monnalisa”, di diametro pari a 9,40 metri e lunghezza 200 metri. Le due gallerie, di diametro interno di 8,30 m e spessore del rivestimento di 0,40 m, sviluppano complessivamente circa 9,95 km di lunghezza. Le due canne verranno scavate a partire

dall'imbocco sud di Campo di Marte fino allo sbocco nord di Rifredi, mantenendo una distanza tra gli assi di circa 19,3 m, tranne agli imbocchi, dove la distanza è di circa 16,5 m per Campo di Marte e 11,5 m per Rifredi.

Il tracciato prevede due curve: la prima con raggio pari a 480 m e la seconda con raggio pari a 305 m. Le due canne saranno collegate trasversalmente da cunicoli di bypass disposti ogni 450 m circa. I lavori sono iniziati nel Luglio 2011, mentre il termine dei lavori è previsto per il 2014.

Lovat – Passante ferroviario del Nodo di Bologna (Alta Velocità)



Figura 3.20 TBM Lovat impiegate per la realizzazione del passante ferroviario del Nodo di Bologna [45]

Il 31 Maggio 2006, è stato abbattuto l'ultimo diaframma delle gallerie della linea di alta velocità che attraversano Bologna, presso il Camerone Salesiani, a 23 m di profondità, dove sono uscite all'aperto le due grandi frese al lavoro dall'estate 2003.

Le due gallerie parallele, lunghe circa 6 km ciascuna e già complete del rivestimento, congiungono l'area dove è in costruzione la futura stazione AV di Bologna con la linea AV verso Firenze, nella zona di San Ruffillo.

Costruite in tre anni, le gallerie sono state realizzate con l'impiego di due grandi frese Lovat, lunghe 195 m ciascuna e con diametro di scavo di 9,40 m. Le frese EPB a scudo meccanico hanno consentito avanzamenti medi giornalieri di 10/12 m con punte di 36 m, dieci volte superiori a quelli possibili con l'uso dei tradizionali sistemi di scavo e rivestimento.

Per garantire la sicurezza durante la realizzazione dei *tunnel*, ogni 500 m sono stati costruiti dei cunicoli di comunicazione tra le due gallerie e per la sicurezza in esercizio sono in realizzazione ulteriori cunicoli, ogni 250 m.

Le gallerie San Ruffillo - Nuova stazione AV costituiscono il primo tratto del tracciato di attraversamento urbano dell'alta velocità a Bologna: questo attraversa per 17,8 km la città da sud ad ovest sviluppandosi per il 60% in sotterranea. Dopo aver percorso nelle due gallerie parallele 6 km dal quartiere Savena - San Ruffillo alla nuova stazione AV, in corrispondenza della stazione centrale, la linea prosegue verso Milano uscendo allo scoperto in corrispondenza dei Prati di Caprara.

Herrenknecht - Metrobus di Brescia



Figura 3.21 TBM Herrenknecht impiegata per la realizzazione dei Tunnel del Metrobus di Brescia [49]

Al fine di ridurre il traffico su strada, la città di Brescia, nel nord Italia, ha programmato un sistema di trasporto completamente automatico, che percorre 13 km e intervallato con 17 stazioni: un piccolo sistema pendolare di trasporto su doppio senso di marcia, di cui 6 km del percorso dovrebbero essere realizzati in sotterraneo sotto la città. Per questo tratto sono previste 8 stazioni, di cui 4 da costruire in sotterraneo.

Per la realizzazione di questo *tunnel*, lungo 5,344 km, è stata utilizzata una TBM EPB, di diametro 9,15 metri, che ha scavato attraverso tufo, limo, argilla e ghiaia a partire dal Novembre 2005.

Il progetto si è concluso con successo nel Febbraio 2009.

3.4 I grandi progetti per il futuro

Nei paragrafi precedenti abbiamo elencato macchine già impiegate nei vari progetti sparsi per il Mondo, ma, come già citato, è prevista a breve la realizzazione di altre due grandi macchine.

Di seguito accenneremo brevemente a questi due progetti futuri.

Herrenknecht - Orlovski Tunnel

Da molti anni ormai, i diametri nello scavo meccanizzato sono gradualmente aumentati, superando via via i record raggiunti.

All'inizio di Giugno 2011, la Nevskaya Concession Company ha richiesto ad Herrenknecht la costruzione di una TBM *Mixshield*, per lo scavo dell'Orlovski Tunnel, che congiunge le due metà del centro di San Pietroburgo sotto il fiume Neva.

Con il diametro di 19,25 metri sarà la TBM il diametro più grande al Mondo, caratterizzata da:

- *back-up* lungo 82 metri;
- 3800 tonnellate di peso complessivo;
- 8400 kW di potenza di spinta sulla testa.

L'inizio della perforazione è prevista nella primavera del 2013, mentre la conclusione dei lavori è indicata per il 2016.

Alaskan Way Tunnel – Hitachi

Il *Washington State Department of Transportation* ha assegnato il contratto per la realizzazione di un *tunnel*, di diametro 17,5 metri, ad una profondità di 60 metri, al di sotto del terreno glaciale di Seattle, Washington. L'inizio dei lavori è previsto per l'Aprile 2013.

La macchina che verrà utilizzata, dal diametro di 17,45 metri, costruita dalla Hitachi, è una EPB che possiederà i seguenti requisiti:

- essere in grado di scavare attraverso terreni contenenti massi, legno e cemento;
- mantenere la tenuta d'acqua durante l'attraversamento di sabbia, limo e terreni argillosi, anche in presenza di una pressione dell'acqua pari a 4-5 bar;
- fornire protezione all'abrasione per testa e tutti i componenti della TBM soggetti ad usura a causa del terreno abrasivo previsto nel tracciato.

3.5 Le case produttrici e i loro record

Per completare questa lunga carrellata di Mega – TBM, riportiamo di seguito una tabella che riassume, per ciascuna delle maggiori case produttrici, la dimensione massima realizzata per le proprie macchine.








CASA PRODUTTRICE	TIPO DI TBM	DIAMETRO (m)	OPERA REALIZZATA	IMMAGINE
Herrenknecht	Mixshield	19,25	Orlovski Tunnel	
Hitachi	EPB	17,5	Alaskan Way Tunnel Seattle	Hitachi Zosen Corporation Technology and Business Innovator
Mitsubishi	EPB	15,2	Madrid Road	
NFM Technologies	Slurry Shield	14,87	Netherlands high-speed line	
Aker Wirth	TBE	14,4	Uetliberg Tunnel	
The Robbins Company	Gripper	14,4	The Niagara Tunnel Project	
Kawasaki	Slurry Shield	10,3	Tokyo Metro	
Seli	Double Shield	10	Kuznetsovsky Railway Tunnel	
Lovat	Mixed Face EPB	9,8	Lisbona Metro	
Csm Bessac	EPB	7,8	Mexico Tunnel	

Figura 3.22 Dimensione massima realizzata da ciascuna delle maggiori case produttrici

4. LA GALLERIA SPARVO

4.1 Il progetto della “Variante di Valico”

Il tratto appenninico dell'Autostrada del Sole A1, che va da Bologna a Firenze, è lungo complessivamente 65 chilometri (tra gli svincoli di Sasso Marconi e Calenzano), con un dislivello di oltre 650 m (il valico appenninico è a quota 726 s.l.m.). La sua costruzione risale ai primi anni '60 ed è ormai è totalmente inadeguato a sopportare il traffico giornaliero che abitualmente vi transita. Dal 2001, quindi, sono stati avviati i tanto attesi lavori di potenziamento di questo importante tratto autostradale.

Per Variante di Valico Appenninico si intende la tratta da Bologna a Firenze dell'Autostrada A1 (Milano – Napoli) che si innesta sull'A14 (ramo Casalecchio) e a Firenze Nord con la A11 (Firenze – Pisa).

La soluzione progettuale individuata è di elevata difficoltà tecnica: i lavori si svolgono infatti in uno dei territori morfologicamente e geologicamente più complessi d'Europa per la presenza di gas e formazioni geologiche instabili negli scavi in sotterraneo.

L'opera si sviluppa per circa 66 km, articolandosi in due macro-tratte, di seguito descritte:

- tratta Sasso Marconi - La Quercia: l'intervento è consistito nell'ampliamento a 3 corsie di percorrenza dell'autostrada attuale per circa 20 km, con numerose modifiche di tracciato in variante, e nel rifacimento dello svincolo di Sasso Marconi;
- tratta La Quercia – Barberino: consiste nell'aggiunta di una nuova autostrada (Variante) a quella attuale, che subirà un ampliamento. I Clienti potranno così scegliere se percorrere la nuova autostrada o quella esistente.

È stato aggiunto, in corso d'opera, un ultimo tratto, denominato Lotto 0, di 4,1 chilometri, tra Sasso Marconi e Casalecchio di Reno, alle porte di Bologna, anch'esso interessato dall'ampliamento a tre corsie di percorrenza, oltre alla posa di barriere fonoassorbenti.

Della totalità dell'opera, solo 48 km riguardano la Variante propriamente detta: un tracciato completamente nuovo, di due corsie per senso di marcia più quella di emergenza.

Il tracciato, che attraversa 2 regioni (6 Comuni in Emilia Romagna e 2 Comuni in Toscana), si compone di 45 opere principali di cui:

- 23 viadotti, per uno sviluppo totale di 10,4 km;
- 22 gallerie, per un totale di 29,27 km.

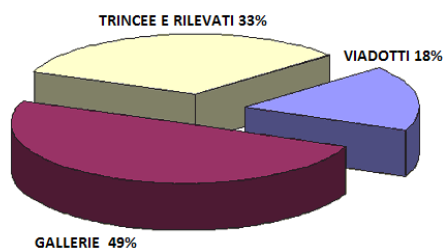


Figura 4.1 Percentuale delle opere principali realizzate nella VAV [53]

La Fig. 4.2 mostra il progetto complessivo della Variante di Valico Appenninica, con l'indicazione dei lotti presenti.

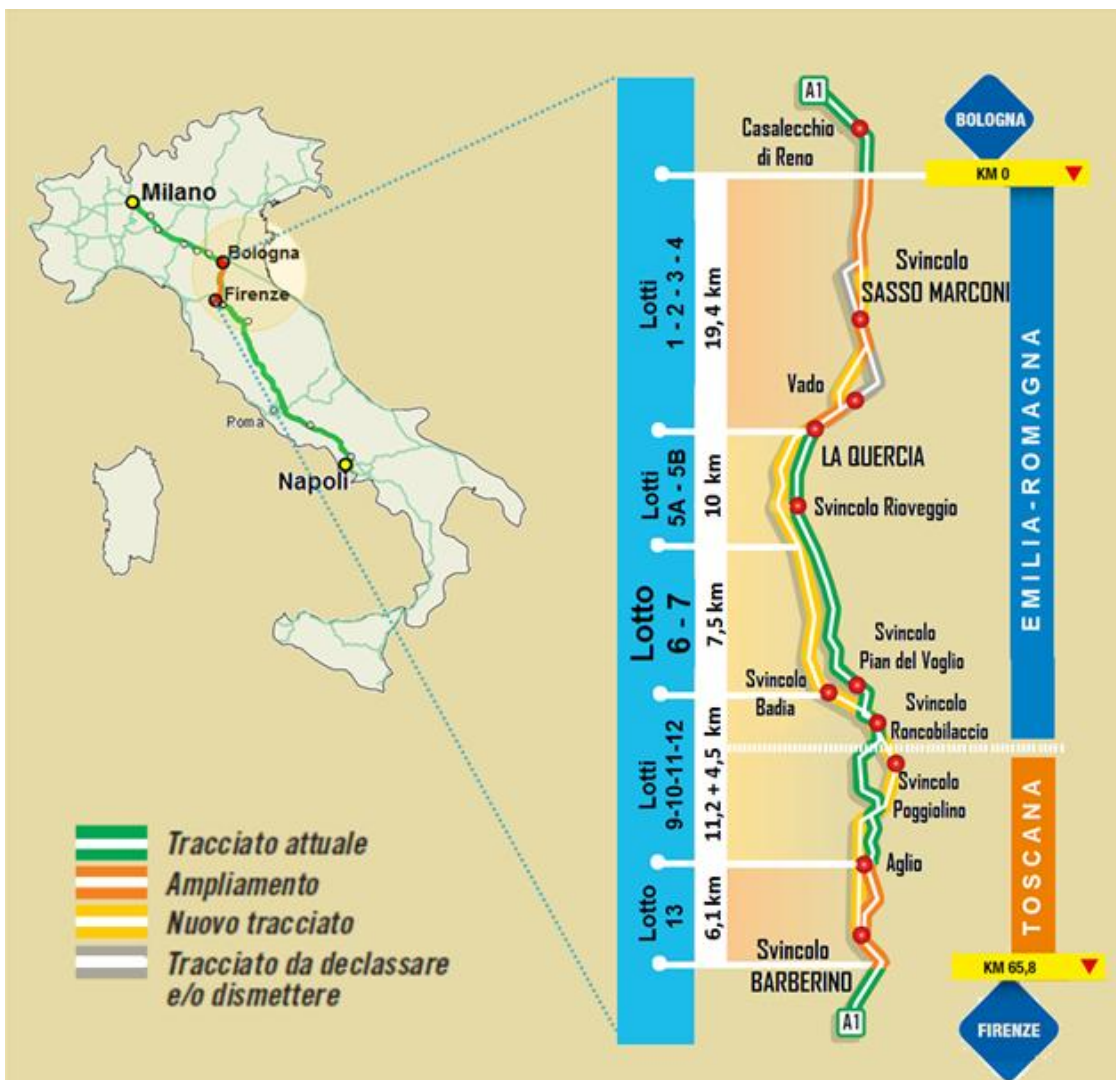


Figura 4.2 Progetto complessivo dell'opera VAV

4.2 Il nodo della Galleria Sparvo – Inquadramento generale

La Galleria Sparvo si colloca entro il Lotto 6-7, l'ultimo della Variante di Valico ad essere terminato e traguardo da raggiungere per l'entrata in funzione di tutta la tratta La Quercia – Barberino del Mugello.

Questo lotto, interamente collocato all'interno del territorio emiliano, è lungo 7,6 chilometri ed è caratterizzato dalla presenza di:

- due viadotti, il molino di Setta e lo Sparvo;
- due lunghe gallerie naturali, la val di Sambro (con i suoi 3800 metri, è la seconda galleria più lunga della Variante) e la Sparvo (lunga 2495 metri).

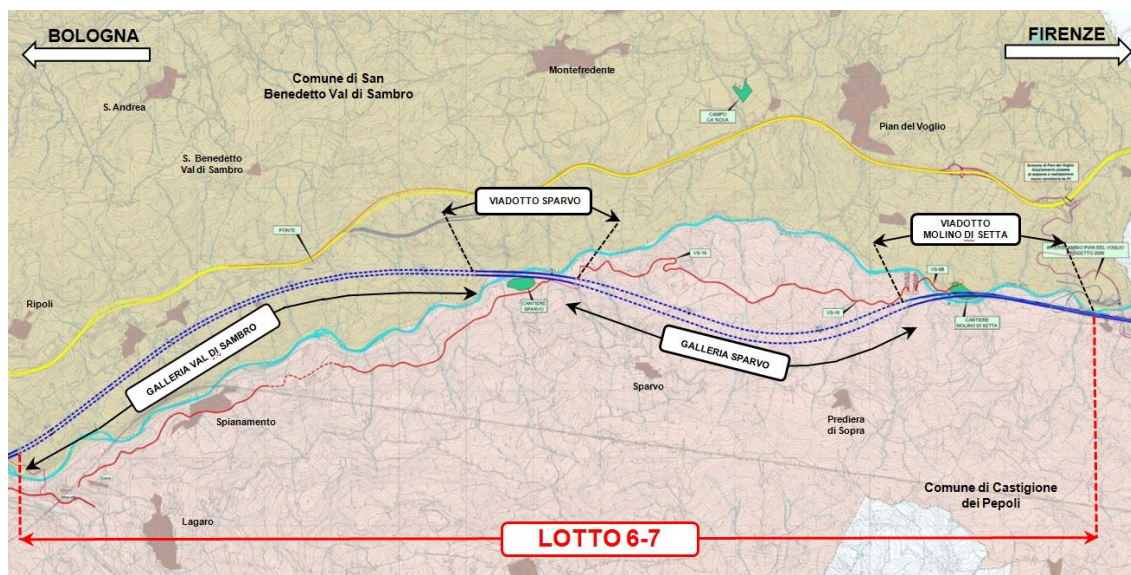


Figura 4.3 Lotto 6-7 e indicazione della posizione della Galleria Sparvo all'interno di esso

La galleria Sparvo, ritenuta dagli esperti la più difficile dell'intera tratta della Variante di Valico, dal punto di vista geologico e geomeccanico, e, quindi, l'opera che presenta la maggiore complessità realizzativa, ha subito diverse modifiche progettuali nel corso degli anni.

In origine il progetto prevedeva che lo scavo fosse effettuato in tradizionale, applicando però sezioni fortemente consolidate: oltre 150 consolidamenti al fronte e circa 90 al contorno, con iniezioni in pressione di miscele cementizie. Il risultato, emerso nelle simulazioni, è che l'avanzamento sarebbe stato molto lento.

Da qui la scelta di utilizzare una macchina TBM, che ha comportato il ritardo di circa un anno dell'avvio dello scavo (perché va progettata e costruita appositamente), ma garantisce tempi di produzione decisamente migliori, e molti meno problemi durante l'avanzamento.

Scegliere di puntare su una TBM però non è stato così semplice come sembrerebbe, perché nei lavori della Variante non si sono mai utilizzate macchine di questo tipo, sia per l'esperienza negativa con i cunicoli pilota (quattro cunicoli esplorativi realizzati a partire dal 1997 e fermati poi nel 1999, proprio a causa di numerose venute di gas – anche di carattere eccezionale – che rendevano pericoloso l'avanzamento, specie ai fronti più lontani), ma soprattutto per l'impossibilità di rendere in assetto antideflagrante una TBM, cosa che invece chiedeva la formazione da scavare.

La TBM impiegata nella Galleria Sparvo, permetterà la realizzazione dell'opera nella massima sicurezza anche in questo senso, in quanto dotata di opportune caratteristiche, che la rendono idonea ai contesti sopracitati.

Per quanto concerne l'organizzazione del cantiere, lo scavo verrà eseguito per entrambe le gallerie mediante un'unica macchina. Essa sarà montata sul piazzale antistante l'imbocco Sud ed eseguirà prima lo scavo della canna Nord e poi, una volta terminato, verrà girata per realizzare, in verso contrario, la canna Sud e quindi essere definitivamente smontata sul piazzale antistante l'imbocco Sud.

Il tracciato della galleria (Fig. 4.4) prevede, in direzione nord, 2 curve a sinistra e 1 a destra, e le caratteristiche progettuali sono riportate in Tab. 4.1.

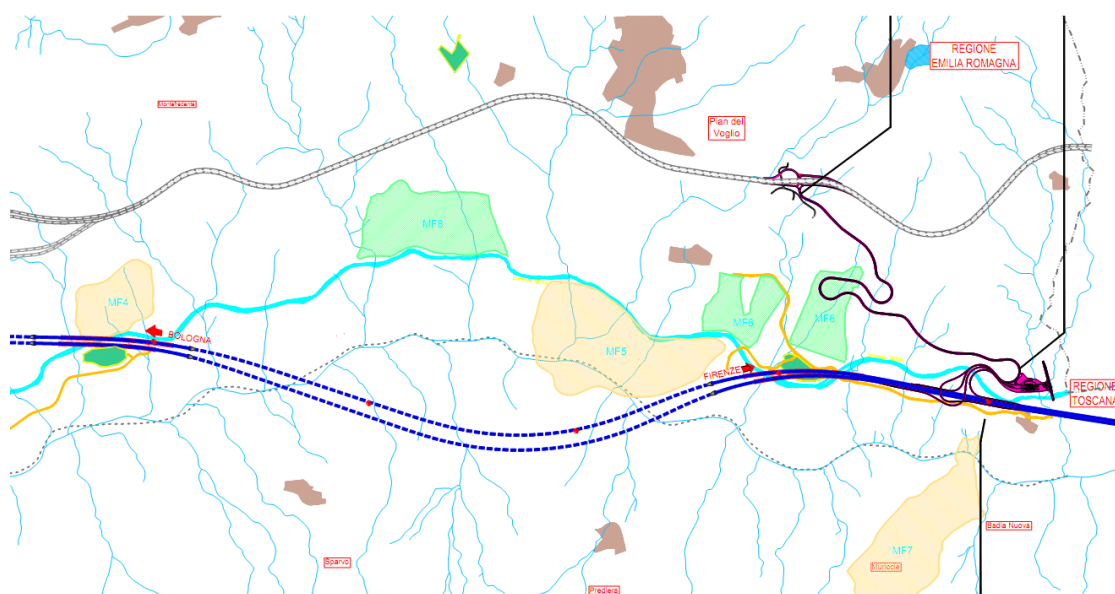


Figura 4.4 Tracciato della Galleria Sparvo [23]

CARATTERISTICHE PROGETTO	
N° CARREGGiate	2 + 1 emergenza
LUNGHEZZA CANNA NORD (SENZA IMBOCCO)	2431 m
LUNGHEZZA CANNA SUD (SENZA IMBOCCO)	2494 m
SALITA/DISCESA	4%
COPERTURA MAX	130 m
COPERTURA MIN	10 m
RAGGIO CURVATURA PLANIMETRICO	3100 - 6000 m

Tabella 4.1 Caratteristiche progettuali della Galleria Sparvo [23]

La lunghezza delle carreggiate, conteggiando anche l'imbocco, risulta essere 2563 m per la Canna Nord e 2600 m per la Canna Sud.

Dovendo realizzare ora una sezione circolare, a fronte della policentrica associata allo scavo in tradizionale, è stato necessario modificare la sezione di scavo. Le Tab. 4.2 e 4.3 riportano le caratteristiche della "nuova" sezione e quelle del rivestimento definitivo, realizzato in conci prefabbricati, di cui forniremo maggiori dettagli più avanti.

CARATTERISTICHE SEZIONE	
Diametro di scavo	15,615 m
Diametro intradosso	13,6 m
Diametro estradosso	15 m
Raggio interno	6,8 m
Raggio esterno	7,5 m
Sezione con rivestimento	149,6 m ²
Sezione senza rivestimento	176,7 m ²
Sezione testa di scavo	191,5 m ²

RIVESTIMENTO	
Numero conci per anello	9+1
Lunghezza concio	2 m
Spessore concio	0,7 m
Armature	2 tipi

Tabella 4.2-4.3 Caratteristiche progettuali della sezione e del rivestimento definitivo impiegate nella Galleria Sparvo [23]

Riportiamo di seguito (Fig. 4.5) lo schema della sezione tipo della Galleria Sparvo, realizzata con l'ausilio della TBM.

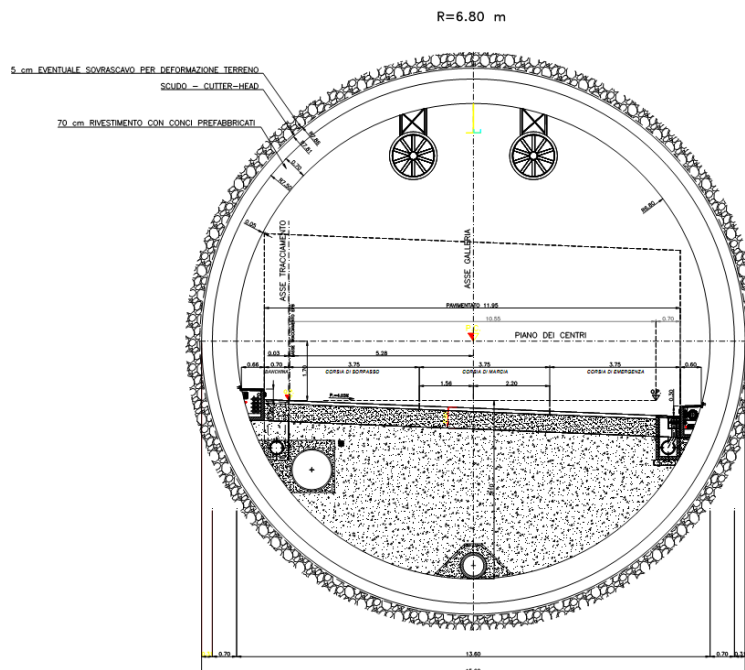


Figura 4.5 Sezione tipo con TBM tipo EPB [23]

Gli anelli del rivestimento definitivo sono realizzati con conci in calcestruzzo prefabbricato, prodotti nello stabilimento conci, posizionato in corrispondenza del Viadotto Molino di Setta.

Il collegamento dei conci è realizzato mediante bulloni in acciaio posti sia lungo i lati radiali e longitudinali dei questi; per garantire l'allineamento dei conci si prevede la realizzazione di connessioni nei getti tipo maschio-femmina e l'impiego di barre guida.

In accordo con la mutata tecnologia di scavo (ed in riferimento, ovviamente, alle difficili condizioni geotecniche), è stato necessario prevedere degli opportuni accorgimenti, atti a rendere realizzabile l'opera ed in particolare l'eliminazione delle piazzole di sosta e la modifica della geometria delle nicchie SOS. Si conferma la presenza di *by-pass* pedonali ad interasse di 300 m e *by-pass* carrabili ad interasse di 900 m.

La realizzazione dei *by-pass* e delle nicchie avverrà previa posa, all'interno della galleria, di telai metallici di supporto dell'anello di rivestimento nella fase di taglio dei conci prefabbricati per la realizzazione delle aperture necessarie.

Per quanto concerne gli imbocchi (Sud e Nord), è stata necessaria la realizzazione di una paratia in micropali per rendere possibile la partenza della macchina. Inoltre, lateralmente all'imbocco Nord, al fine di avere il necessario spazio per le operazioni di inversione della macchina di scavo, è stata prevista la demolizione della esistente paratia di micropali e la realizzazione di

una nuova esterna ad essa in modo da ricavare lo spazio necessario al getto di una soletta di base su cui roto-traslare la TBM.

Il materiale smarinato viene trasportato, mediante nastro, fino ad una discarica provvisoria, in Località Badia, e viene classificato in base alle sue caratteristiche geomeccaniche:

- quello idoneo viene riutilizzato per la realizzazione del rilevato dell'Area di servizio di Badia e per il riempimento dell'arco rovescio delle gallerie;
- quello non idoneo, tramite autocarro viene trasportato fino ad un'area, in prossimità di Rioveggio, da cui parte un ulteriore nastro trasportatore che consentirà al materiale di raggiungere la discarica definitiva.

4.3 Inquadramento geologico – geomeccanico dell'area di intervento

In questo paragrafo riportiamo la descrizione geologica e geomeccanica del complesso sottosuolo entro cui si inserisce il progetto della Galleria Sparvo, soffermandosi brevemente sulle formazioni effettivamente attraversate dall'opera e focalizzando l'attenzione sulle problematiche che queste formazioni inducono nello scavo.

In Fig. 4.6 riportiamo la Carta geologica d'Italia (scala 1:1250000) e il particolare dell'area fra Bologna e Firenze, entro cui si inserisce l'opera Variante di Valico.



Figura 4.6 Carta Geologica d'Italia Scala 1:1250000 e Porzione della carta geologica entro cui si inserisce il nostro inquadramento geologico [46]

4.3.1 Unità tettoniche riconosciute nell'area indagata

Nell'ambito dell'area in esame sono state riconosciute le seguenti unità tettoniche:

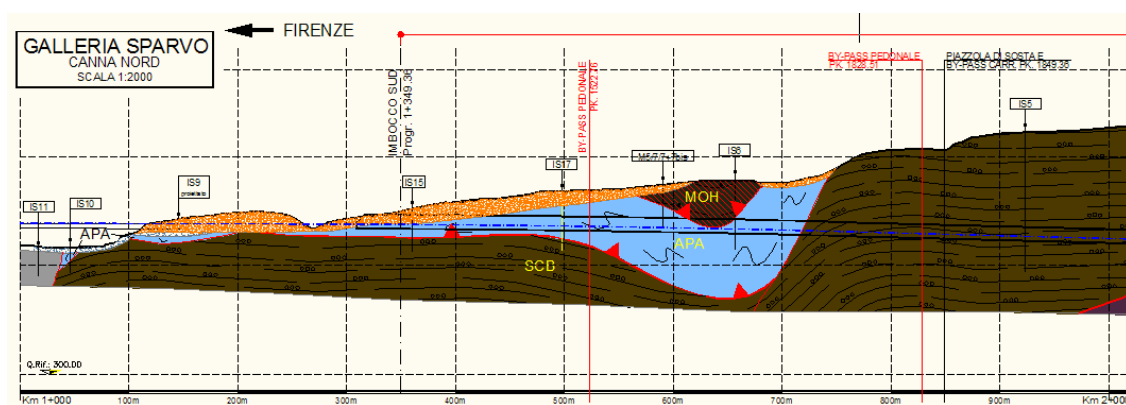
- Unità Tettonica Liguride ed Epiliguride – Unità Tettonica di Monghidoro, della quale fanno parte le Formazioni di Monghidoro (MOH) e di Monte Venere (MOV);
- Unità Tettonica Leo, della quale fanno parte le formazioni delle Arenarie tipo Scabiazza (SCB), le Argille Varicolori di Grizzana Morandi (AVT), la Formazione delle Argille a Palombini (APA) e la Formazione delle Ofioliti (OFI);
- Unità Tettoniche Toscane - Unità Tettonica Sestola – Vidiciatico, della quale fanno parte le formazioni di Marne di Marmoreto (MMA), Formazione delle Breccie Argillose Poligeniche (BAP) e Formazione dell'Abetina Reale (FMP).

4.3.2 Condizioni geologiche presenti lungo il tracciato

La galleria si imposta all'interno di un versante interessato dalla presenza di numerose frane quiescenti, con locali fenomeni di frana attiva anche di notevole estensione ed importanza (Frana di Sparvo) e frequenti soliflussi.

Di seguito riportiamo la sezione geologica relativa allo scavo della Canna Nord, della Galleria Sparvo, dividendola in 3 porzioni e focalizzando brevemente l'attenzione su ciascuna di esse.

Profilo geologico Canna Nord -Porzione iniziale



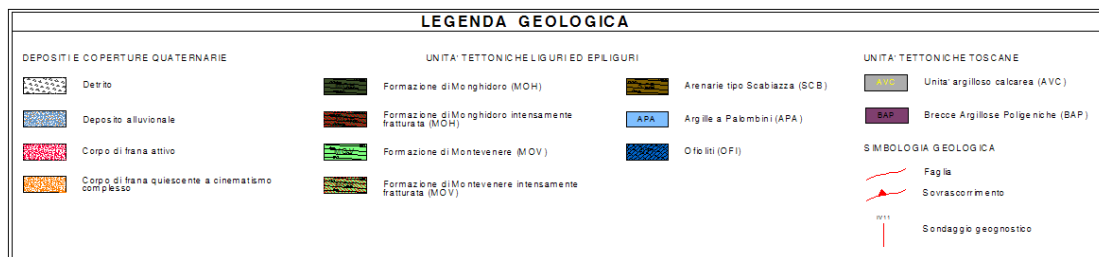
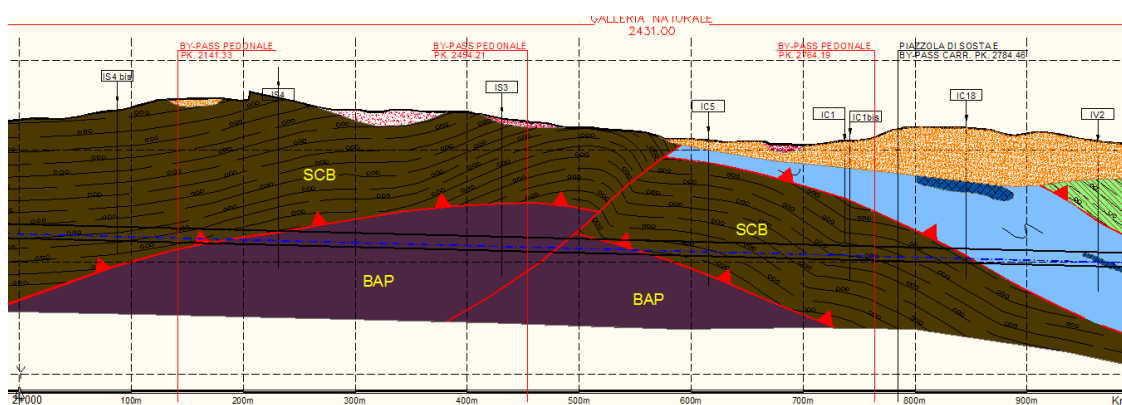


Figura 4.7 Profilo Longitudinale Canna Nord - Porzione iniziale e Legenda geologica [29]

La galleria naturale imbocca alle progressive 1+349.36 (carr. Nord) e 1+318.36 (carr. Sud) lungo un versante poco acclive caratterizzato da coperture detritiche di spessore mediamente superiore ai 10 m (corpi di frana quiescenti) poggianti su un substrato costituito dalle Argille a Palombini. Fino alle progressive 1+400 - 1+440 circa, il fronte sarà parzialmente interessato dai terreni detritici di copertura; oltre tale progressiva lo scavo avverrà interamente nelle Argille a Palombini con coperture modeste (ca. 30 - 35 m) fino alla progressiva 1+730 e 1+760 dove è presente il contatto tettonico con le Arenarie tipo Scabiazza. Tra le progressive 1+615 e 1+660 circa, il fronte sarà parzialmente interessato anche dalle arenarie molto fraturate della Formazione di Monghidoro. Oltre il contatto tra Argille a Palombini e Arenarie tipo Scabiazza la galleria prosegue entro quest'ultima formazione fino al successivo contatto tettonico, debolmente inclinato, con le Breccie Argillose Poligeniche tra le progressive 2+175 e 2+225 circa.

Profilo geologico Canna Nord – Porzione centrale



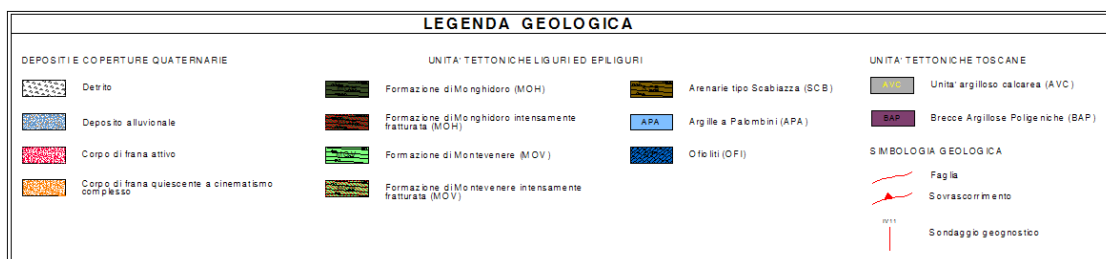


Figura 4.8 Profilo Longitudinale Canna Nord - Porzione centrale e Legenda geologica [29]

Tra le progressive 2+500 e 2+565 un secondo contatto tettonico debolmente inclinato riporta lo scavo entro le Arenarie tipo Scabiazza fino alla progressiva 2+850 e 2+870 circa. A tale progressiva corrisponde un ulteriore contatto tettonico tra le Arenarie tipo Scabiazza e le Argille a Palombini. La galleria attraversa quindi la tratta più estesa entro quest'ultima formazione, caratterizzata in questa zona, dalla presenza di abbondanti corpi, da metrici ad ettometrici, di Ofioliti intensamente fratturate.

Profilo geologico Canna Nord – Porzione finale

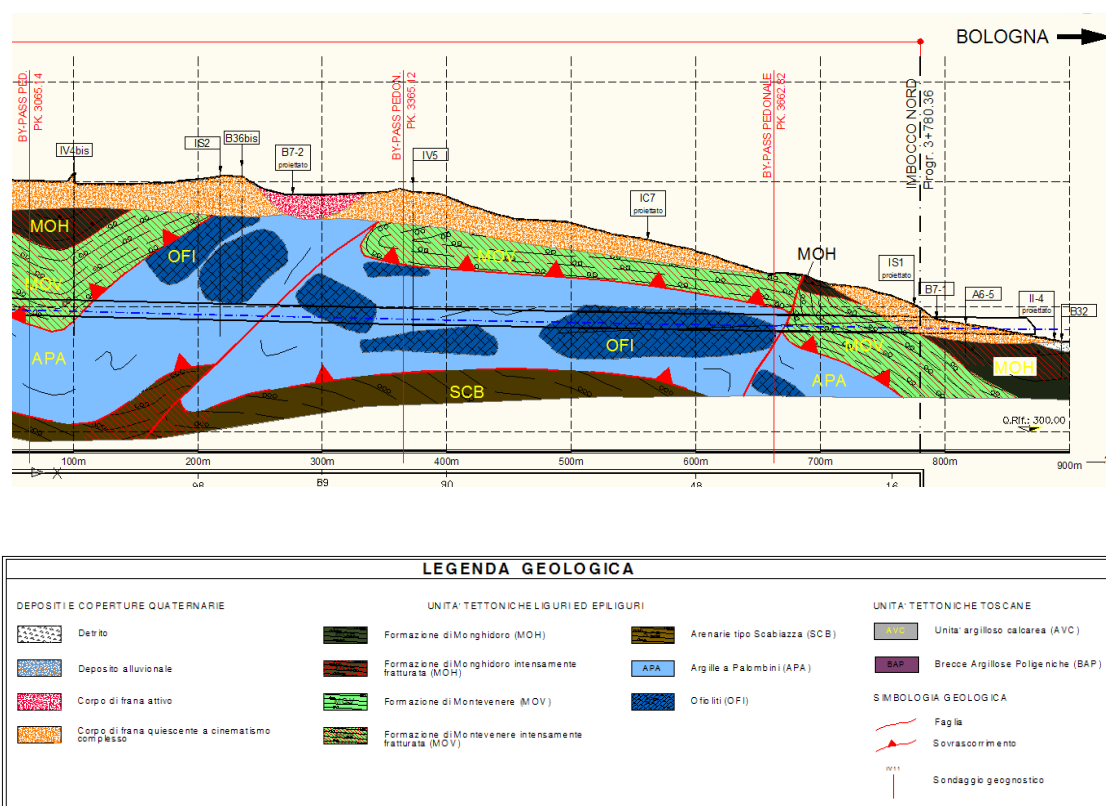


Figura 4.9 Profilo Longitudinale Canna Nord - Porzione finale e Legenda geologica [29]

Tra le progressive 3+050 e 3+115 circa, verranno attraversate le arenarie della Formazione di Monte Venere intensamente fratturate. Alla progressiva 3+675 (carr. Nord) e 3+720 (carr. Sud) un contatto per faglia porta la galleria dalle Argille a Palombini alla Formazione di Monte Venere ancora molto fratturata fino a circa 20 - 25 m dall'imbocco nord, dove sono presenti i terreni di copertura relativi a corpi di frana quiescente, impostati su un versante mediamente acclive.

4.3.3 Campagne geognostiche eseguite

Le diverse fasi della progettazione della galleria Sparvo hanno comportato l'esecuzione di numerose indagini geotecniche. Per quanto riguarda i sondaggi eseguiti nella zona interessata dal progetto della galleria Sparvo, si possono elencare 8 diverse campagne già eseguite più un'ultima, la nona, richiesta dal Comitato Tecnico.

Le campagne di indagine sono consistite nell'esecuzione di:

- Sondaggi;
- prove geotecniche in foro di sondaggio (prove penetrometriche dinamiche (SPT), dilatometriche e pressiometriche, nonché prove di permeabilità Lefranc e Lugeon);
- prove di laboratorio;
- prove geofisiche, che comprendono prove cross-hole, misure di carotaggio sonico e rilievi di tomografia sismica.

Sono stati inoltre posizionati tubi inclinometrici e piezometri tipo Casagrande e a tubo.

La Tab. 4.4 riepiloga le diverse campagne di sondaggi eseguite, le quantità, l'impresa esecutrice e la data di esecuzione.

CAMPAGNE GEOGNOSTICHE		
NUMERO DI SONDAGGI	IMPRESA ESECUTRICE	PERIODO DI ESECUZIONE
9	C.S.I.	Luglio-Settembre 2003
8	SO.RI.GE.	Settembre2002-Aprile 2003
1	Vincenzetto	mar-03
9	RCT	Dicembre 2003-Maggio2003
19	RCT	Febbraio 2002-Aprile 2002
4	CSI	Marzo 2002-Maggio 2002
4	RCT	set-85
6	GEOTEST	Ottobre-Dicembre 1991
12	CSI e LANDSERVICE	Gennaio-Aprile 2003

Tabella 4.4 Campagne geognostiche eseguite, quantità di sondaggio e data [26]

In Fig. 4.10 riportiamo l'ubicazione delle indagini eseguite nell'ambito dell'area in cui si inserisce la Galleria Sparvo.

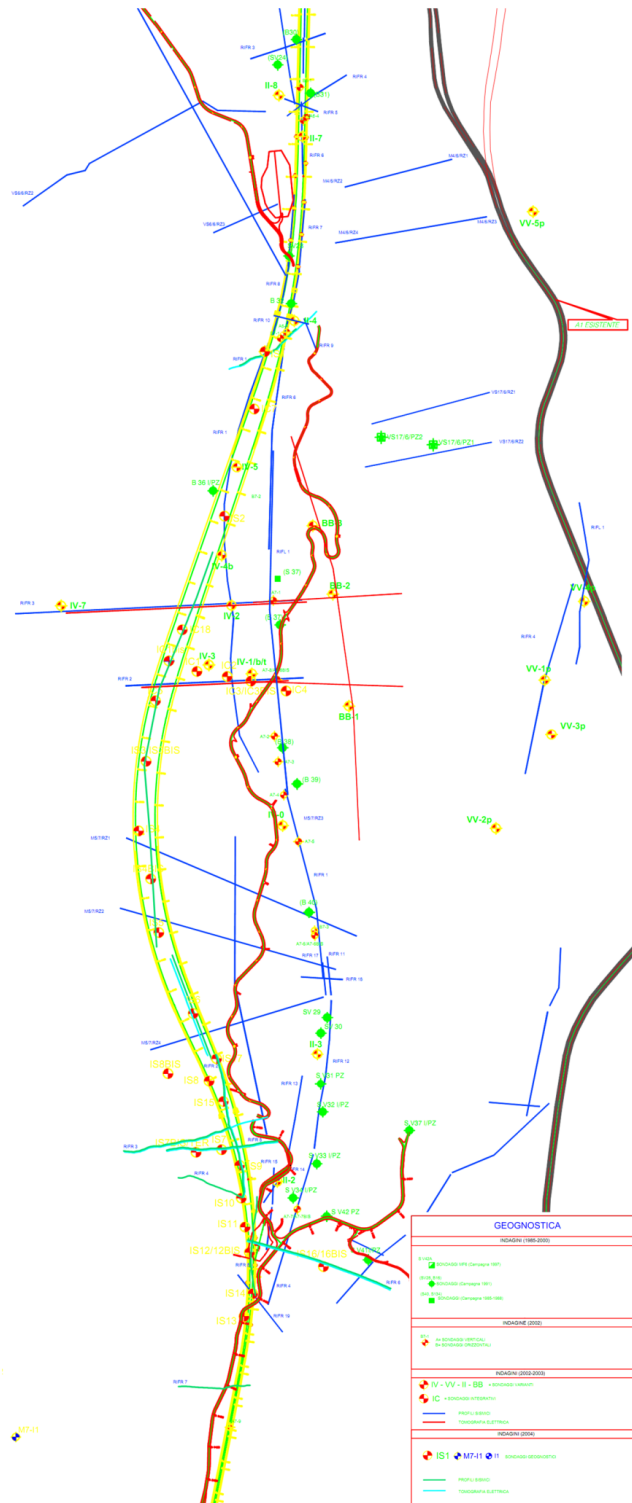


Figura 4.10 Ubicazione dei sondaggi che hanno riguardato l'area in cui si inserisce la Galleria Sparvo [26]

Per maggiore chiarezza riportiamo anche i profili longitudinali della Galleria Sparvo (Canna Nord e Canna Sud), con l'indicazione dei sondaggi che hanno interessato il tracciato dell'opera.

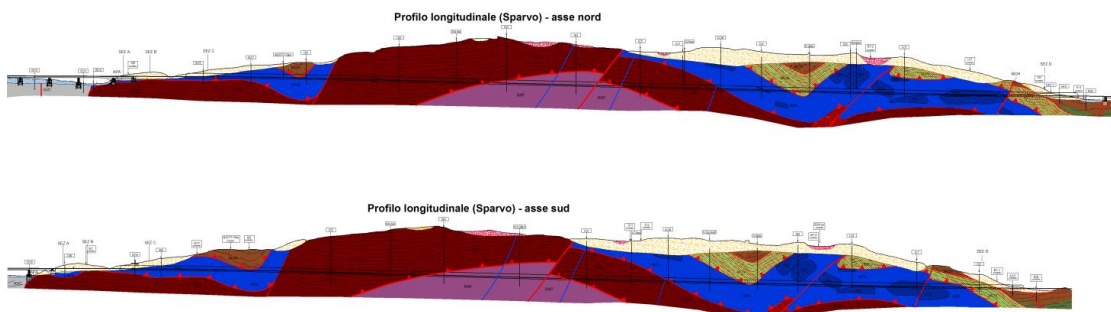


Figura 4.11 Profili longitudinali con l'indicazione dei sondaggi [29-30]

In ultimo, la Tab. 4.5 evidenzia, ulteriormente, i sondaggi che hanno interessato il tracciato della galleria, indicando la formazione intercettata.

SONDAGGIO	QUOTA (m)	PROFONDITA' SONDAGGIO (m)	CAMPAGNA	FORMAZIONE INTERESSATA
IV-4 bis	497,134	120	Campagna geotecnica SO.RI.GE. (2002 - 2003)	MOV e APA
IV-5	501,575	120,5	Campagna geotecnica RCT (2002 - 2003)	APA
IS1	422,7	52	Campagna Comitato Tecnico (2004)	MOV
IS2	503,31	130,3	Campagna Comitato Tecnico (2004)	APA
IS3	532,81	146	Campagna Comitato Tecnico (2004)	SCB/BAP
IS4	555,05	160,3	Campagna Comitato Tecnico (2004)	SCB/BAP
IS5	524,57	131	Campagna Comitato Tecnico (2004)	SCB/BAP
IS6	481,912	67	Campagna Comitato Tecnico (2004)	MOH e APA
IS8	466,319	50,3	Campagna Comitato Tecnico (2004)	APA
IS9	446,362	30	Campagna Comitato Tecnico (2004)	IMBOCCO
IS15	450,784	40	Campagna Comitato Tecnico (2004)	IMBOCCO
IS17	468,347	55	Campagna Comitato Tecnico (2004)	APA
IC1		80,2	Campagna geotecnica C.S.I. (Luglio - Settembre 2003)	SCB
IC1 bis		130	Campagna geotecnica C.S.I. (Luglio - Settembre 2003)	SCB
IC5		135,7	Campagna geotecnica C.S.I. (Luglio - Settembre 2003)	SCB/BAP
IC7		85	Campagna geotecnica C.S.I. (Luglio - Settembre 2003)	APA
IC18		140,35	Campagna geotecnica C.S.I. (Luglio - Settembre 2003)	APA/SCB

Tabella 4.5 Indicazione dei sondaggi che hanno intercettato le formazioni presenti nella galleria in esame [26]

4.3.4 Le formazioni attraversate dalla Galleria Sparvo

Le formazioni che verranno interessate dallo scavo della Galleria Sparvo, già citate precedentemente, sono:

- APA – Argille a Palombini;
- SCB – Arenarie tipo Scabiazza;
- BAP – Breccie Argillose Poligeniche;
- MOV – Formazione di Monteverene.

Focalizzeremo la nostra attenzione sulla difficoltà che si ha nel caratterizzare tali formazioni, in particolare le Argille a Palombini, e sulle problematiche che si verificano durante lo scavo di tali terreni.

Riportiamo brevemente un'indicazione sulle campagne di sondaggi che sono state eseguite nell'arco degli anni nell'ambito del tracciato della galleria in esame.

APA – Argille a Palombini

Questa è la formazione più problematica che la galleria si troverà ad attraversare, in quanto, a causa della sua struttura complessa, rientra sotto la definizione di “ Complesso Caotico”.

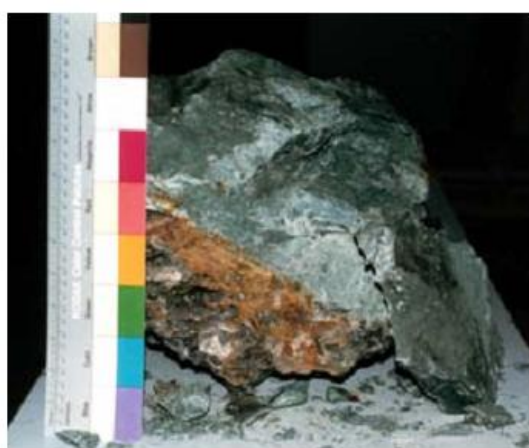
Per fornire un'indicazione sul significato di tale termine, faremo riferimento alla Formazione delle Argille Scagliose, incontrate durante la realizzazione delle Gallerie della TAV, in prossimità della zona in cui la nostra opera si va ad inserire, che presentano caratteristiche analoghe al caso in esame.

Il Complesso Caotico Tettonizzato delle Argille Scagliose è una formazione costituita essenzialmente da argille e marne, inglobanti relitti lapidei di varia natura, prevalentemente calcari e arenarie. La sua storia geologica può essere molto sinteticamente schematizzata nelle seguenti fasi:

- di sedimentazione, in bacini profondi. I materiali depositati risultano prevalentemente a granulometria fine (limi ed argille). In questa fase, presumibilmente, hanno avuto modo di svilupparsi fenomeni di diagenesi, ovvero processi per effetto dei quali, nelle zone di contatto tra le particelle, si genera un'adesione per legami molecolari e per precipitazione di agenti cementanti;
- di erosione;

- di intensa attività tettonica, che ha trasferito la formazione, dal luogo originario della sedimentazione, a quello dell'attuale affioramento. I fenomeni di sedimentazione ed erosione hanno portato ad una forte sovra-consolidazione dei materiali limo-argillosi, mentre le deformazioni di natura tettonica hanno fatto sì che la struttura originaria, costruita da un'ordinata alternanza di strati, sia stata completamente trasformata.

Ad una semplice analisi visiva, le Argille Scagliose si presentano di colore grigio scuro e verde, con locali variazioni verso il rosso od il marrone (quando fortemente alterate). Presentano una struttura in scaglie, con superfici lisce ed oleose al tatto. Si possono osservare delle fessure irregolari e delle pieghe di varia forma.



(a) campione cubico 4 (Raticosa)



(b) piano di rottura del campione OST3 (Osteria)

Figura 4.12 Fotografie delle Argille Scagliose [7]

Per effetto del processo geologico di formazione, in precedenza brevemente illustrato, le Argille Scagliose mostrano le seguenti peculiarità, in termini di caratteristiche strutturali:

- nella scala di pochi decimetri, si osserva un fitto reticolo di fratturazione che individua una tessitura a piccole scaglie iso-orientate formate da limo ed argilla legati per diagenesi,
- nella scala di qualche metro, la struttura appare caotica, con la presenza di inclusi lapidei.

E' caratterizzato quindi da un assetto privo di ordine sedimentario, in cui blocchi litoidi di diverse formazioni sono immersi e legati da una matrice argillitica, in cui si notano laminazioni molto fitte.

L'ammasso può quindi essere visto come un sistema giuntato, in cui le scaglie costituiscono la matrice solida, mentre le superfici delle scaglie rappresentano le discontinuità. Il

comportamento globale del sistema è dunque condizionato sia dalle caratteristiche della matrice, in termini assoluti modeste, che da quelle delle discontinuità. Le caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso potranno variare, da quelle che sono le caratteristiche proprie della matrice a quelle delle discontinuità, in funzione del percorso di sollecitazione e delle condizioni al contorno.

La Fig. 4.13 mostra come la struttura di un terreno argilloso "complesso" varia in funzione sia delle deformazioni di origine tettonica a cui è stato sottoposto, sia della percentuale della frazione litoide presente, mentre la Fig. 4.14 mostra lo schema di classificazione delle formazioni strutturalmente complesse proposto da Esu (1977).

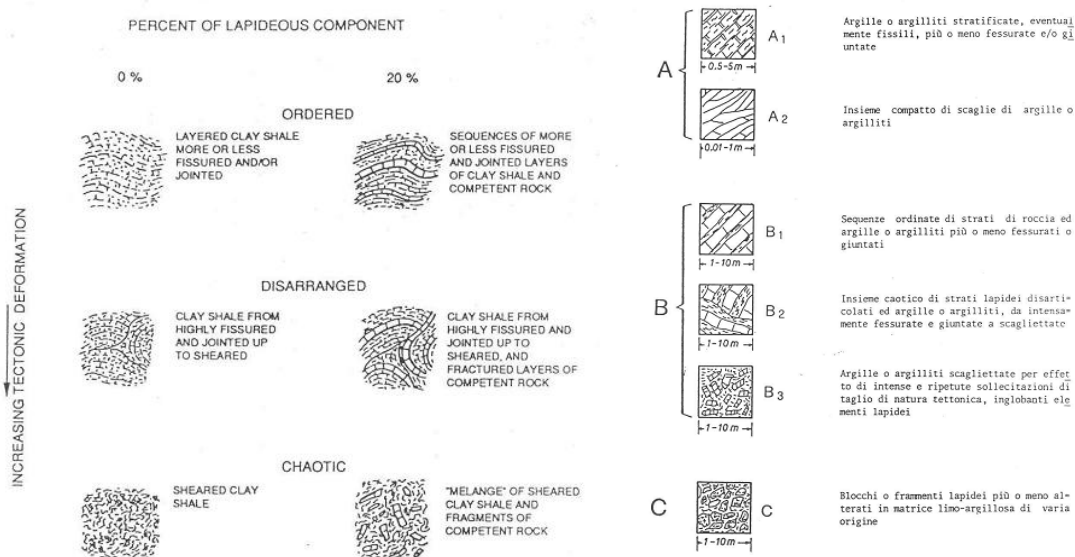


Figura 4.13 -4.14 Caratteristiche strutturali di una formazione strutturalmente complessa in funzione delle deformazioni tettoniche subite e della percentuale di frazione lapidea e Classificazione dei terreni strutturalmente complessi [7]

La Fig. 4.15, invece, riporta alcuni schemi esemplificativi delle strutture caratterizzanti la matrice delle Argille Scagliose.

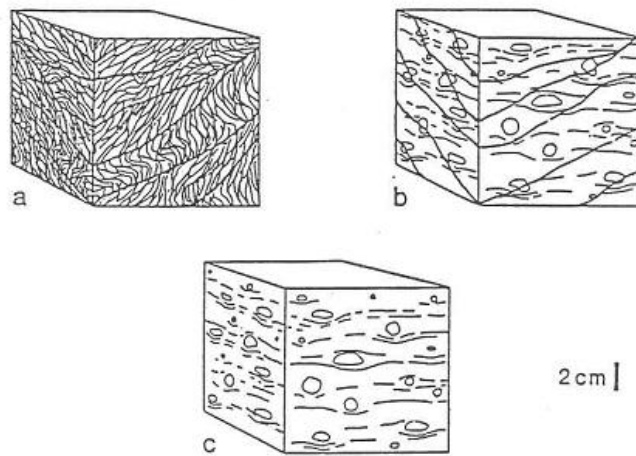


Figura 4.15 Schemi esemplificativi delle strutture caratterizzanti la matrice delle argille scagliose: (a) matrice con struttura determinata esclusivamente dalla tettonica attiva, ad intreccio di piani di scorrimento; b) matrice con struttura da olistostroma tettonicamente riarrangiata, con sviluppo di piani di scorrimento; c) matrice con struttura da olistostroma. [7]



Figura 4.16 Aspetto comune delle Argille a Palombini caratterizzato da spezzoni disarticolati e grossolanamente isorientati inglobati entro argille grigie fortemente scagliose [41]

La formazione in esame, Argille a Palombini, è litologicamente costituita da una matrice argillosa, nella quale sono dispersi inclusi litici di diversa natura e di dimensioni variabili da pochi centimetri a migliaia di metri cubi.

Tra gli inclusi, di dimensione cospicua, citiamo gli affioramenti ofiolitici (costituiti da basalti, diaspri, ecc), affioramenti flyschoidi ed affioramenti di calcari a Palombini.

La matrice argillitica mostra a volte una diffusa suddivisione lamellare lungo superfici che isolano scaglie di dimensione anche millimetrica; si tratta in questo caso di argille scagliose tettoniche, nelle quali sono presenti inclusi generalmente di dimensioni limitate. Le superfici di separazione fra le scaglie possono essere più o meno aperte in relazione alla decompressione subita dal terreno e le scaglie risultano di dimensioni variabili, ed essere più o meno integre, in funzione dei processi di disgregazione agenti.

Definire il comportamento e le caratteristiche di questa formazione risulta difficile, in quanto, anche se sono stati eseguiti dei sondaggi, di cui, come precedentemente evidenziato, solo 9 hanno in particolare preso in esame le Argille a Palombini, questi non risultano sufficienti per descrivere globalmente una struttura così complessa ed eterogenea.

Le analisi e le prove di laboratorio, che sono state eseguite sui campioni prelevati, danno luogo a risultati che hanno una valenza di tipo puntuale e pertanto non possono essere considerati come valori caratterizzanti l'intera formazione.

In generale possiamo dire che la problematica maggiore da dover affrontare è il non sapere se e che tipo di strutture e inclusi andiamo ad incontrare durante lo scavo e, conseguentemente, decidere preventivamente come condizionare il materiale e come condurre l'avanzamento, entrambi connessi alle caratteristiche del materiale.

Per quanto concerne il problema metano, le Argille a Palombini sono caratterizzate da elevata permeabilità e bassa porosità, caratteristiche che consentono la presenza del problematico gas, seppur in maniera limitata.

SCB – Arenarie tipo Scabiazza



Figura 4.17 Strati torbiditici arenaceo-pelitici entro le Arenarie di tipo Scabiazza [41]

Questa formazione presenta delle caratteristiche più omogenee rispetto alle Argille a Palombini e, quindi, anche di più semplice caratterizzazione. Si presenta come un'arenaria fratturata, in cui è facile che siano presenti sacche di metano che, proprio veicolate dalle fratture presenti, riescono a muoversi, dal basso verso l'alto, e raggiungere la porzione interessata dallo scavo.

Anche per questa formazione sono stati eseguiti dei sondaggi, di cui, quelli che hanno propriamente interessato l'Arenaria, sono 7. Poiché il materiale, come già detto presenta omogeneità nella struttura, la caratterizzazione ha una sua valenza.

I materiali qui considerati sono costituiti prevalentemente da limi sabbiosi-argillosi, talvolta inglobanti clasti in percentuale variabile.

Tutti i campioni sottoposti a prove di laboratorio sono caratterizzati da un contenuto di materiale fine superiore al 50% e da tali prove sono state dedotte le seguenti caratteristiche:

- il limite liquido (LL) è compreso tra 30÷59% (valore medio 42,6%);
- il limite plastico (LP) è compreso tra 18÷24% (valore medio 20,6%) e presenta un andamento pressoché costante con la profondità;
- il contenuto d'acqua naturale (W_s) risulta compreso tra 7,1÷11,3% (valore medio 9,0%);
- l'indice di plasticità (IP) varia tra 12÷37% (valore medio 22,0%);
- sul piano di Casagrande, i campioni analizzati si collocano nel campo delle "Argille inorganiche a medio-alta plasticità, argille limose";
- l'indice di attività è compreso tra 0,57÷1,69 (valore medio 1,17);
- il peso specifico naturale per la frazione limoso-sabbioso-ghiaiosa è compreso tra 21,6÷24,3 kN/m^3 (valore medio 23 kN/m^3), il peso specifico secco è compreso tra 19,6÷22,7 kN/m^3 (valore medio 21,2 kN/m^3);
- il peso specifico naturale dei campioni litoidi è pari a circa 24,8 kN/m^3 , il peso specifico secco è pari a circa 23,8 kN/m^3 ;
- la permeabilità è generalmente compresa fra $9,2 \cdot 10^{-9}$ ÷ fra $1,2 \cdot 10^{-7}$ m/s; solo in alcuni sondaggi, ad una profondità compresa fra 23÷30m, si osservano valori più elevati, ma comunque inferiori a $6,1 \cdot 10^{-7}$ m/s.

Questa formazione, meno permeabile e più resistente, presenta meno problematiche durante lo scavo, sebbene necessiti di una costante aggiunta di acqua, a causa della sua secchezza, necessaria per agevolare l'estrazione del materiale attraverso la coclea e una maggiore spinta per le caratteristiche di resistenza sopra citate.

BAP – Breccie Argillose Poligeniche



Figura 4.18 Esempio di Breccie Argillose [41]

Con questa denominazione vengono indicati tutti quei depositi derivati da colate miste di fango e detrito ad alta densità in ambiente marino profondo.

Sono breccie sedimentarie a matrice prevalentemente argillosa, grigie o nerastre su superficie fresca, con clasti da centimetrici a decimetrici costituiti da argille e calcilutiti grigie.

La potenza di questa formazione è molto variabile, da alcune decine fino a qualche centinaio di metri.

Si ritiene opportuno sottolineare l'estrema sensibilità all'acqua del materiale roccioso ascrivibile alla formazione delle Breccie Argillose Poligeniche: infatti si è verificato che le caratteristiche meccaniche dei materiali sono soggette ad un rapido decadimento in ragione di variazioni anche modeste di contenuto d'acqua e che si assiste alla completa disgregazione della roccia per semplice immersione in acqua di un provino.

Anche per le Breccie sono stati eseguiti dei sondaggi, in numero minore rispetto alle Argille e alle Arenarie, precedentemente citate, in quanto lo scavo interesserà questa formazione solamente in un breve tratto.

Per questa formazione ci aspettiamo delle consistenti venute di gas a causa della struttura particolare che caratterizza le breccie: un'anticlinale sovrastata da uno strato arenaceo fortemente fratturato.

MOV – Formazione di Monteverene

Torbiditi arenaceo - pelitiche in strati da sottili a molto spessi costituite da una base arenacea media o fine, grigia o bruna, che passa a pelite, spesso siltosa, grigio-scura.

Lo spessore è generalmente di alcune centinaia di metri. .

Lo scavo interesserà questa formazione in un breve tratto della galleria, motivo per il quale anche il numero dei sondaggi eseguiti è piuttosto limitato.

I materiali qui considerati sono costituiti prevalentemente da limi sabbiosi-argillosi, talvolta inglobanti clasti in percentuale variabile. I campioni sottoposti a prove di laboratorio sono stati distinti in base al contenuto di materiale fine: la frazione limoso-argillosa (contenuto di limo e argilla superiore al 35%) è stata analizzata separatamente da quella prevalentemente ghiaioso-sabbiosa.

Si riportano per le due frazioni le caratteristiche derivanti dalle analisi di laboratorio:

- limite liquido (LL): per la frazione limoso-argillosa, è generalmente compreso tra 24÷53% (massimo 63,6%), con un valore medio di 37,4%; per la matrice fine della frazione ghiaioso-sabbiosa è compreso tra 23,9÷41%, con un valore medio di 31,4%;
- limite plastico (LP): per la frazione limoso-argillosa è compreso tra 14,7÷27%, con un valore medio di 20,2%; per la matrice fine della frazione ghiaioso-sabbiosa è compreso tra 14÷24%, con un valore medio di 20%;
- contenuto d'acqua naturale (W_s): per la frazione limoso-argillosa è compreso tra 5÷29,7%, con un valore medio di 16,2%; per la frazione ghiaioso-sabbiosa è compreso tra 5,4÷18% (medio 12,6%);
- indice plastico (IP): per la frazione limoso-argillosa è generalmente compreso tra 8÷29% (max 41,8%), con un valore medio di 17,2%; per la matrice fine della frazione ghiaioso-sabbiosa è compreso tra 6,4÷18%, valore medio 11,4%;
- il peso specifico naturale per la frazione limoso-argillosa varia tra 19÷23 kN/m³, (valore medio 21,3 kN/m³), il peso specifico secco varia tra 15÷24,8 kN/m³ (valore medio 18,4 kN/m³); per la frazione ghiaioso-sabbiosa il peso specifico naturale è 52 / 310 pari a circa 21,34 kN/m³, il peso specifico secco è pari a circa 19,2 kN/m³;
- Dalle prove di permeabilità effettuate si rileva che, in generale, il coefficiente di permeabilità varia fra $2 \cdot 10^{-8} \div 6 \cdot 10^{-7}$ m/s.

4.4 La TBM più grande del mondo - EPB Herrenknecht S-574 “Martina”

4.4.1 Principio di funzionamento di una TBM EPB

La Herrenknecht S-574 è una TBM EPB (*Earth Pressure Balance*) dotata delle caratteristiche riportate in Tab. 4.6.

CARATTERISTICHE TECNICHE	
DIAMETRO DI SCAVO	15,615 m
LUNGHEZZA DELLA MACCHINA	110 m
LUNGHEZZA DELLO SCUDO	11,60 m
PESO COMPLESSIVO	5000 t
POTENZA INSTALLATA	15000 kW
DIAMETRO DEL CUSCINETTO	9 m
PESO DEL CUSCINETTO	200 t

Tabella 4.6 Caratteristiche tecniche della TBM EPB Herrenknecht S-574 [28]

Le TBM tipo EPB sono impiegate principalmente in terreni non compatti con un'elevata componente di argilla, miscela argillosa e limo. Questo modello di TBM evita una perdita di stabilità del fronte di scavo grazie all'introduzione di una contropressione di sostegno, che viene assicurata da parte dello stesso materiale scavato dalla testa fresante (*cutting wheel*) all'interno della camera di scavo (*excavation chamber*).

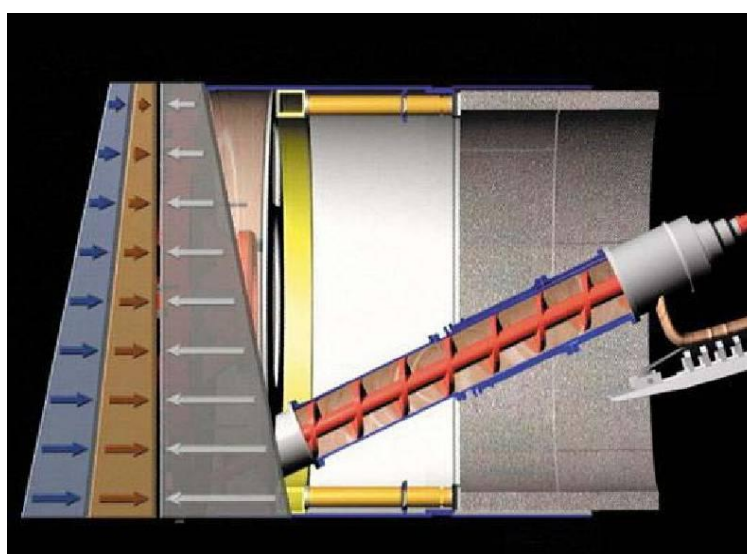


Figura 4.19 Fresca di tipo EPB: sostegno del fronte mediante lo stesso materiale [28]

La pressione di lavoro da mantenere all'interno della camera di scavo è stata definita dal progettista tenendo in conto tanto delle caratteristiche del terreno da scavare come delle condizioni idrostatiche esistenti in sito, come quota della falda rispetto alla quota della calotta del tunnel, gradienti idraulici di filtrazione dell'acqua, permeabilità del terreno, ecc.

Sotto l'azione combinata della spinta di avanzamento dello scudo, fornita dai cilindri di spinta (*"thrust cylinders"*) e della rotazione della testa di scavo, il terreno viene asportato dal fronte e fluisce nella camera di scavo attraverso le aperture della testa, da dove viene poi estratto mediante coclea (*"screw conveyor"*), posizionata nella parte inferiore della paratia.

Il materiale scavato può svolgere la funzione di sostegno nella camera di scavo solo se dotato di buone caratteristiche di deformabilità plastica, se necessario, ottenute integrando il materiale stesso con eventuali additivi come bentonite e schiume, iniettati nel terreno attraverso opportuni ugelli localizzati sulla testa di scavo e nella paratia della camera.

Il materiale, estratto dalla coclea, è scaricato poi su una serie di nastri che lo portano fuori dalla galleria (nastro trasportatore primario e secondario).

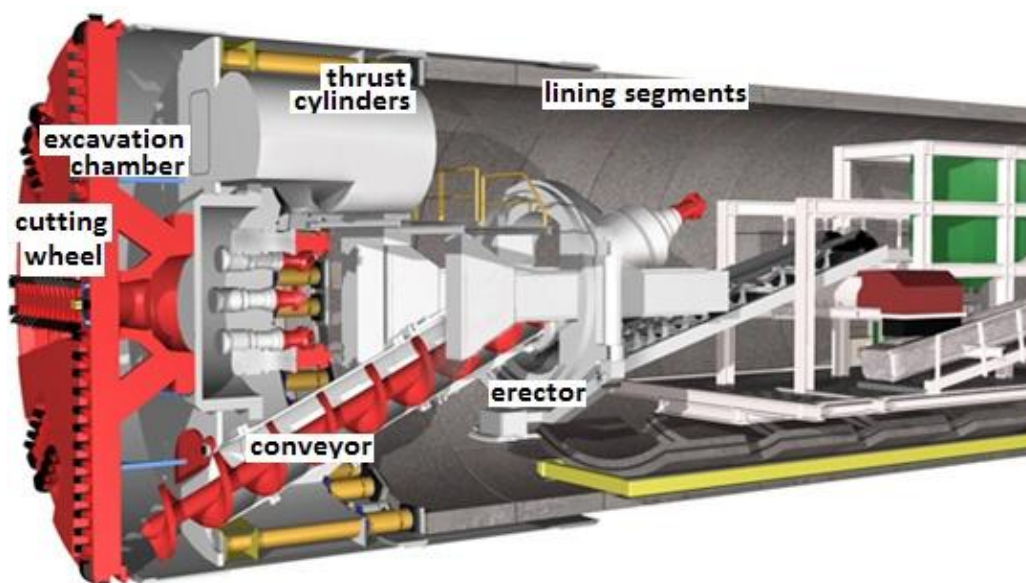


Figura 4.20 Spaccato di una macchina TBM EPB [14]

Durante le normali operazioni di avanzamento, la camera di scavo è completamente riempita dal materiale plasticizzato: tale situazione è detta "Modalità Chiusa", che si è ritenuta necessaria per prevenire l'eventuale formazione di accumuli di grisù.

Da quanto sopra indicato, si possono desumere i principi fondamentali del sistema di smarino a pressione bilanciata ovvero, il terreno scavato può essere scaricato continuamente attraverso la coclea, mantenendo in contemporanea una pressione sufficiente sul terreno al fronte di scavo.

Operativamente quando la macchina avanza, deve:

- mantenere completamente piena la camera di pressione;
- supportare il fronte;
- smarinare.

Il metodo migliore per eseguire quest'operazione è di controllare il volume del materiale scavato e di quello smarinato in modo che rimangano sempre uguali.

4.4.2 Descrizione della macchina

Di seguito verranno riassunti i principali componenti della fresa e la loro funzione nel corso dello scavo.

TESTA DI SCAVO ("CUTTERHEAD")

La testa di scavo è composta da diverse parti:

- la struttura, responsabile della trasmissione della potenza;
- i *disc cutter*, che distaccano il materiale presente al fronte;
- i coltelli raschiatori, sono utensili di scavo dotati di un tagliente speciale realizzato con metallo duro. Essi vengono avvitati in portacoltelli raschiatori e possono essere cambiati dal retro della testa di scavo.
- i *buckets*, provvedono all'asporto del materiale distaccato. Essi proteggono anche i disc cutter da eventuali danneggiamenti;
- *copy-cutter*, uno di tipo disco e uno di tipo *ripper*, che, quando si trovano in posizione estesa, aumentano il raggio di scavo fino a 50mm.

Il numero complessivo degli elementi taglienti è di 216 coltelli e 87 dischi, posizionati su più braccia disposte a raggiera sulla testa.



Figura 4.21-4.22 Esempio di *cutters* e Disposizione degli utensili di scavo sulla testa [14]

Durante l'avanzamento della TBM il movimento rotatorio della testa, combinato con la spinta di avanzamento, permette agli utensili di distaccare dal fronte il terreno da scavare.

La disposizione degli utensili di scavo sulla testa determina un diametro di scavo di 15,615 m (con utensili nuovi).

Nella testa sono presenti 14 linee di iniezione di schiume e/o polimeri e/o acqua, per un totale di 14 punti di iniezione (ognuno alimentato da una linea indipendente) opportunamente distribuiti per garantire un omogeneo condizionamento del terreno al fronte.

Inoltre la testa di scavo è attrezzata con 8 sensori necessari per rilevare l'usura eccessiva degli utensili.

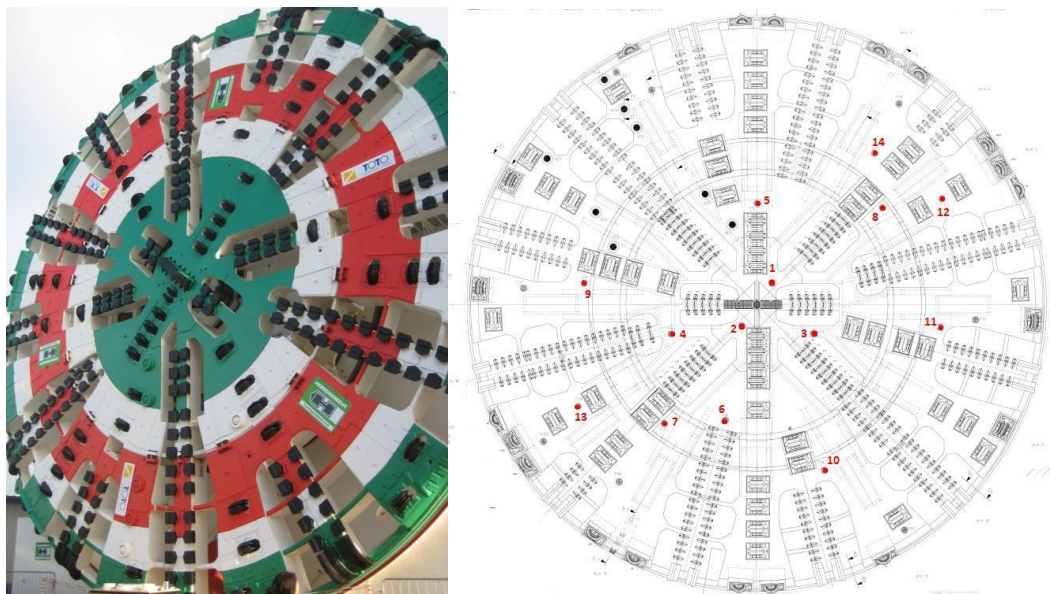


Figura 4.23-4.24 Testa di scavo e indicazione dei 14 punti di iniezione delle schiume [15]

CAMERA DI SCAVO (“EXCAVATION CHAMBER”)

La camera di scavo è costituita dal volume compreso fra il fronte di scavo e la parete di contenimento (detta anche paratia).

Questa permette l'utilizzo del materiale di scavo, fluidificato dagli agenti condizionanti, come sistema di stabilizzazione del fronte di scavo stesso. Per raggiungere tale scopo la camera di scavo rimane sempre completamente piena di materiale scavato e condizionato.

Sulla paratia sono presenti:

- 6 punti di iniezione (4 alimentati da linee indipendenti e 2 alimentati da linee condivise con i punti di iniezione presenti lungo la coclea) di schiume e/o polimeri e/o acqua, che permettono di realizzare il condizionamento del materiale scavato all'interno della camera di scavo in modo da ottenere un materiale plastico, adatto per una corretta trasmissione della pressione di sostegno al fronte;
- 11 trasduttori di pressione (celle di pressione), posti a diverse altezze, che forniscono in tempo reale i valori della pressione del materiale scavato e condizionato all'interno della camera.

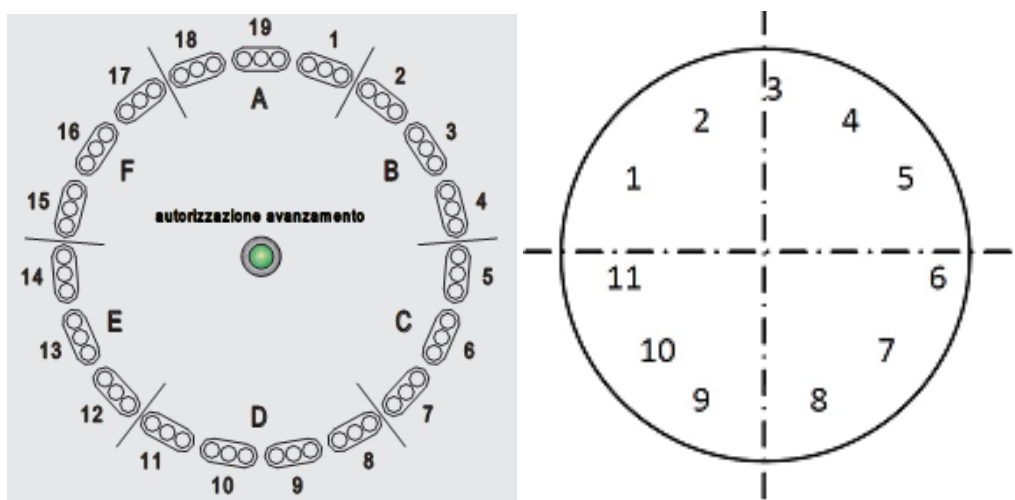


Figura 4.25-4.26 Disposizione dei gruppi di spinta e dei sensori di pressione di terra sulla testa [15]

Sarà possibile variare la pressione al fronte di scavo, modificando l'equilibrio tra materiale scavato e materiale rimosso.

Un opportuno sistema di controllo del materiale estratto è realizzato mediante opportune bilance (con controllo incrociato) e tutta la strumentazione e software necessaria alla visualizzazione in tempo reale dei valori in cabina di comando.

In aggiunta a sistema di bilance e con lo scopo di garantire il riempimento della camera di scavo, la stessa è equipaggiata con un sistema di rilievo dello stato di riempimento della stessa (sistemi radar e rilevatori del vuoto).

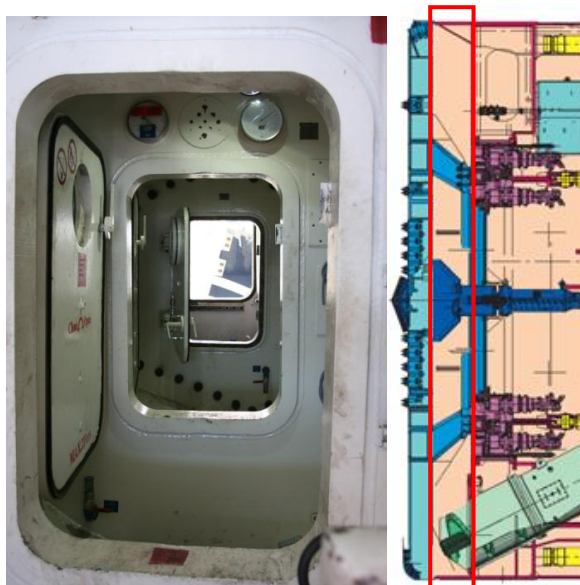


Figura 4.27-4.28 Particolare dell'ingresso e indicazione in sezione della camera di scavo [15]

SCUDO FRONTALE ("FRONT SHIELD")

Lo scudo frontale, dotato di diametro pari a 15,55 m, ospita:

- l'azionamento della testa di scavo (50 motori idraulici);
- i cilindri di spinta della TBM.

I cilindri idraulici sono raggruppati in 19 sottogruppi di 3 cilindri ognuno; i sottogruppi sono a loro volta suddivisi in 6 gruppi che permettono di impostare la direzione di avanzamento.

I cilindri, appoggiandosi al giunto circonferenziale dell'anello installato, proporzionano la spinta necessaria all'avanzamento della macchina.

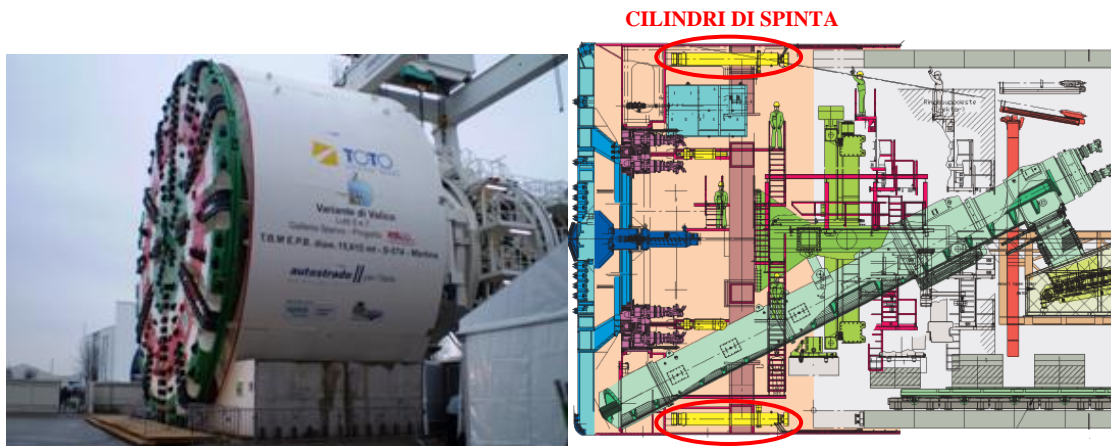


Figura 4.29-4.30 Scudo frontale e indicazione dei cilindri di spinta [15]

La parte di scudo frontale a ridosso della testa è divisa da una paratia ("bulkhead") dalla restante parte dello scudo, vale a dire la camera di scavo ("excavation chamber"), descritta precedentemente.

La superficie esterna dello scudo frontale è attrezzata con:

- 40 punti di iniezione di bentonite aventi la funzione di lubrificare la superficie esterna, riducendo l'attrito con il terreno, evitare possibili fenomeni di incaglio della fresa, causati da terreno a comportamento spingente e impedire eventuali venute di acqua all'interno;
- 2 sensori di pressione, in corrispondenza della calotta, che permettono di valutare il carico esercitato dal terreno sullo scudo e rilevare con anticipo il rischio di incaglio della fresa.

La superficie dello scudo frontale è dotata di:

- 19 aperture per la realizzazione di perforazioni di prospezione geognostica inclinate di 10° rispetto all'asse dello scudo ("probe drilling") mediante una perforatrice che può essere installata sulla piastra dell'erettore dei conci. Durante il normale avanzamento della TBM tali aperture sono debitamente chiuse da flange in modo da evitare l'ingresso di acqua o gas all'interno dello scudo.
- 6 aperture simili, installate sulla paratia, che separa la camera di scavo dalla restante parte dello scudo frontale, potranno essere eventualmente utilizzate per la realizzazione di perforazioni di prospezione geognostica parallele all'asse dello scudo.

SCUDO DI CODA ("TAILSKIN")

Lo scudo di coda, dotato di diametro pari a 15,47 m, rigidamente collegato mediante saldatura e bullonatura allo scudo frontale, è la zona all'interno della quale sarà realizzata l'operazione di montaggio dell'anello di conchi in calcestruzzo mediante l'erettore.

Il bordo posteriore dello scudo di coda è equipaggiato con :

- una fila di piastre metalliche, lungo tutta la circonferenza, per prevenire il reflusso della miscela bicomponente verso il fronte;
- 4 file di spazzole metalliche, le quali, appoggiandosi alla superficie di estradosso del penultimo/ultimo anello installato, creano 3 camere indipendenti all'interno delle quali viene iniettato il grasso sigillante e impermeabilizzante dello scudo di coda, atto a prevenire l'ingresso di acqua o gas all'interno dello scudo e del tunnel in fase di avanzamento.



Figura 4.31 Particolare delle spazzole di coda

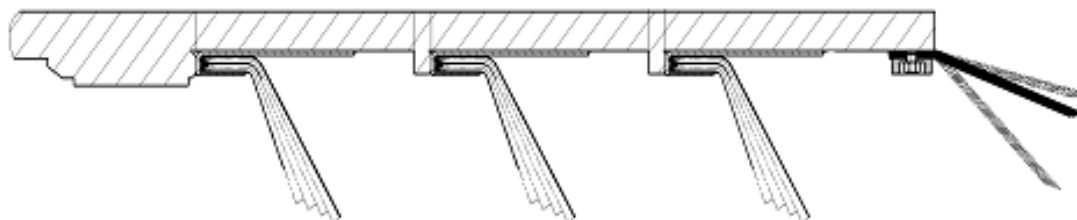


Figura 4.32 Schema delle 4 file di spazzole che formano le 3 camere del grasso [15]

Le iniezioni di grasso sono realizzate da 19 gruppi di 3 punti di iniezione ciascuno (uno per ogni camera tra le spazzole), opportunamente distribuiti lungo la circonferenza dello scudo di coda e alimentati da 3 linee di iniezione indipendenti.

Infine la camicia di acciaio dello scudo di coda ospita 12 linee, opportunamente distribuite lungo la circonferenza, per le iniezioni di miscela bicomponente di intasamento dello spazio anulare tra l'estradosso dell'anello e il terreno.

Ogni linea alimenta due punti di iniezione (uno principale e uno di riserva), in modo da permettere il funzionamento anche in caso di blocco del punto di iniezione principale, deviando l'iniezione sul punto di riserva.

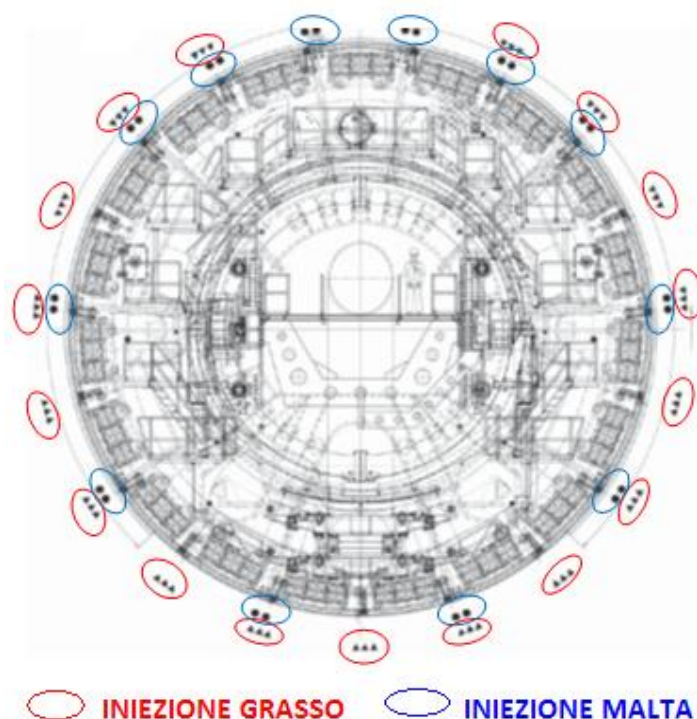


Figura 4.33 Punti di iniezione del grasso delle spazzole e della malta bi componente [15]

Ogni punto di iniezione del grasso sigillante e della miscela bicomponente è dotato di un sensore di pressione, è quindi possibile verificare in ogni istante che la pressione di iniezione del grasso sigillante sia mantenuta maggiore rispetto alla pressione di iniezione della miscela bi componente.

COCLEA DI ESTRAZIONE DELLO SMARINO ("SCREW CONVEYOR")

La coclea di smarino ha il compito di estrarre il materiale scavato, mantenendo la pressione della camera di scavo.

La coclea di estrazione del materiale scavato possiede le seguenti caratteristiche:

- diametro pari a 1,6 m;
- lunghezza pari a 21 m circa;
- inclinazione rispetto all'orizzontale di 27°.

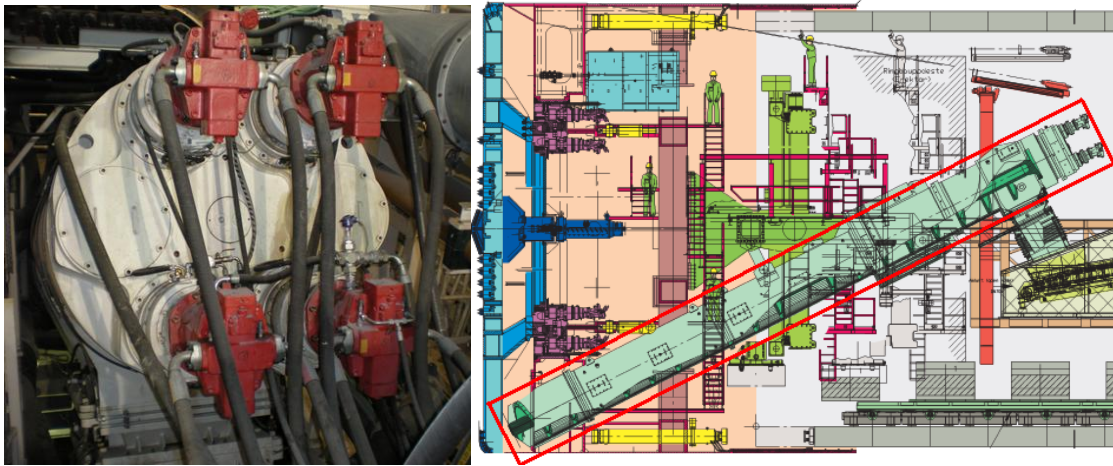


Figura 4.34-4.35 Particolare della coclea e sezione dello scudo con indicazione della coclea [15]

E' situata tra la parte inferiore della camera di scavo e il secondo livello del primo carro del *back-up*, inserita all'interno di un cilindro di acciaio, ed è azionata da 4 motori idraulici.

Essa permette l'estrazione del materiale scavato dalla camera di scavo e il convogliamento di questo sul nastro trasportatore, essendo presente all'estremità finale della coclea una tramoggia preposta a questa funzione.

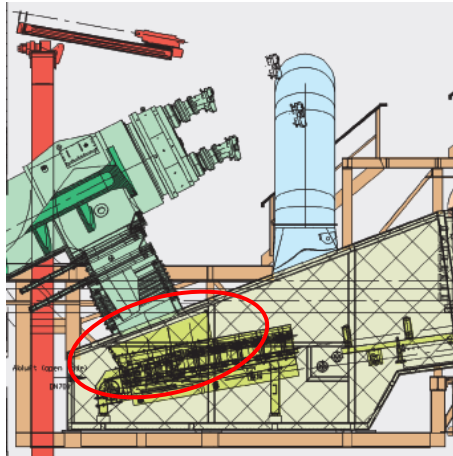


Figura 4.36 Tramoggia che consente di convogliare il materiale dalla coclea al nastro primario [15]

La velocità di rotazione della coclea, variabile tra 0 e 24 rpm circa, viene regolata in funzione della velocità di avanzamento della fresa in modo da mantenere all'interno della camera di scavo la pressione di lavoro desiderata.

NASTRO TRASPORTATORE PRIMARIO (“PRIMARY BELT CONVEYOR”)

Il nastro trasportatore primario è posizionato longitudinalmente lungo il secondo livello dei carri del back-up a partire dalla tramoggia di scarico della coclea fino al nastro trasportatore secondario (trasversale) della TBM.

La funzione del nastro primario è permettere il trasporto del materiale scavato lungo il back-up della TBM. Lungo il nastro sono presenti due bilance che permettono di misurare in modo continuo il peso del materiale estratto.

Al fine di evitare la dispersione nella zona dello scudo e del back-up della TBM di eventuali venute di gas transitori all'interno della coclea, l'intero nastro trasportatore primario (dalla tramoggia di scarico della coclea fino al nastro secondario) è contenuto all'interno di un condotto isolato, mantenuto in depressione (40mbar) rispetto alla galleria e dotato di un sistema di "lavaggio" dell'aria capace di mantenere all'interno della galleria condizioni ottimali anche in presenza di venute di gas metano dalla coclea.

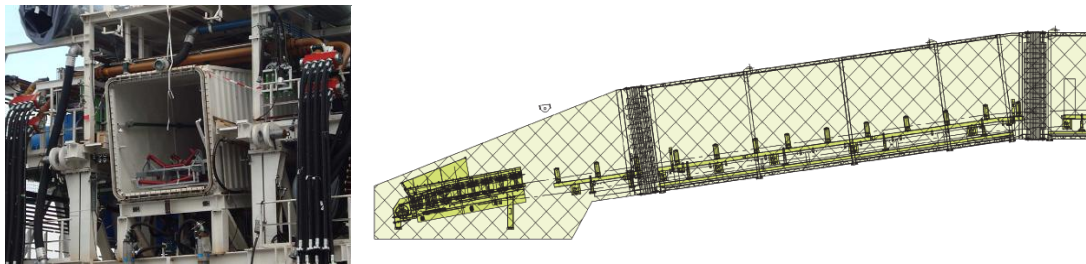


Figura 4.37-4.38 Particolare e parte della sezione longitudinale del nastro primario [15]

NASTRO TRASPORTATORE SECONDARIO (“SECONDARY BELT CONVEYOR”)

Il nastro trasportatore secondario, situato trasversalmente sul secondo livello del terzo carro del back-up della TBM, ha la funzione di ricevere il materiale scavato dal nastro primario e trasferirlo sul nastro trasportatore installato lungo il tunnel.

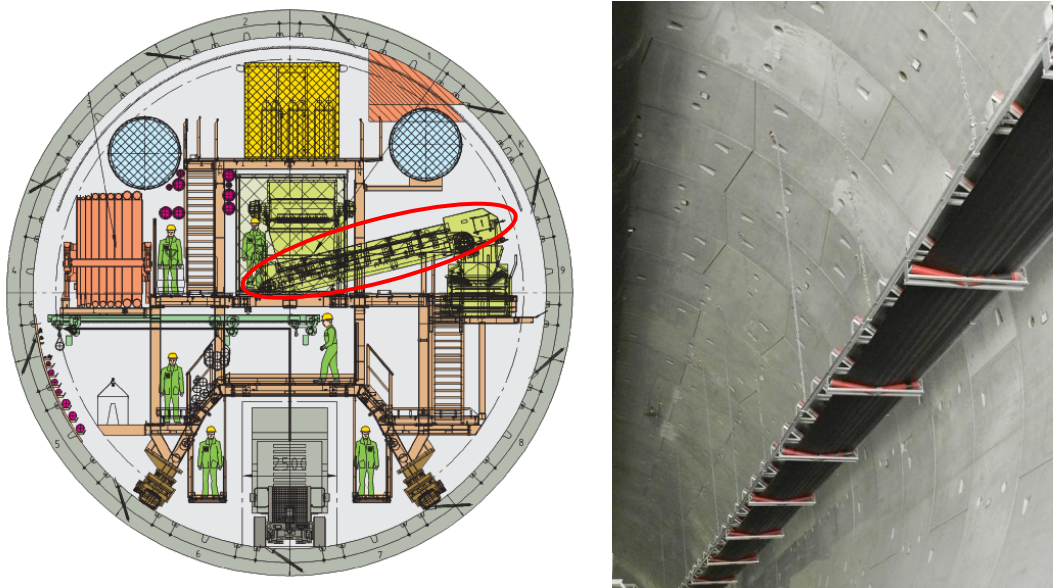


Figura 4.39-4.40 Nastro secondario, indicato in rosso, e nastro posizionato lungo la galleria [15]

ERETTORE DEI CONCI (“SEGMENT ERECTOR”)

La posa in opera del rivestimento avviene tramite l'erettore, costituito da una piastra di presa (con ventosa) guidata da due cilindri telescopici montati su un supporto rotante

L'erettore dei conchi, posizionato in corrispondenza del ponte tra lo scudo della fresa e il primo carro del *back-up*, opera all'interno dello scudo di coda.

La placca dell'erettore della fresa S-574 è inoltre equipaggiata con due distanziometri laser (sistema SLAM) che permettono di valutare in fase di montaggio il centraggio dell'anello rispetto allo scudo di coda della TBM.



Figura 4.41-4.42 Duplice vista dell'erettore dei concii

BACK-UP

Il *back-up* della TBM è costituito da 4 carri e collegato allo scudo mediante 2 cilindri idraulici, posti ai due lati del ponte di collegamento tra il *back up* e lo scudo.

I carri, che corrono su carrelli gommati appoggiati direttamente sugli anelli installati, ospitano tutti gli impianti e le attrezzature necessarie per il funzionamento della TBM:

- cabina di controllo;
- motori elettrici;
- pompe idrauliche;
- trasformatori e compressori;
- sistema di ventilazione ridondante con due linee indipendenti;
- quadri elettrici antideflagranti;
- serbatoi di malta, accelerante, acqua e schiume.

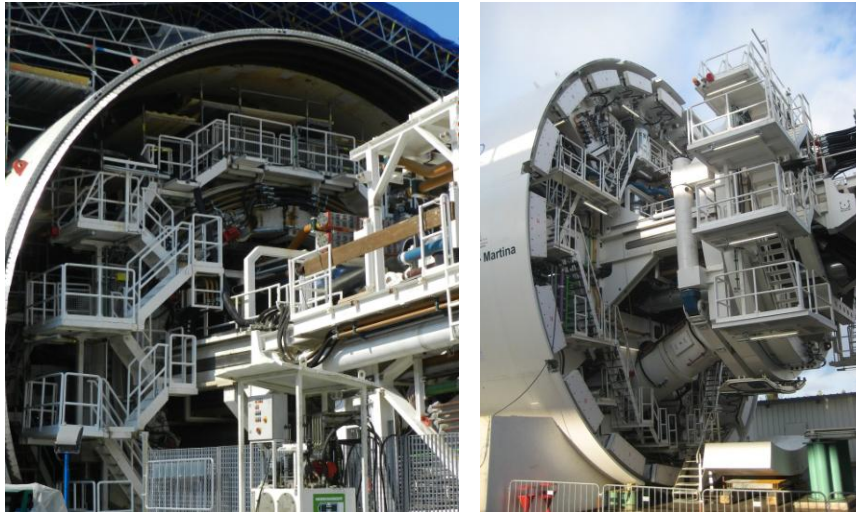


Figura 4.43-4.44 Viste di una parte del *back-up*

"SEGMENT FEEDER" E "SEGMENT CRANE"

Il "segment feeder" e il "segment crane", rispettivamente l'alimentatore dei conci e la gru per il loro sollevamento, sono posizionati sotto il back up della TBM e permettono lo scarico dei conci dai veicoli *MSV* e il loro trasporto fino all'erettore dei conci.



Figura 4.45 *Multi Service Vehicle* per l'approvvigionamento dei conci prefabbricati alla TBM [15]

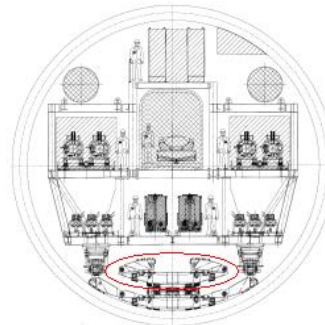
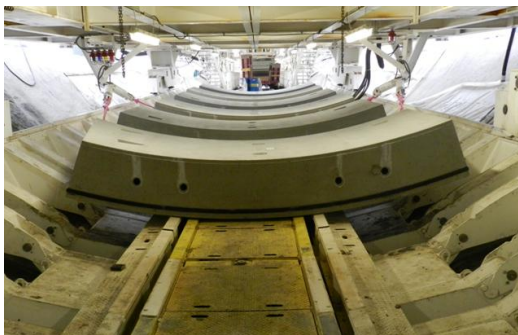


Figura 4.46-4.47 "Segment crane" per l'alimentazione dei conci e indicazione del "segment feeder" nella sezione della TBM [14]

IMPIANTO DI VENTILAZIONE

Per assicurare che nella macchina e in tutte le aree di lavoro ci sia un opportuno ricambio di aria fresca e pulita, la TBM S-574, è stata dotata di un sistema di ventilazione ridondante: è costituito da due condotti al portale indipendenti l'uno dall'altro, che sono alimentati singolarmente da un proprio ventilatore elettrico. Il sistema è stato progettato e dimensionato in corrispondenza della geometria della galleria per assicurare che la velocità d'aria sulla TBM e lungo la galleria, durante le fasi di avanzamento, sia sempre maggiore di 0,5 m/s.

Le cassette di ventilazione installate sul carro permettono un prolungamento durante l'avanzamento nella galleria e collegano le condotte nella galleria con il sistema di ventilazione della TBM.

La macchina è progettata per attraversare formazioni in cui ho presenza di metano in totale sicurezza, prevedendo la suddivisione in volumi, dipendenti dalla potenziale presenza del gas e il potenziale innesco di miscele esplosive, su cui, però, non ci dilungheremo ulteriormente.

Il sistema di ventilazione della TBM, formato da due condotti indipendenti installati rispettivamente sul lato sinistro e sul lato destro del sistema *back-up*, è stato strutturato in modo che ogni zona venga alimentata con la quantità di aria necessaria a ridurre la probabilità di formazione di un'atmosfera potenzialmente esplosiva e ad assicurare un continuo ricambio d'aria. Ciò richiede in ogni caso una struttura di conci assemblata a regola d'arte e assolutamente ermetica.

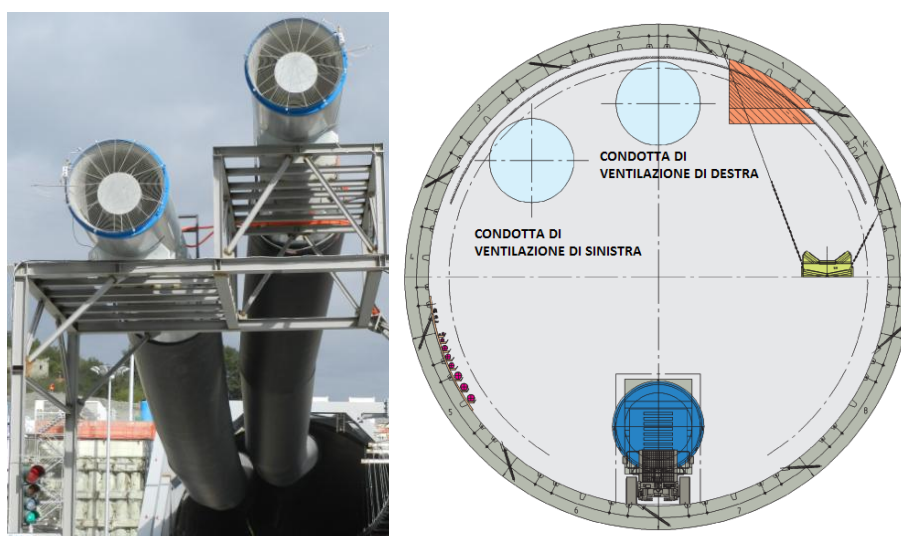


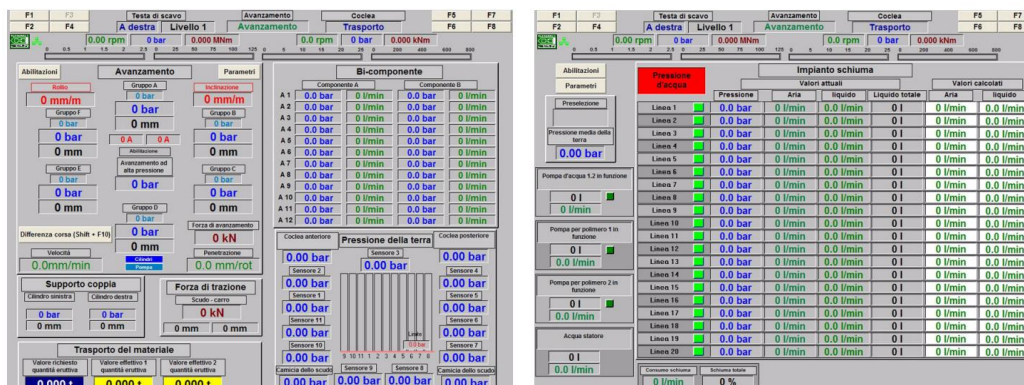
Figura 4.48-4.49 Vista dei ventilatori posti all'esterno e posizionamento delle condotte nella sezione della galleria [15]

4.4.3 Parametri macchina

Tutti i valori rilevati, mediante i sensori dislocati su tutta la macchina, vengono visualizzati graficamente su schermo, all'interno della cabina di comando. I singoli contenuti della schermata sono divisi in gruppi funzionali specifici e l'operatore può selezionare le singole schermate di visualizzazione per mezzo dei tasti funzionali della tastiera da F1 a F8. L'uso avviene tramite comando a menù, con mouse o tastiera. I dati rilevati sono visualizzati in digitale.

Le schermate visibili e selezionabili dalla cabina di comando sono:

- F1 - Avanzamento;
- F2 - Impianto schiuma;
- F3 - Testa di scavo;
- F4 - Dati operativi tecnica di processo;
- F5 - Mastice della guarnizione della coda;
- F6 - Errori;
- F7 - Trasporto del materiale di scavo, dati operativi TBM;
- F8 - Dati operativi gruppo di trasmissione.



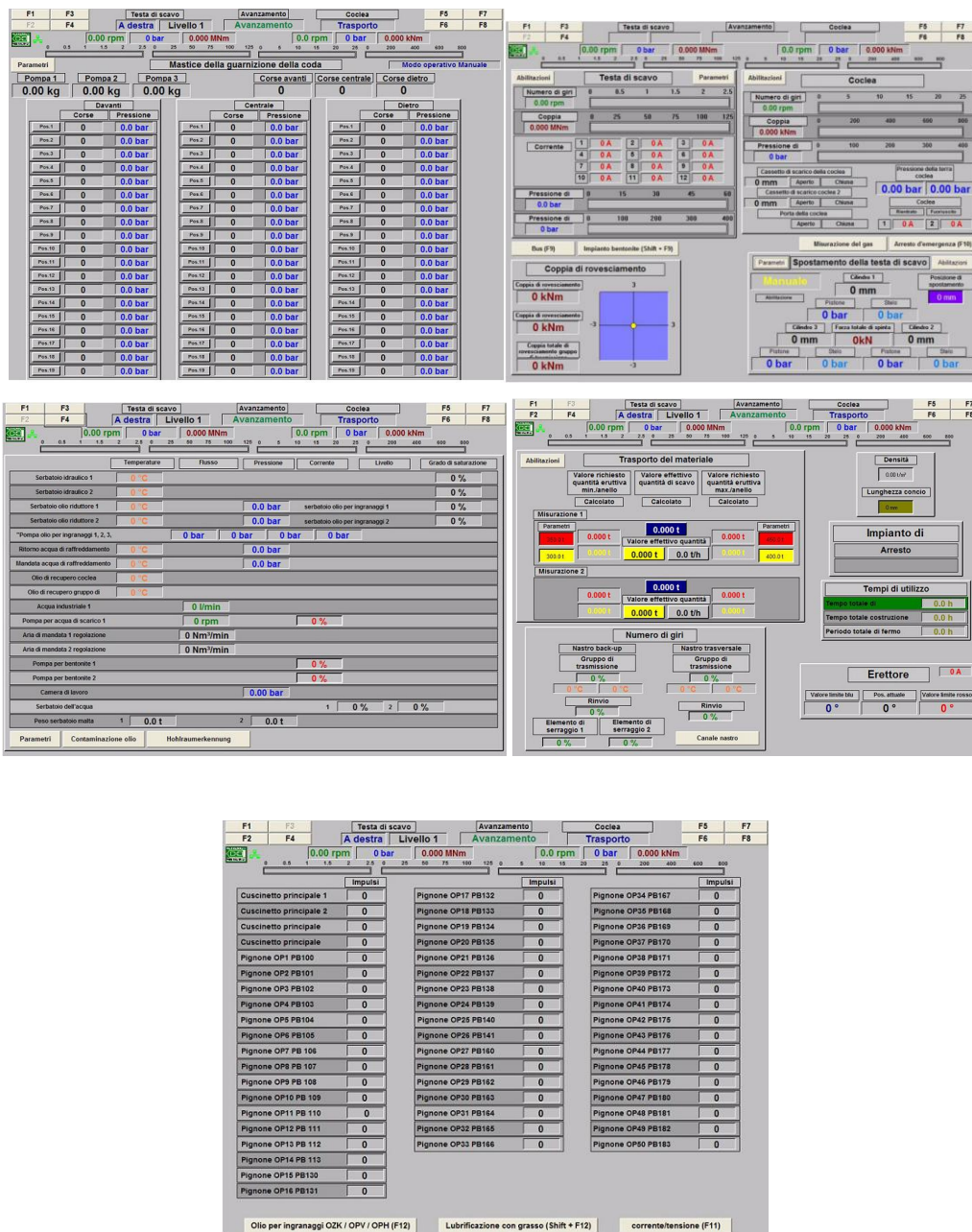


Figura 4.50 Dall'alto verso il basso le schermate di visualizzazione: Avanzamento, Impianto Schiuma, Testa di scavo, Dati operativi, Mastiche di guarnizione di coda, Trasporto materiale di scavo e Dati operativi del gruppo di trasmissione [15]

Le schermate e i relativi parametri della macchina vengono inviati ad un computer posto all'esterno della galleria, che consente la gestione e l'elaborazione dei dati.

Il programma di gestione dei parametri fornisce i seguenti *file* (alcuni dei quali parzialmente elaborati):

- *process*, fornisce il valore di tutti i parametri macchina (circa 900 di numero) ogni 10 secondi per ogni anello di rivestimento che viene montato. È quello che potremmo definire il “file grezzo” della macchina, che consente le vere e proprie elaborazioni successive;
- *calculate*, realizzati direttamente dal software della macchina e sono:
 - *averagevalue*, fornisce il valore medio di ciascuno dei parametri macchina, per ogni anello, non considerando i momenti di fermo della stessa;
 - *minvalue*, fornisce il valore minimo di ciascuno dei parametri macchina, per ogni anello;
 - *maxvalue*, fornisce il valore massimo di ciascuno dei parametri macchina, per ogni anello;
 - *startvalue*, fornisce il valore iniziale di ciascuno dei parametri macchina, per ogni anello;
 - *endvalue*, fornisce il valore finale di ciascuno dei parametri macchina, per ogni anello.

Per poter elaborare i parametri all'interno dei file sopraelencati, poiché questi sono identificati da un codice alfanumerico di 9 cifre, è necessario disporre di un elenco che associ ad ogni codice il significato di ciascun parametro: tale elenco verrà denominato “File Index”.

Le società Herrenknecht, costruttore della TBM, e Spea, che supervisiona l'esecuzione dei lavori, sulla base di questi file, realizzano, per ogni anello montato, un report riportando i parametri di maggiore importanza per visionare l'andamento complessivo della macchina.

Riportiamo, a titolo esemplificativo, una porzione dei report realizzati da Herrenknecht e Spea per l'anello, in Fig. 4.51.

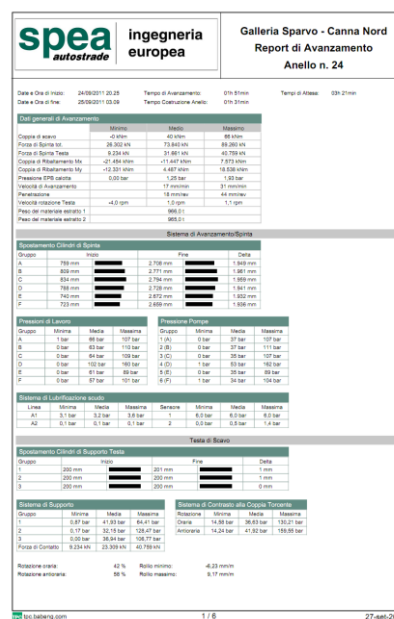
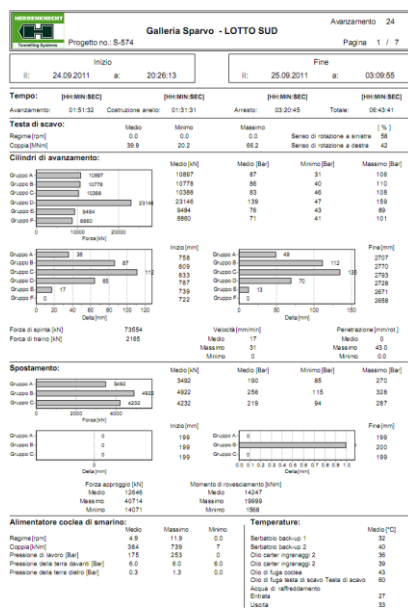


Figura 4.51 Porzione del report realizzato da Herrenknecht (anello n°24) e del report realizzato da Spea (anello n°24)

5. PREVISIONE DELLE PERFORMANCE DI UNA TBM

“Niente è mai stato difficile come la valutazione delle caratteristiche di un ammasso roccioso e applicare tale valutazione ad una formula per predire il tasso di penetrazione”.

[Robbins, 1980]

Fin dal primo successo nei primi anni cinquanta, le *Tunnel Boring Machine* (TBM) sono state trasformate continuamente migliorandone la capacità di perforazione, aumentandone le dimensioni, la capacità di carico e il design per l'applicazione in varie condizioni del terreno, talvolta avverse. Nel corso degli ultimi tre decenni, sono stati introdotti numerosi modelli per la previsione delle prestazioni delle TBM, basati su indagini teoriche, empiriche e semi – empiriche, tutti per rispondere a una domanda di base: “Come è possibile stimare accuratamente il tasso di penetrazione di una TBM e valutare l'interazione tra le condizioni dell'ammasso roccioso e le caratteristiche operative della TBM?” Questo probabilmente è dovuto al fatto che la previsione delle prestazioni di una TBM comporta la comprensione del processo di frammentazione della roccia in vasta gamma dalla micro-scala (cioè l'interazione superficiale fra il cutter e la roccia) alla scala macroscopica (tra cui l'interazione fra l'ammasso roccioso e la TBM). La correlazione tra le performance della TBM e le proprietà dell'ammasso roccioso, da un punto di vista tecnico, non è un compito facile e rappresenta ancora una parte importante di qualsiasi progetto che comprenda l'uso di una macchina TBM. Ciò è dovuto alla necessità di valutare i costi e pianificare le varie fasi del progetto di scavo, come pure per sviluppare le informazioni necessarie per un affidabile confronto tra i vari metodi di costruzione dei tunnel (scavo meccanizzato vs *drill & blast*).

Le performance di una TBM sono misurate sia in termini di tassi di penetrazione che in tassi di avanzamento. Il tasso di penetrazione (PR) è definito come la distanza scavata diviso il tempo necessario a realizzare lo scavo, mentre la velocità di avanzamento (AR) è la distanza effettivamente scavata e rivestita diviso il tempo totale impiegato, che comprende anche il tempo di inattività per la manutenzione della TBM, riparazioni alle apparecchiature, ecc.

Sono stati compiuti numerosi sforzi per riuscire a correlare le performance della TBM con i parametri della roccia e i parametri macchina: alcune di queste correlazioni sono state sviluppate a partire dai dati raccolti o da test realizzati a scala di laboratorio.

Queste equazioni, in relazione al tasso di penetrazione con parametri della roccia intatta, come la resistenza a compressione uniassiale, la resistenza a trazione della roccia o la resistenza a

fatturazione, mostrano buone capacità predittive nei casi di rocce omogenee e scarsamente fratturate. In rocce fratturate, la presenza delle discontinuità riduce la resistenza della roccia in relazione ad un aumento della penetrazione, fornita dalla spinta della TBM. Inoltre, il tasso di penetrazione è influenzato dall'orientamento rispetto all'asse della galleria e dalla spaziatura delle discontinuità. Quindi è chiaro che le equazioni di previsione devono essere basate sulle proprietà dell'ammasso roccioso e non sulla resistenza della roccia intatta, per esempio, correlando le prestazioni della TBM con la resistenza dell'ammasso derivante dalle classifiche standard.

5.1 Fattori che influenzano le performance di una TBM

Alcuni dei principali fattori che influenzano le prestazioni della TBM sono suddivisibili in:

- parametri dell'ammasso roccioso (*rock mass factors*);
- parametri operativi della macchina (*machine factors*).

All'interno delle due categorie sopra citate, sono presenti diverse voci, sinteticamente riportate in Tab. 5.1.

PARAMETRI	
AMMASSO ROCCIOSO	OPERATIVI DELLA MACCHINA
Fratturazione dell'ammasso (k_s)	Spinta per <i>cutters</i> (M)
	Vita utile dei <i>cutters</i> (b_r)
Porosità	Spaziatura dei <i>cutters</i> (A)
	Diametro dei <i>cutters</i> (d)
Perforabilità (DRI)	Coppia e giri al minuto della testa (rpm)
	Capacità della macchina di generare blocchi o grossi frammenti
Durezza/abrasività	Solidità alle vibrazioni e ai colpi
	Curvatura e diametro (D) della testa
	Equipaggiamento del back-up

Tabella 5.1 Principali fattori che influenzano le prestazioni di una TBM

È necessario sottolineare che, all'interno dei fattori dell'ammasso roccioso, sono comprese sia le proprietà della roccia intatta sia le proprietà delle discontinuità.

5.2 Principi di base dei modelli di previsione

In generale, i metodi per la previsione delle prestazioni delle TBM si basano su uno o più dei seguenti principi fondamentali:

1. mappatura del campo e/o – test;
2. prove di laboratorio a piccola scala ("test indice ");
3. prove di laboratorio su larga scala;
4. metodi empirici;
5. modelli teorici.

Ad esempio, il modello NTH (*Norwegian Institute of Technology*, 1994) di previsione delle prestazioni è una combinazione dei principi fondamentali numero 1, 2 e 4, mentre la metodologia CSM (messa a punto dall'*Earth Mechanics Institute, Colorado School of Mines*) combina gli aspetti di tutte i cinque principi.

Molti ricercatori hanno lavorato indipendentemente sui propri indici e prove per essere in grado di prevedere le prestazioni e i fattori economici associati alla perforazione di un tunnel. Pertanto, è stata utilizzata un'ampia varietà di principi e metodi di previsione delle prestazioni, in diversi paesi e da vari istituti di ricerca e produttori di TBM. Alcuni dei metodi sono basati principalmente su uno o due parametri della roccia (per esempio resistenza alla compressione monoassiale e un valore di abrasione della roccia), mentre gli altri si basano su una combinazione di dati di laboratorio, dati di campo e della macchina.

Un'altra ampia categoria di metodi di previsione delle performance di una macchina TBM è quella che comprende i sistemi di classificazione degli ammassi rocciosi (RSR, RMR, Q o GSI), sviluppati principalmente per la progettazione dei sistemi di supporto del terreno, ma ad oggi impiegati non per tale proposito. Ciò è dovuto alla semplicità e all'accettazione in tutto il mondo di questi sistemi nelle pratiche di ingegneria e in particolare nella costruzione e nel sotterraneo.

Sono stati effettuati studi approfonditi per stimare le prestazioni delle TBM basandosi sui sistemi di classificazione dell'ammasso roccioso: tra le correlazioni illustrate in Fig. 5.1, fatta eccezione per quello di Ribacchi e Lembo - Fazio (2005), la maggior parte delle equazioni utilizzano direttamente i sistemi di classificazione degli ammassi come variabile principale del metodo.

Empirical TBM performance prediction models based on rock mass classifications.

Correlations (TBM performance prediction)	References
$PR = -0.0059RSR + 1.59$	Cassinelli et al. (1982)
$PR = \sigma_c^{-0.437} - 0.047RSR + 3.15$	Innaurato et al. (1991)
$PR = 5 \times Q_{TBM}^{-0.2}$	Barton (2000)
$Q_{TBM} = \frac{RQD_0}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \times \frac{20^{\sigma_c \cdot SIGMA}}{F^{10}} \times \frac{20}{CLI} \times \frac{q}{20} \times \frac{\sigma_\theta}{5}$	
$SP = 250 \cdot \sigma_{cm}^{-0.66}$, $\sigma_{cm} = \sigma_c \cdot \exp\left(\frac{RMR-100}{18}\right)$	Ribacchi and Lembo-Fazio (2005)
$ARA = 0.422RME_{07} - 11.61$	Bieniawski et al. (2007b)
$FPI = 0.222BRMR + 2.755$	Hassanpour et al. (2009)
$FPI = 9.273e^{0.008GSI}$	Hassanpour et al. (2009)
$FPI = 11.718Q^{0.098}$	Hassanpour et al. (2009)

PR = penetration rate; σ_c = rock material uniaxial compressive strength; SP = specific penetration; σ_{cm} = rock mass uniaxial compressive strength; ARA = average rate of advance; FPI = field penetration index, J_n , J_r , J_a , J_w and SRF are original parameters of Q-system, RQD_0 is oriented-RQD in tunneling direction, SIGMA = rock mass strength; F = average cutter load; CLI = cutter life index; q = quartz content; and σ_θ = average biaxial stress on tunnel face.

Figura 5.1 Modelli empirici di predizione delle performance delle TBM basati sulle classifiche tecniche [38]

I risultati ottenuti da questi metodi di previsione sono stati molto simili: la qualità dell'ammasso roccioso nelle sue condizioni critiche ed estreme, cioè classi di ammassi rocciosi molto scadenti o molto buoni, non facilitano le prestazioni delle TBM, compresi tasso di penetrazione e tasso di avanzamento.

Inoltre, queste classifiche sono indipendenti dalle caratteristiche della macchina, sebbene il tasso di penetrazione sia un risultato dell'interazione tra le proprietà dell'ammasso roccioso e i parametri operativi della TBM (Zhao, 2007). Ovviamente, l'uso di un singolo parametro fornirà un modello predittivo semplice, limitato nell'individuazione di un'accurata e affidabile correlazione.

Di seguito daremo una breve descrizione di quei metodi ritenuti di maggior significatività e, quindi, maggiormente impiegati in tutto il mondo.

5.3 Metodi di previsione

5.3.1 Metodo NTH (*Norwegian Institute of Technology*)

Il modello di previsione NTH delle prestazioni delle TBM per lo scavo in roccia, è principalmente basato su correlazioni empiriche tra parametri meccanico/geologici e prestazioni reali di *tunneling*. Le curve tempo-costi sono state stabilite raccogliendo e analizzando una grande quantità di dati sulle prestazioni e proprietà dell'ammasso roccioso durante la realizzazione dei tunnel. Il modello di previsione è costantemente rivisto e migliorato mano a mano che nuovi diventano disponibili. Il modello attuale (Johannessen et al., 1988) rappresenta la versione n. 5 e si basa su dati provenienti da circa 230 km di galleria perforati.

Originariamente, le procedure impiegate erano state sviluppate per valutare la perforabilità (*drillability*) delle rocce mediante sistema di perforazione a percussione (Selmer-Olsen & Blindheim, 1971). Fondamentalmente gli stessi test e molti degli stessi parametri rappresentano anche la chiave di input nel modello di previsione per le TBM.

Il modello utilizza le seguenti informazioni come input:

- parametri di roccia, tra cui discontinuità, indice di perforabilità e abrasività;
- parametri di macchina, costituiti dalla forma e dalle dimensioni dei *cutters*, RPM della testa, curvatura della testa, numero di *cutters* sulla testa e spinta applicata e potenza sulla macchina.

I campioni che vengono prelevati dai tunnel in esame sono sottoposti ai seguenti test standard di laboratorio:

- a) prova di fragilità;
- b) test di Siever , per valutare il valore J;
- c) test di abrasione.

I principi fondamentali delle prove sopraelencate sono mostrati nelle Fig. 5.2, 5.3 e 5.4.

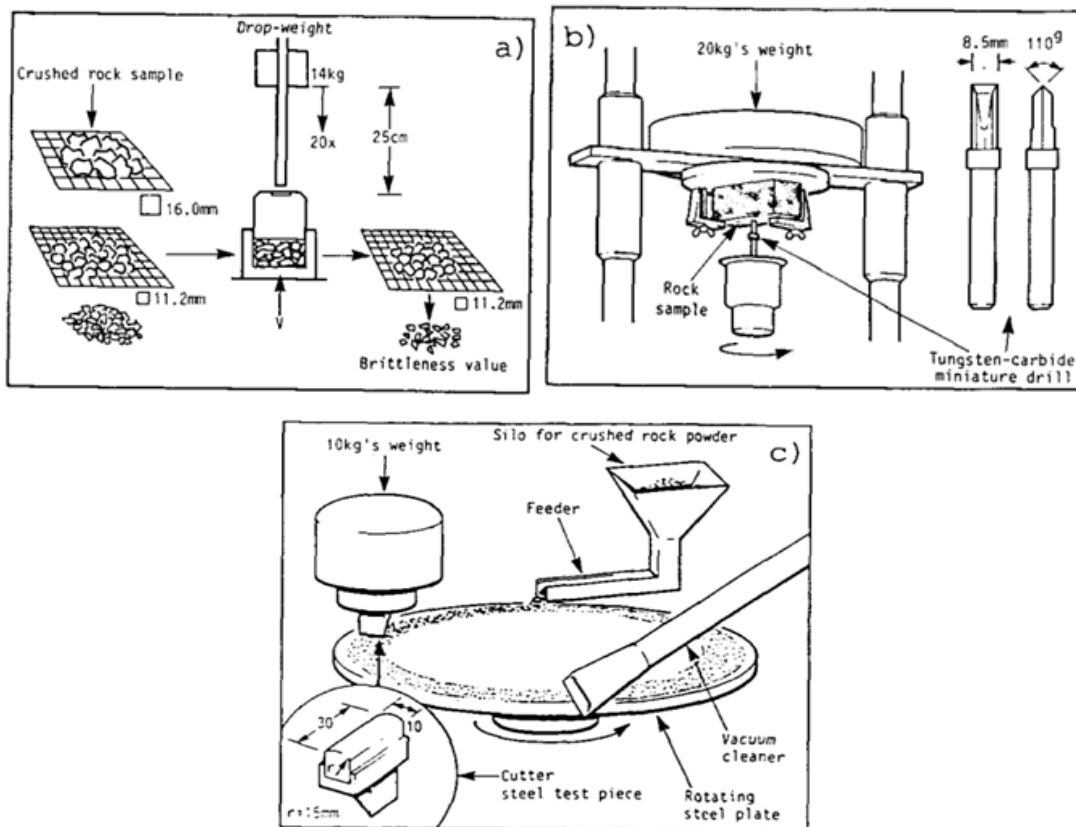


Figura 5.2-5.3-5.4 Principi fondamentali delle prove previste dal Metodo NTH: a) Prova di fragilità b) Test di Siever c) Test di abrasione [40]

Il test di fragilità (Fig. 5.2) è fondamentalmente un test di impatto. La roccia è effettivamente schiacciata in un frantoio e un volume definito ($V = 189 \text{ cm}^3$, corrispondenti a 500 g di materiale di densità $2,65 \text{ g/cm}^3$ della frazione 11,2-16,0 mm) viene utilizzato come materiale di campione in ciascuna prova. Il valore di fragilità (S) è definito come la percentuale di materiale che passa il setaccio 11,2 mm dopo 20 frazioni del peso.

Il test di Siever per ricavare il valore di J (Fig. 5.2) è eseguito con un trapano in miniatura. Il trapano è specifico per ciascuna prova così da garantire una costante geometria. Il valore J di Siever (SJ) rappresenta la penetrazione in 1/10 di mm dopo 200 rotazioni del trapano. Il cosiddetto *Drilling Rate Index* (DRI) si ricava dalla fragilità e dal valore J di Siever, come illustrato in Fig. 5.5.

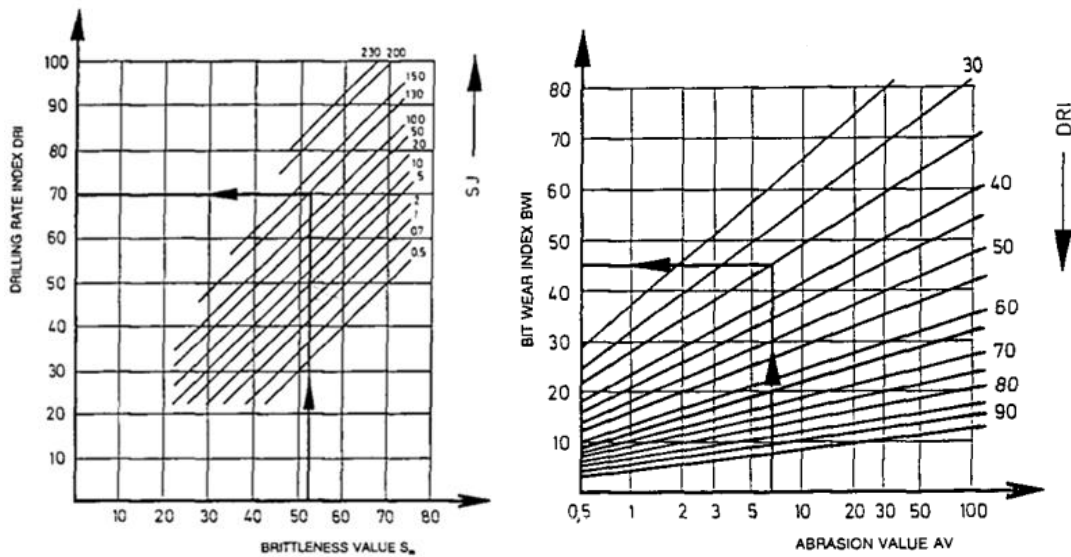


Figura 5.5 Grafici che consentono il calcolo del DRI [40]

Nel test di abrasione (Fig. 5.4), il materiale di roccia schiacciato, con granulometria più piccola di 1 mm, alimenta una piastra d'acciaio rotante; il valore di abrasione (AV) è definito come la perdita di peso in mg di un esemplare di metallo duro dopo 100 rotazioni della piastra (tempo della prova 5 minuti). Il cosiddetto *Bit Wear Index* (BWI) è definito come combinazione del DRI e i valori di abrasione, vedi grafico precedente. Questo indice non viene utilizzato nella versione attuale del modello di previsione NTH.

Il metodo per la valutazione dell'usura dei cutter si valuta con un valore di abrasione "AVS" ed è definito utilizzando un campione di cutter in acciaio nel test di abrasione (precedentemente citato) invece di quello realizzato con metallo duro. Basato sulle prove di laboratorio, il cosiddetto "indice di vita del cutter" (CLI) è definito come segue (Johannessen et al., 1988):

$$CLI = 13,84 * \left(\frac{S_J}{AVS} \right)^{0,3847} \quad (5.1)$$

Nella Fig. 5.6 seguente sono riportati i risultati dei valori del DRI e del BWI di circa 200 campioni di roccia differenti (principalmente norvegesi).

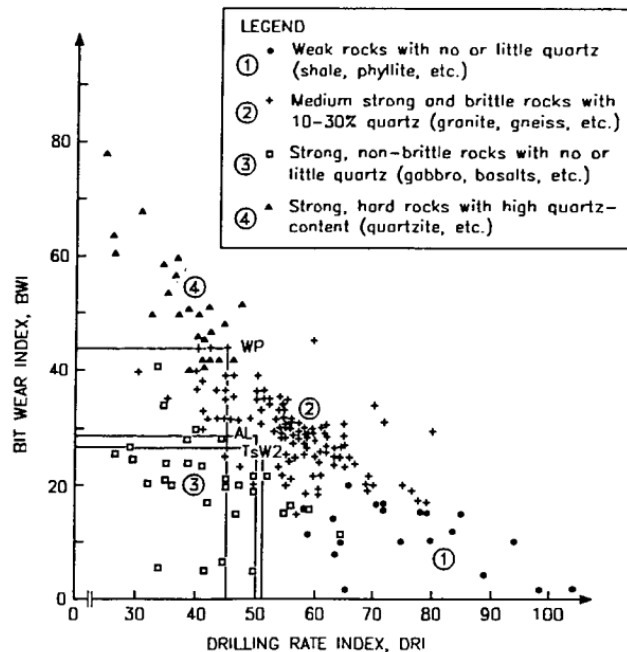


Figura 5.6 Valori del DRI e del BWI di circa 200 campioni di roccia differenti [40]

Come si può vedere, i risultati riportano un'ampia varietà in termini di perforabilità della roccia. Vi è, tuttavia, molto chiaramente, una correlazione tra DRI/BWI e categorie di roccia.

Per una descrizione più dettagliata del modello di previsione NTH per rocce dure, e i vari grafici di progettazione e correlazione che vengono utilizzati per la stima delle prestazioni, si fa riferimento alla relazione NTH completa (Johannessen et al., 1988).

5.3.2 Metodo CSM (*Earth Mechanics Institute of Colorado School of Mines*)

L'Earth Mechanics Institute (EMI), Colorado School of Mines, ha sviluppato un insieme di modelli di previsione delle prestazioni e di previsione del costo per le TBM sulla base di oltre 20 anni di analisi teorica, test di laboratorio e analisi di dati di campo. Le tecniche di previsione delle prestazioni utilizzate dall'EMI rientrano in tre categorie generali, basate su dati geologici disponibili e campioni di roccia rappresentativi delle formazioni che devono essere perforate, come discusso brevemente qui di seguito.

Modelli teorico/empirici

Il CSM ha sviluppato un modello teorico/empirico per predire la perforabilità di un tunnel. Il modello è continuamente aggiornato e migliorato grazie a dati di campo che diventano mano a

mano disponibili per il confronto. Questo approccio di predizione fa uso di determinate proprietà della roccia e informazioni geologiche provenienti dai documenti di geotecnica dei progetti di scavo con TBM proposti o misurati su campioni di carote ricevuti dal luogo di lavoro. Le proprietà comunemente misurate come input nel modello teorico/empirico includono:

- la resistenza a compressione uniassiale;
- la resistenza a trazione brasiliana;
- le proprietà elastiche, insieme alla densità.

Se sono disponibili dei campioni, viene eseguito anche un test di *punch-penetration* per conoscere il valore della fragilità della roccia in sua mancanza.

Tutte queste informazioni, insieme a media della spaziatura e orientamento delle discontinuità, se disponibili, sono poi inserite nel modello di computer per calcolare i tassi di penetrazione della TBM in funzione della geometria del cutter, della spaziatura, del layout, del profilo della testa, dei giri/min e della potenza di spinta, della coppia e della potenza di testa disponibile.

I costi legati ai *cutters* sono calcolati a partire dalla misurazione del *Cerchar abrasivity* (Fig. 5.7).

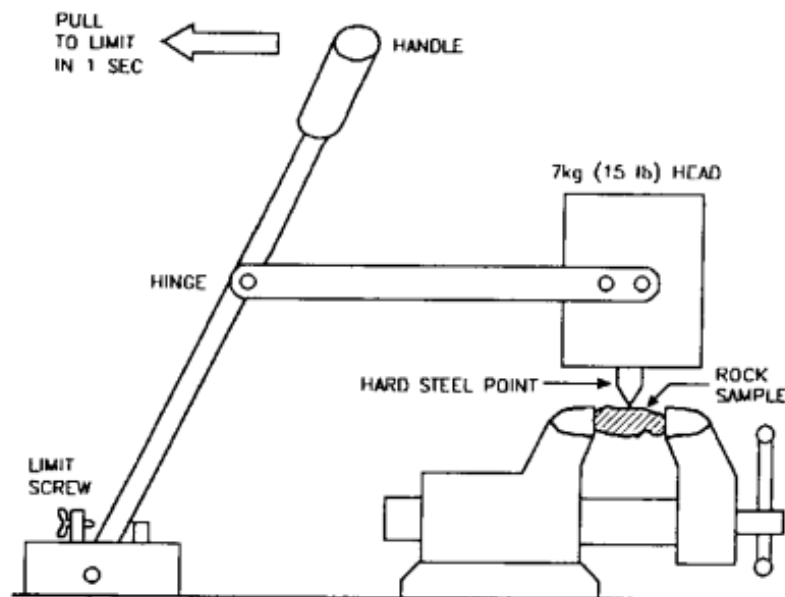


Figura 5.7 Prova che consente la valutazione del *Cerchar abrasivity* [40]

Questo test fornisce il valore del *Cerchar Abrasivity Index* (CAI) che viene tradotto in vita del cutter.

Prove di taglio di laboratorio

Se sono disponibili campioni di dimensioni sufficienti provenienti dal luogo di lavoro proposto, vengono eseguite prove di taglio di laboratorio utilizzando una macchina di taglio lineare (LCM, vedi Fig. 5.8).

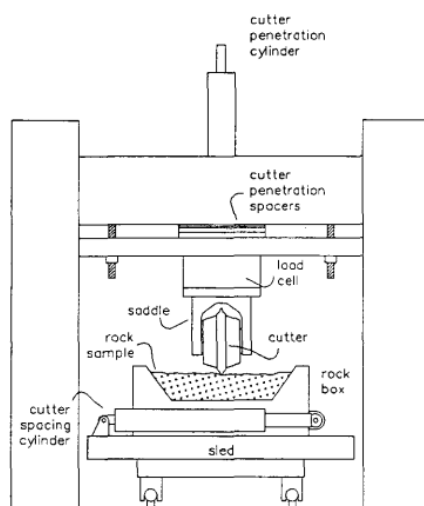


Figura 5.8 Schema di macchina di taglio lineare [40]

In questo test, il campione di roccia (dimensioni fino a 100 x 50 x 50 cm) è incastrato all'interno di una scatola d'acciaio pesante, che fornisce il confinamento necessario. Un otturatore idraulico servo controllato forza il campione sotto l'azione di un cutter con valori reimpostati di profondità di penetrazione e spaziatura, a con velocità costante (25 cm/s). Di conseguenza, varie combinazioni di spaziatura dei cutter e penetrazione possono essere verificate direttamente con questa attrezzatura. Le migliori combinazioni sono quelle che, utilizzando la quantità minima di energia di taglio specifico, producono un maggiore volume di frammenti di roccia.

Il test LCM utilizza *cutters full-size* ed è in grado di generare l'intera gamma di carichi a cui sono sottoposti i *cutters* e valori di penetrazioni sperimentati nella perforazione di campo. Di conseguenza, i risultati del test possono essere direttamente applicati per le prestazioni di campo poiché non è necessario nessun ridimensionamento dei risultati. Questo test è stato utilizzato ampiamente negli ultimi 20 anni e si è dimostrato altamente affidabile per la previsione accurata delle prestazioni di campo delle TBM. Il test è utilizzabile anche per condurre studi di ottimizzazione delle prestazioni per un progetto di *tunneling* proposto, in termini di spaziatura più efficiente e geometria dei *cutters* per ottenere i tassi di penetrazione più alti. Anche i *cuttings* provenienti dal test lineare di taglio vengono raccolti e vengono eseguite delle analisi

per determinare la distribuzione granulometrica dei frammenti di roccia, informazione rilevante qualora i *cuttings* venissero impiegati per il riempimento stradale.

Test rotativi sui *cutters*

Per progetti di grandi tunnel o per testare disegni della testa, possono essere eseguiti su vasta scala dei test di perforazione, su un diametro di 2 m, mediante l'uso di una macchina di taglio rotativo controllata da un computer, disponibile al CSM. Questo apparecchio di prova consente di testare e valutare i tipi diversi *cutters*, spaziatore, RPM, spinte e potenza in ingresso in condizioni di campo simulato.

5.3.3 Il sistema Q_{TBM}

L'approccio Q_{TBM} , proposto da Barton, è basato sull'estensione del sistema di classificazione Q: il nuovo parametro Q_{TBM} è funzione infatti di 20 parametri di base, molti dei quali possono essere stimati da un geologo esperto o da un ingegnere.

$$Q_{TBM} = \frac{RQD_0}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF} * \frac{\sigma_{cm} \text{ o } \sigma_{tm}}{\frac{F^{10}}{20^9}} * \frac{20}{CLI} * \frac{q}{20} * \frac{\sigma_\theta}{5} \quad (5.2)$$

Dove

$RQD_0 = RQD(\%)$ interpretato nella direzione dell'asse della galleria e utilizzato anche per la stima della resistenza dell'ammasso roccioso

J_r, J_n, J_w, J_a e SRF = rimangono invariati così come erano stati definiti da Barton et al.

F = carico medio dei cutter su di una stessa zona

σ_{cm} e σ_{tm} = resistenza a compressione e resistenza a trazione dell'ammasso roccioso (MPa), la scelta dell'uno e dell'altro dipende dall'angolo che si forma fra l'asse del tunnel e la discontinuità più grande presente nell'ammasso roccioso perforato

$\sigma_{cm} = 5 (Q_c)^{1/3}$ se l'orientazione non è favorevole, con $Q_c = Q(\sigma_c/100)$

σ_c = resistenza a compressione uniassiale del materiale roccioso intatto (MPa)

$\sigma_{tm} = 5 (Q_t)^{1/3}$ se l'orientazione è favorevole, con $Q_t = Q(I_{50}/4)$

I_{50} = indice del punto di carico di un campione di diametro 50 mm (MPa)

= unità di peso dell'ammasso roccioso in g/cm^3

CLI = indice di vita dei *cutters*

q = contenuto di quarzo in termini percentuali

σ_θ = stress indotto sul fronte del tunnel nella stessa zona (approssimato in MPa), ad una profondità approssimata di 100 metri

La condizione sfavorevole o favorevole per l'orientazione dipende se l'angolo che si forma fra la maggiore delle discontinuità e l'asse della galleria è maggiore o minore di $45+\phi/2$, con ϕ angolo di attrito del materiale.

La figure seguenti mostrano l'andamento del Q_{TBM} con i valori di AR e di PR: il tasso di penetrazione diminuisce con l'aumentare del Q_{TBM} , mentre la velocità di avanzamento aumenta fino a valori di $Q_{TBM} = 1$ e successivamente diminuisce.

In Fig. 5.9, le curve rappresentate fanno riferimento ad orari diversi (T): con l'aumentare del tempo di utilizzo della fresa, il tasso di avanzamento diminuisce, mentre le condizioni "difficile", "giusto", "molto problematico", presenti nella parte alta, suggeriscono la facilità o meno alla perforazione.

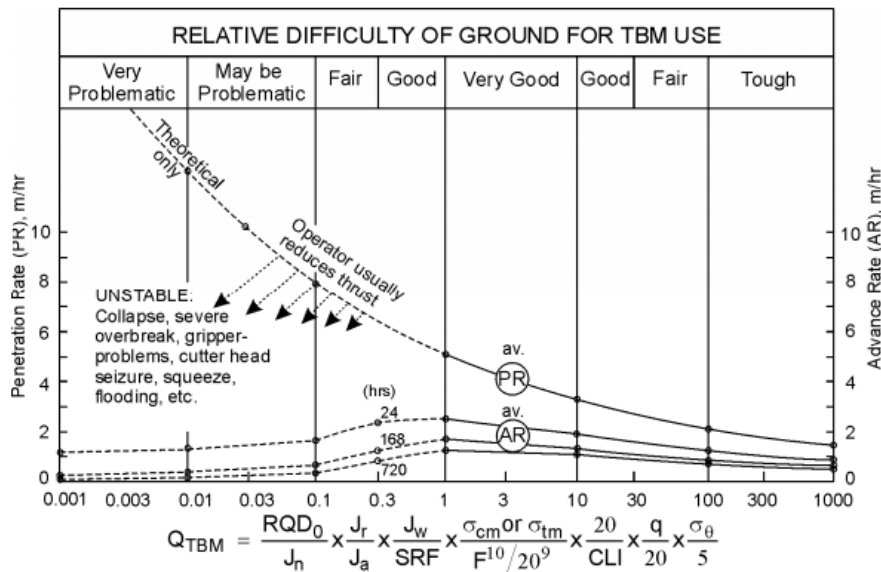


Figura 5.9 Andamento del Q_{TBM} in relazione ad AR e PR [37]

Il rapporto tra il tasso di avanzamento e il tasso di penetrazione, è il fattore di utilizzazione U, calcolato invertendo la Eq. 5.3:

$$AR = PR * U \tag{5.3}$$

Il trend di decelerazione di tutti i valori di PR e AR può essere espresso anche in formato alternativo (Eq. 5.4):

$$AR = PR * T_m \quad (5.4)$$

Dove T_m è il tempo totale in ore e m è il gradiente negativo (entrambi calcolabili dalla figura o dalla formula del Q_{TBM}).

Usura dei cutters

Il gradiente finale m può essere modificato dall'abrasività della roccia, che si basa su un valore normalizzato del CLI, l'indice di vita del cutter. Valori minori di 20 riducono rapidamente la vita del cutter e valori maggiori di 20 tendono a dargli una vita più lunga.

A causa dell'influenza supplementare del contenuto di quarzo (q %) e della porosità (n %) che possono accentuare l'usura del cutter, questi sono inclusi nell'equazione seguente per dare una definizione più precisa al valore di m .

Si è ritenuto necessario considerare anche la dimensione del tunnel e i supporti necessari. Anche se i grandi tunnel possono essere realizzati più velocemente rispetto ai piccoli tunnel, se la roccia è in buone condizioni, nei tunnel più grandi, possono anche avvenire dei cedimenti se la roccia è scadente. Perciò, è stato utilizzato un diametro di tunnel normalizzato (D) di 5 m, per cambiare leggermente il valore di m .

Il valore finale del gradiente m , quindi, può essere valutato con la Eq. 5.5:

$$m \approx m_1 \left(\frac{D}{5}\right)^{0,20} * \left(\frac{20}{CLI}\right)^{0,15} * \left(\frac{q}{20}\right)^{0,10} * \left(\frac{n}{2}\right)^{0,05} \quad (5.5)$$

Tasso di penetrazione e di avanzamento

Lo sviluppo di una relazione impiegabile tra PR, tasso di penetrazione, e Q_{TBM} era basato su un processo di prova ed errore, utilizzando casi record. Sforzandosi di ottenere un rapporto semplice e arrotondando i decimali, è stata ottenuta la correlazione seguente:

$$PR \approx 5 (Q_{TBM})^{-0,2} \quad (5.6)$$

È possibile stimare il valore di AR, tasso di avanzamento, con la Eq. 5.7:

$$AR \approx 5 (Q_{TBM})^{-0,2} * T^m \quad (5.7)$$

Mediante il tasso di penetrazione, tramite relazione inversa, è possibile calcolare il valore del Q_{TBM} :

$$Q_{TBM} \approx \left(\frac{5}{PR} \right)^5 \quad (5.8)$$

Una vasta gamma di valori del Q_{TBM} si ottengono utilizzando l'equazione sopracitata, per valori diversi del PR, come mostrato in Tab. 5.2.

PR (m/hr)	0.1	0.5	1.0	5	10
Q_{TBM}	3.1×10^8	10^5	3125	1	0.03

Tabella 5.2 Valori della PR in relazione all'indice Q_{TBM} [37]

L'approccio Q_{TBM} può essere utilizzato per la previsione delle performance delle TBM e l'analisi inversa. Barton ha sottolineato che miglioramenti e correzioni sono possibili nel modello Q_{TBM} , suggerendo di testarlo su altri casi.

5.3.4 La classifica RMR (Rock Mass Rating)

Minore attenzione è stata prestata alla correlazione delle performance delle TBM con il Rock Mass Rating (RMR), nonostante l'ampio uso di questa classifica geomeccanica nella pratica quotidiana.

Il sistema di classificazione Rock Mass Rating (RMR) è determinato dalla somma dei valori (ponderazioni) dei parametri di input, con somma aritmetica di 100:

- 15 per la resistenza a compressione uniassiale della roccia;
- 20 per l'RQD;
- 20 per la spaziatura delle discontinuità;
- 30 per la condizione delle discontinuità;
- 15 per la condizione delle acque sotterranee.

Il sistema RMR è stato originariamente sviluppato per il calcolo del carico della roccia e la selezione del supporto del tunnel (Bieniawski, 1973). Pertanto, le ponderazioni dei dati sono in buon accordo con il processo di progettazione del tunnel per un'assegnata condizione dell'ammasso, d'altro canto, il sistema non garantisce valutazioni corrette per scopi diversi.

Gli studi di Hamidi e Sapigni hanno evidenziato che il modello di previsione che si basa sull'indice RMR, deriva dall'analisi di regressione, lineare o polinomiale, singola o multi variabile.

Prendendo ad esempio, lo studio di Hamidi, una strategia efficiente per estendere l'applicabilità dell'RMR, o in generale tutte le classifiche, alla stima delle prestazioni delle TBM è quello di regolare i pesi dei parametri di input compatibilmente con differenti applicazioni. Tale adeguamento è possibile mediante l'analisi di regressione multipla e polinomiale al fine di sviluppare un sistema adatto di predizione per le prestazioni delle TBM. A questo scopo, possono essere individuati i parametri di input dell'RMR con forte correlazione con i parametri operativi delle TBM, sviluppando quindi un modello di previsione basato su questi parametri.

Analizzando il coefficiente di correlazione di ciascun parametro di input dell'indice RMR rispetto all'FPI (*Field Penetration Index*), è possibile individuare quali di questi abbiano rilevanza e possano essere introdotti all'interno del modello di previsione, rappresentato dalla regressione multipla o polinomiale. In questo studio specifico, le grandezze che presentano correlazioni meno significative con il FPI sono la profondità del tunnel e la condizione delle acque sotterranee (G_w), portando all'esclusione di questi dal set di variabili indipendenti nelle analisi di regressione.

Inoltre, un'intercorrelazione tra l'UCS e la spaziatura delle discontinuità (J_s) ha portato anche all'esclusione di J_s da successive analisi e formule. La regressione multilineare ha mostrato una migliore correlazione tra l'FPI misurato e quattro dei parametri di input di base dell'RMR, più l'angolo α (l'angolo tra il piano della discontinuità e l'asse del tunnel).

Riportiamo i modelli di regressione lineare e polinomiale multipla ottenuti:

$$FPI = 4,161 + 0,091 * UCS + 0,077 * RQD + 0,077 * \text{Log}\alpha \quad (5.9)$$

$$FPI = 9,401 + 0,397 * \text{Log}\alpha + 0,011 * J_c^2 + 1,14E - 5 * RQD^3 + 1,32 - 8 * UCS^4 \quad (5.10)$$

dove FPI è l'indice di penetrazione della TBM in campo FPI (rev/kN/mm), UCS è la resistenza a compressione uniassiale della roccia (MPa), RQD è il *Rock Quality Designation* (%), J_c è il valore parziale della condizione delle discontinuità nel sistema RMR e α è l'angolo tra l'asse del tunnel e i piani di discontinuità misurato in gradi.

È stata controllata la significatività statistica e la validità dei modelli ottenuti utilizzando alcuni test statistici, che hanno dimostrato che le che i rapporti ottenuti sono vitali ed attendibili per il database esaminato nella previsione delle prestazioni della TBM. Tuttavia, la gamma di dati immissione utilizzati per lo sviluppo di questo modello di previsione è molto limitato, e come

tale, i risultati non possono essere considerati in senso universale e sono necessari ulteriori studi e dati supplementari, per estendere il modello ad altre macchine e altri tipi di terreno.

5.3.5 *Rock Mass Excavability Index (RME)*

Nel 2006 al World Tunnel Congress ITA in Corea, Z. T. Beniaowski, Benjamin Celada e José Miguel Galera, sulla base di circa 400 sezioni di tunnel, presentarono per la prima volta il *Rock Mass Excavability Index (RME)*: scopo di tale indice è quello di indicare il tipo di TBM più adeguata per lo scavo e essere un utile strumento per la previsione della performance della macchina in termini di velocità di avanzamento.

Le informazioni che devono essere raccolte per ogni singola sezione di tunnel (regione geostrutturale) sono le seguenti:

- dati geometrici: ubicazione del tunnel, lunghezza e diametro;
- dati dell'ammasso roccioso: RMR e i suoi parametri, DRI, dati sulle discontinuità, afflusso d'acqua;
- dati della TBM: indice d'avanzamento, coefficiente d'utilizzo, indice di penetrazione, velocità di rotazione, coppia (momento di torsione), spinta, numero di *cutter* sostituiti ed energia specifica di scavo.

È importante osservare che una sezione di tunnel studiata per l'RME è definita come una regione geologico-strutturale del tunnel, cioè la stessa sezione in base alla quale si determina l'RMR, e all'interno della quale esistono caratteristiche uniformi (quali la spaziatura e le condizioni della discontinuità), la stessa litologia di tipo roccioso e un RMR che non vari più di mezza classe (10 punti). Inoltre la sezione selezionata dovrebbe preferibilmente essere più lunga di 40 metri, il tempo di scavo dovrebbe essere fornito in giorni fratto una frazione decimale e l'utilizzo della TBM non dovrebbe essere inferiore. Tutti questi aspetti sono importanti per confrontare i diversi *case histories* di scavo di tunnel.

L'indice RME si ottiene dalla somma dei cinque parametri d'immissione elencati in Tab. 5.3, ponderati secondo dei pesi analizzati statisticamente, riducendo al minimo l'errore nella previsione dell'ARA (*Average Rate of Advance*).

Uniaxial compressive strength of intact rock [0-25 points]										
σ_c (MPa)	<5	5-30			30-90		90-180		>180	
Ave. rating	4	14			25		14		0	
Drillability [0-15 points]										
DRI	>80	80-65			65-50		50-40		<40	
Ave. rating	15	10			7		3		0	
Discontinuities at the tunnel face [0-30 points]										
Homogeneity		Number of joints per meter					Orientation with respect to tunnel axis			
Homogeneous	Mixed	0-4	4-8	8-15	15-20	>20	Perpendicular	Oblique	Parallel	
Ave. rating	10	0	2	7	15	10	0	5	3	0
Stand up time [0-25 points]										
Hours	0	<5			5-12		12-48		>48	
Ave. rating	0	2			10		15		25	
Groundwater inflow [0-5points]										
Liters/sec	>100	50-100			20-50		<20		0	
Rating	0	1			2		3		5	

Tabella 5.3 Parametri impiegati per il calcolo dell'RME [32]

Tre dei parametri presenti in tabella, resistenza a compressione uniassiale, spaziatura delle discontinuità e afflusso al fronte, sono facilmente valutabili da un geologo esperto. Il valore dello stand-up time può essere valutato dall' RMR_{TBM} .

Utilizzando l' RMR_{TBM} e l'altezza della galleria (roof span) è possibile stimare il valore del tempo di *stand-up*, mediante il grafico riportato in Fig. 5.10.

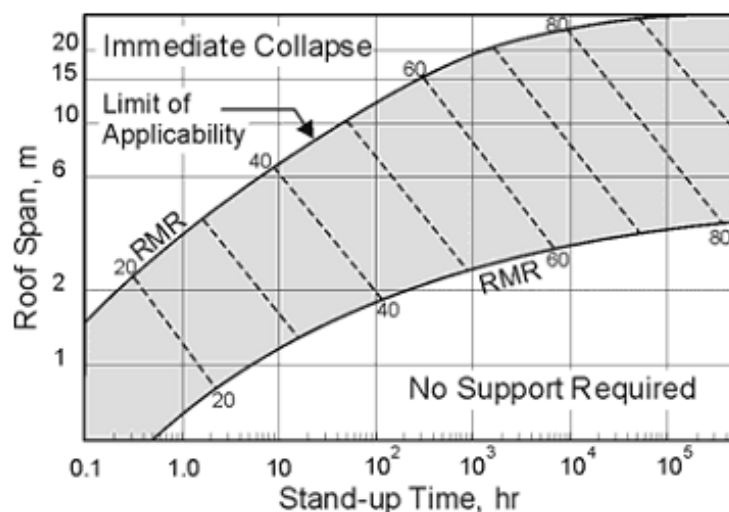


Figura 5.10 Valutazione del tempo di stand-up mediante l' RMR_{TBM} e l'altezza della galleria [37]

Una volta determinato l'RME, è possibile stimare un Indice Medio d'Avanzamento (*Average Rate of Advance*) dalla Fig. 5.11.

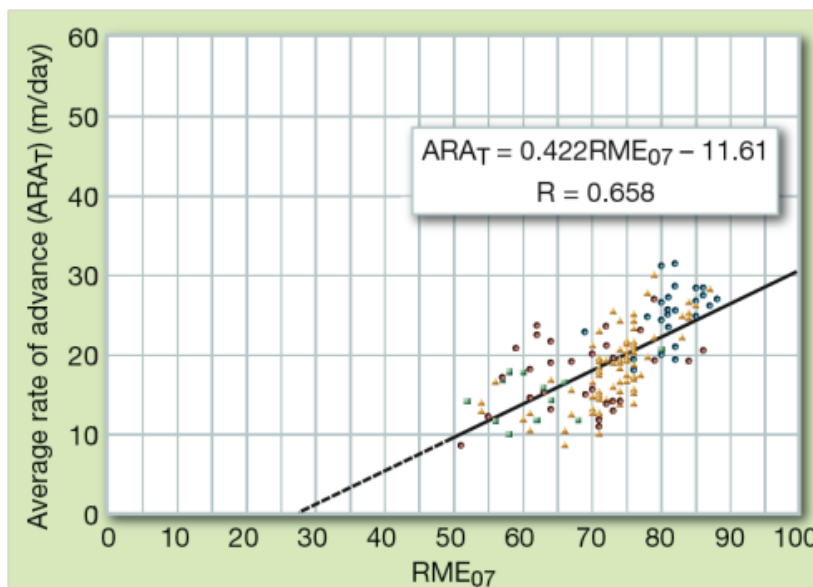


Figura 5.11 Stima dell'ARA_T a partire dall'RME [32]

L'RME aveva inizialmente lo scopo di valutare la fresabilità della roccia considerando gli aspetti rilevanti per le caratteristiche della roccia e per la performance della TBM, come l'orientamento dell'asse del tunnel rispetto alle discontinuità più importanti e al *Drilling Rate Index* (DRI). Allo stesso modo, per includere gli altri fattori successivamente considerati occorre introdurre il concetto di ARA reale (ARA_R), che tiene in considerazione:

1. Influenza dell'equipaggio della TBM (*Crew Efficiency Factor*): nella costruzione dei tunnel, appare evidente come la qualificazione e l'esperienza dell'equipaggio della TBM, che manovrano la macchina tutti i giorni, abbiano un'importante influenza sulle performance ottenute.

Effectiveness of the crew handling TBM and terrain	Crew Factor (F _E)
Less than efficient	0.88
Efficient	1.0
Very efficient	1.15

Tabella 5.4 Influenza dell'equipaggio [32]

Tale fattore è stato introdotto a partire dall'esperienza acquisita durante la costruzione dei tunnel di Guadarrama (Spagna) lunghi 28 km e scavati da quattro TBM, e dalla proposta di Remo Grandori. Si considera:

$$F_E = 0.7 + F_{E1} = F_{E2} + F_{E3} \quad (5.11)$$

Dove

F_{E1} rappresenta l'esperienza dell'appaltatore

F_{E2} rappresenta la qualifica della squadra

F_{E3} rappresenta la risoluzione delle dispute

sono opportunamente tabellati, come di seguito.

Contractor's TBM experience	No experience	1 to 5 tunnels built	6 to 10 TBM tunnels built	11 to 20 TBM tunnels built	>21 TBM tunnels built
Value of F_{E1}	0	0,05	0,10	0,15	0,2

Qualifications of the tunnelling crew	Little trained and none with TBMs	Trained but none with TBMs	Trained overall and with TBMs
Value of F_{E2}	0	0,1	0,15

Resolutions of disputes	TBM manufacturer rep on site	No TBM manufacturer rep on site	Time to resolve problems: < 1 month	Time to resolve problems: > 1 month
Value of F_{E3}	0,075	0	0,075	0

Tabella 5.5-5.6-5.7 Fattori relativi all'esperienza dell'appaltatore, alla qualifica della squadra e alla risoluzione delle dispute [32]

- Influenza della lunghezza di scavo (*Adaptation to the Terrain Factor*): performance accresciute sono ottenute con l'aumentare della lunghezza del tunnel.

Tunnel length excavated (km)	Adaptation factor (F_A)
0.5	0.68
1.0	0.80
2.0	0.90
4.0	1.00
6.0	1.08
8.0	1.12
10.0	1.16
12.0	1.20

Tabella 5.8 Variazione delle performance in relazione alla lunghezza dello scavo [32]

3. Influenza del diametro del tunnel (*Tunnel Diameter Factor*), valutabile con una delle due espressioni seguenti.

$$F_D = -0,007 D^3 + 0,1637 D^2 - 1,2859 D + 4,5158 \quad (5.12)$$

$$F_D = \frac{10}{D} \quad (5.13)$$

La relazione applicabile per valutare l'ARA_R diventa quella della Eq. 5.14:

$$ARA_R = ARA_T * F_E * F_A * F_D \quad (5.14)$$

Per mettere in relazione l'RME con l'ARA per i diversi tipi di TBM, occorre innanzitutto notare che i valori della resistenza a compressione uniassiale del materiale roccioso offrono due scenari completamente diversi per le performance della TBM.

È evidente che una TBM che lavora in un ammasso roccioso con $\sigma_{ci} = 20$ MPa avrà un avanzamento molto maggiore rispetto ad una che lavora in un terreno con $\sigma_{ci} = 130$ MPa.

Per questo motivo, basandosi su ricerche e dati riguardanti i tunnel, è stato deciso che le relazioni più significative tra RME e ARA_T per i tipi più comuni di TBM si stabiliscono considerando separatamente due serie di resistenza a compressione uniassiale per la roccia intatta: resistenze σ_{ci} maggiori o minori di 45 MPa.

L'analisi delle correlazioni tra l'indice RME e il Tasso Medio di Avanzamento Teorico (ARA_T) della macchina di scavo, ha portato alle raccomandazioni generali che seguono per la scelta del tipo di TBM da impiegare:

- Per i terreni con una fresabilità molto buona, con $RME > 80$ e $\sigma_{ci} > 45$ MPa, le TBM aperte sono le macchine che offrono le migliori performance, mentre nel caso di $\sigma_{ci} < 45$ MPa ma $RME > 80$, le TBM a doppio scudo sono preferibili.
- Per terreni di buona fresabilità, con un RME tra 70 e 80 punti, tutti i tipi di TBM mostrano performance simili se $\sigma_{ci} > 45$ MPa. In caso di resistenza a compressione uniassiale della roccia inferiore a 45 MPa, le TBM aperte offrono vantaggi molto minori rispetto le TBM a scudo singolo.
- Per terreni di media o scarsa fresabilità, con $RME < 70$ punti, le TBM a scudo singolo sono le più appropriate.

5.4 Criticità e soluzioni applicative dei metodi di previsione

I metodi sopra descritti sono quelli maggiormente utilizzati nella pratica attuale, ma, nel caso che ci prefiggiamo di analizzare in questo elaborato, diventano di difficile applicazione per le ragioni che riporteremo di seguito.

Metodo NTH (*Norwegian Institute of Technology*), prevede che si conoscano parametri dell'ammasso roccioso, fra cui informazioni sulle discontinuità, indice di perforabilità e abrasività, di cui non disponiamo e che vengano effettuate prove su campioni prelevati dal tunnel. Poiché la TBM, impiegata per la realizzazione della galleria in esame, non consente un diretto contatto con il fronte, se non in rari casi eccezionali, i parametri geomeccanici, prima citati, non possono essere estrapolati, tantomeno è possibile il prelievo di campioni direttamente dalla porzione che andremo a scavare.

Metodo CSM (*Earth Mechanics Institute of Colorado School of Mines*), prevede che, su campioni prelevati dal tunnel, vengano eseguite prove per l'individuazione della resistenza a compressione uniassiale, della resistenza a trazione brasiliana, della resistenza a taglio e delle proprietà elastiche. Poiché la TBM non consente il prelievo di campioni, possedendo un fronte chiuso e ponendo in opera il rivestimento definitivo durante l'avanzamento, questi possono essere ottenuti solamente con sondaggi esterni, che però, d'altro canto, sono poco rappresentativi dell'intero ammasso. Infatti l'ambito entro cui la galleria in esame viene perforata è quello del complesso caotico, di cui non è facile conoscerne caratteristiche e proprietà, anche se si è in possesso di carotaggi: questi sono valori puntuali, non rappresentativi dell'intero complesso. Ovviamente tale limite va ad influenzare la stima di tutti quei parametri che necessitano di prove di laboratorio su provini.

Il sistema Q_{TBM} , essendo basato sull'estensione del sistema di classificazione Q , prevede la conoscenza di tutta una serie di parametri di cui non disponiamo, fra cui J_r , J_n , J_w , J_a , SRF, RQD₀, σ_{cm} e σ_{tm} . Ricavare tali parametri, risulta impossibile in quanto il fronte chiuso non consente un diretto contatto con l'ammasso e i campioni che possiamo prelevare e analizzare non sono rappresentativi.

La classifica RMR (Rock Mass Rating), prevede l'individuazione di correlazioni fra parametri dell'ammasso, fra cui UCS, resistenza a compressione uniassiale della roccia (MPa), RQD, Rock Quality Designation (%), J_c , valore parziale della condizione delle discontinuità nel sistema RMR e α , angolo tra l'asse del tunnel e i piani di discontinuità (misurato in gradi), mediante regressione lineare o polinomiale: molti dei parametri citati, non sono disponibili per il caso in esame e valutarli implica le problematiche citate anche negli altri metodi di previsione. *Rock Mass Excavability Index (RME)*, prevede la conoscenza di dati geometrici del tunnel, dati dell'ammasso roccioso e dati della TBM. La problematica rimane sempre legata alla mancanza dei dati geomeccanici, fra i quali RMR e i suoi parametri, DRI, dati sulle discontinuità e afflusso d'acqua, a cui non riusciamo a sopperire.

Molte delle mancanze possedute dal caso che esamineremo, dipendono fortemente dal fatto che, la maggior parte dei metodi sopra citati, sono stati realizzati per lo scavo con TBM in roccia, in cui è più facile disporre di informazioni geomeccaniche e solitamente è presente una maggior omogeneità del materiale. Inoltre, qualora non disponessimo di tutte le informazioni necessarie, sarebbe più facile eseguire delle ispezioni al fronte e prelevare dei campioni, nel caso di una galleria in ambito roccioso, piuttosto che in uno scavo in terreno sciolto, proprio per una maggiore stabilità del fronte, che nel secondo caso spesso viene meno.

Alcune delle difficoltà esaminate possono essere in parte superate, adottando opportuni accorgimenti: per ottenere dei campioni sui quali eseguire le prove di laboratorio, ad esempio, si potrebbe pensare di carotare in diversi punti il rivestimento definitivo, prelevando il materiale della formazione entro cui si è inserita la galleria.

Un limite a questa soluzione è rappresentato dalle armature presenti nei segmenti prefabbricati del rivestimento, che il carotaggio dovrebbe, per quanto possibile, evitare di intaccare. Senza dimenticare che un numero limitato di carotaggi, in questo contesto complesso e poco noto, non fornirebbe delle informazioni di carattere globale, ma indicazioni di tipo puntuale, per quelle formazioni definite tali, come le Argille a Palombini.

Le misure indirette, quali le misure geofisiche, in particolare la sismica, potrebbero essere utili nell'individuazione di zone allentate presenti davanti al fronte di scavo. Queste non fornirebbero indicazioni in merito ai parametri geomeccanici sopra citati, ma darebbero informazioni utili

sulle porzioni dell'ammasso indebolite, ovviamente con i limiti che le misure indirette comportano: è necessario possedere una buona conoscenza delle formazioni, che si presume di andare ad incontrare, e delle loro caratteristiche per poter meglio interpretare i risultati che quest'analisi fornisce.

Il prelievo del materiale dal nastro trasportatore, potrebbe essere un'alternativa valida se il materiale estratto fosse di dimensioni idonee per le prove di laboratorio e non fosse stato condizionato in maniera consistente, in quanto tale condizionamento potrebbe alterarne le proprietà e il comportamento una volta sottoposto ad analisi.

Come accennato, l'ingresso in camera di scavo è un'opzione possibile ma rara, in quanto vi si accede se sono necessarie ispezioni al fronte e per eseguire la sostituzione degli utensili di scavo, vale a dire ogni 2 mesi circa, in relazione al tipo di materiale che andiamo a scavare. Se in queste occasioni decidessimo di prelevare dei campioni, si riproporrebbe la problematica del numero e se quei prelievi risultano rappresentativi dell'intera formazione.

Gli accorgimenti che possono essere adottati sono validi, limitatamente ad alcune informazioni necessarie per l'adozione dei metodi di previsione sopra segnalati, ma non sopperiscono a tutte le mancanze che abbiamo sopraelencato per ciascun metodo.

Quello che ci prefiggiamo di fare, a questo punto, è di sfruttare la conoscenza del comportamento della macchina nelle formazioni attraversate, per realizzare un modello di previsione delle *performance*, da adottare per la seconda canna che verrà scavata.

Il caso che abbiamo esaminato, infatti, poiché prevede l'impiego di un'unica TBM per lo scavo di 2 tratte parallele e simili dal punto di vista geologico, ci consente un'analisi incrociata dei dati, vale a dire, le informazioni che riusciamo ad estrapolare per la Canna Nord, e relative formazioni, possono essere applicate alle medesime formazioni per la stessa canna e per la Canna Sud.

Quindi, sulla base dei dati provenienti dalla fase di avanzamento della macchina, verificheremo, dapprima, se ciò che era stato previsto in sede progettuale, è quello che si è riscontrato durante lo scavo o meno, e, di seguito, identificheremo degli intervalli per i parametri di funzionamento di questa e sui relativi consumi, andando a cercare relazioni significative con le caratteristiche di ciascuna formazione attraversata, che potranno essere impiegati poi per la realizzazione delle tratte nelle stesse condizioni geomeccaniche e per la seconda canna.

6. REALIZZAZIONE DEL MODELLO DI OTTIMIZZAZIONE DELLE PERFORMANCE

Il capitolo precedente ci ha consentito di analizzare i metodi di previsione delle performance, di una macchina TBM, comunemente utilizzati al giorno d'oggi.

Abbiamo messo in evidenza le criticità e i limiti di queste metodologie, in particolare, per la mancanza dei parametri necessari nel processo di previsione, e quindi anche l'impossibilità ad essere applicate nel caso in esame.

Premesso questo, l'analisi seguente avrà come scopo:

- confronto delle previsioni fatte in sede di progetto con quanto riscontrato durante la fase di avanzamento della macchina, mediante l'uso di tabelle presenti nella cabina di pilotaggio della TBM;
- ottimizzazione dei parametri ritenuti fondamentali per la conduzione della macchina, al fine di individuare, per ciascuna formazione attraversata, un set di valori che ne massimizza l'efficienza, con consumi, per quanto possibile, ridotti al minimo;
- suggerimento dei *range* da adottare per alcuni parametri di conduzione della macchina e indicazione delle grandezze da tenere sotto osservazione, per tratte in cui le formazioni esaminate verranno nuovamente attraversate e per lo scavo della Canna Sud della galleria.

Per la realizzazione del modello che ottimizza le performance della macchina, prenderemo in esame parametri di natura sia tecnica che prestazionale, in quanto entrambi vanno ad incidere sulle *performance* della macchina.

Sotto la voce "PARAMETRI TECNICI" rientrano :

- PARAMETRI MECCANICI, estrapolati dai *file* output della macchina, prendendo in esame quelli ritenuti fondamentali al fine di valutare efficienza e consumi della TBM;
- PARAMETRI GEOMECCANICI, proprietà geomeccaniche e criticità legate allo scavo delle formazioni attraversate dalla galleria, che vanno ad influenzare la conduzione e la gestione della macchina.

Invece, sotto "PARAMETRI PRESTAZIONALI" consideriamo, relativamente alla macchina:

- EFFICIENZA, nella quale rientrano condizionamento del materiale, funzionamento del nastro trasportatore, produzione e trasporto dei conci, presenza di gas metano, eventuali venute di acqua, manutenzione ordinaria e straordinaria, in quanto, quando queste voci non comportano problematiche per l'avanzamento della macchina, le prestazioni ottimali o

meno ottenute sono legate esclusivamente alla conduzione della TBM, che verrà considerata sotto la voce “fattore umano”;

- **CONSUMI**, sotto questa voce consideriamo gli utensili di scavo, i grassi, gli oli, la malta, l’energia elettrica e gli agenti condizionanti.

La Tab. 6.1 riporta, sinteticamente, quali voci saranno prese in esame nell’analisi.

MODELLO DI OTTIMIZZAZIONE DELLE PERFORMANCE DELLA TBM			
PARAMETRI TECNICI		PARAMETRI PRESTAZIONALI	
PARAMETRI MECCANICI	file macchina	CONSUMI	UTENSILI
			GRASSI
			MALTA
			ENERGIA ELETTRICA
			POLIMERI CONDIZIONAMENTO
			BENTONITE
PARAMETRI GEOMECCANICI	APA - SCB	EFFICIENZA	NASTRO TRASPORTATORE
			CONCI
			GAS
			EVENTUALI VENUTE DI ACQUA
			FATTORE UMANO - EFFICIENZA SQUADRA
			MANUTENZIONE E SOSTITUZIONE UTENSILI

Tabella 6.1 Impostazione del modello di ottimizzazione che verrà realizzato di seguito

I paragrafi successivi forniscono brevemente il significato che ciascuna voce, riportata nella tabella precedente, possiede ai fini dell’analisi che ci prefiggiamo di realizzare.

6.1 Parametri di input dell’analisi

6.1.1 Parametri meccanici

I parametri meccanici che verranno analizzati, sono estrapolati direttamente dai *file* in output della macchina (*process* e *calculate*), e prendono in esame diversi macroaspetti della conduzione della macchina:

- tempistiche;

- avanzamento;
- estrazione del materiale;
- iniezione a tergo del rivestimento;
- condizionamento del materiale;
- consumo di grasso ed energia elettrica;
- presenza di gas metano.

6.1.2 Parametri geomeccanici

I parametri geomeccanici a cui faremo riferimento, sono quelli di cui abbiamo già discusso nella sezione di inquadramento geologico della zona di intervento.

Le formazioni che prenderemo in esame sono le Argille a Palombini (APA) e la Scabiazza (SCB), in quanto, nell'ambito di questa tesi, per questioni di tempo, non arriveremo ad attraversare la formazione delle Breccie Argillose Poligeniche (BAP) e la formazione di Monteverene (MOV).

Come già lungamente discusso in precedenza, per le Argille a Palombini, non ha senso far riferimento ai parametri estrapolati dalle analisi di laboratorio, poichè questi ci forniscono un'idea solo puntuale delle caratteristiche della formazione e pertanto, per un'omogeneità di analisi, evidenzieremo solo le criticità e le problematiche riscontrate durante l'avanzamento, considerando marginalmente i parametri geomeccanici.

6.1.3 Efficienza

Per efficienza si intende la capacità di raggiungere un determinato obiettivo con la minima allocazione possibile di risorse.

Vanno ad incidere nell'efficienza di una TBM diversi parametri:

Funzionamento del nastro trasportatore, installato lungo il tunnel in fase di scavo, per il trasferimento dello smarino fino alle aree di caratterizzazione in loc. Badia.

La funzione del nastro primario (tunnel nastro) è permettere il trasporto del materiale scavato lungo il *back-up* della TBM, fino al nastro trasportatore secondario (nastro trasversale), situato trasversalmente sul secondo livello del terzo carro del *back-up* della TBM, che a sua volta riceve il materiale scavato e lo trasferisce sul nastro trasportatore installato lungo il tunnel, (nastro in galleria).

Il funzionamento ottimale del nastro dipende da:

- capacità che ogni tratto, sopra citato, possiede in termini di t/h;
- l'eventuale presenza di accumuli di materiale nelle tramogge di passaggio fra i vari tratti;
- il prolungamento, mano a mano che la TBM avanza, del nastro in galleria;
- eventuali problematiche alla torre nastro, posizionata nel piazzale, nella zona antistante l'imbocco dell'opera;
- fuoriuscita del nastro dai rulli su cui esso scorre;
- manutenzione ordinaria e straordinaria.

Riportiamo in Tab. 6.2 le caratteristiche tecniche dei vari tratti del nastro trasportatore.

TIPO NASTRO	LARGHEZZA (m)	LUNGHEZZA (m)	VELOCITA' (m/s)	CAPACITA' DI ESTRAZIONE (t/h)
NASTRO GALLERIA	1,2	2750	3,5	2000
NASTRO TRASVERSALE	1,6	5,5	2	1600
TUNNEL NASTRO	1,4	78	2,5	1600

Tabella 6.2 Caratteristiche tecniche dei vari tratti del nastro trasportatore [16-17]

Lungo il nastro primario sono presenti due bilance che permettono di misurare, in modo continuo, il peso del materiale estratto, mentre una terza è posizionata in prossimità della scarica provvisoria, consentendo una ulteriore verifica del materiale estratto.

Montaggio dei conci, sarà condotto secondo le seguenti fasi:

- Il sistema di guida VMT della fresa, tenendo in conto della posizione di montaggio degli anelli precedenti e della traiettoria della TBM, calcola in modo automatico la posizione di montaggio ottimale dell'ultimo anello (che ne garantisce il centraggio all'interno dello scudo di coda della TBM) indicando il numero del gruppo di cilindri di spinta (da 1 a 19) in corrispondenza del quale deve essere installato il concio chiave.
- L'Operatore della fresa comunica all'erektorista la posizione di montaggio calcolata dal sistema VMT.

Associati al montaggio dei conci, possiamo citare:

- i veicoli MSV (Multi Service Vehicle) per l'approvvigionamento dei conci, è necessario che i veicoli siano sempre efficienti e funzionanti in quanto, al termine della fase di

avanzamento della macchina, i segmenti, necessari per la costruzione dell'anello, devono essere già stati trasportati in prossimità della coda del *back-up* per essere poi predisposti sul *segment feeder*;

- il carro ponte, consente il caricamento dei conci sopra i veicoli MSV e deve funzionare sempre perfettamente, affinché ci sia continuità nella fase di approvvigionamento dei segmenti all'interno della galleria;
- erettore dei conci (*segment erector*), posizionato in corrispondenza del ponte tra lo scudo della fresa e il primo carro del *back-up* e in grado di operare all'interno dello scudo di coda, laddove si realizza il montaggio degli anelli di conci prefabbricati; è direzionato dall'erektorista, quindi il suo funzionamento non è dettato solo dal suo corretto funzionamento ma anche dal fattore umano;
- *segment feeder* e *segment crane*, posizionati sotto il back up della TBM, permettono lo scarico dei conci dai veicoli MSV e il loro trasporto fino all'erettore dei conci, devono essere sempre perfettamente funzionanti per garantire la continuità nelle operazioni.

Va ad influenzare nell'efficienza della macchina, la produzione giornaliera dei segmenti per il rivestimento definitivo, nonché il trasporto di questi dalla fabbrica conci al piazzale antistante l'imbocco della galleria.

Eventuale presenza del gas metano, fattore di cui tenere di conto in quanto lo scavo è eseguito in terreni grisutosi. Se viene rilevata la presenza di metano scattano tutte quelle procedure necessarie per mettere in sicurezza i lavoratori: solo nel momento in cui queste prevedono l'arresto della macchina, possiamo dire che vanno ad inficiarne l'efficacia.

Eventuali venute di acqua, nell'ambito di questo scavo è stata preventivata la presenza di acqua e quindi la possibilità che si debba intervenire affinché non vi sia infiltrazione di questa in galleria; a tale scopo, sono predisposte delle linee di iniezione di bentonite, esternamente allo scudo, che consentono la creazione di uno strato impermeabile che dovrebbe impedirne o, quanto meno, rallentare l'ingresso.

Fattore umano, nel momento in cui non si rilevano malfunzionamenti o problematiche, che possano rallentare l'avanzamento della macchina, le prestazioni migliori o peggiori che possono essere raggiunte dipendono dalle capacità e dall'esperienza della squadra che in quel turno si trova ad operare in galleria. Come abbiamo precedentemente visto, nel caso dell'Indice RME di Benjawski, questo è un parametro che viene utilizzato per apportare delle correzioni, ritenendolo indicativo per eseguire delle considerazioni sull'avanzamento della macchina.

Nel caso in esame, per ognuna delle 5 squadre presenti, ognuna associata ad un pilota, verranno valutati per ognuna delle formazioni analizzate:

- il tempo totale lavorato;
- gli anelli effettivamente montati, indipendentemente che siano anche stati scavati dalla stessa squadra.

In questo modo sarà possibile verificare l'efficienza di una squadra rispetto all'altra.

Evidenziamo che la squadra indicata con P4 compare solo nelle prime fasi di scavo, mentre, successivamente, le squadre che si alternano sono P1, P2, P3 e P5.

Manutenzione comprende sia quella ordinaria, eseguita con cadenza giornaliera, settimanale o mensile, e quella straordinaria, eseguita quando è rilevato un guasto o un malfunzionamento.

Fra le voci della manutenzione ordinaria possiamo citare:

- Sostituzione utensili di scavo, non è mai un'operazione semplice perché richiede, come operazioni preliminari, lo svuotamento della camera di scavo e il controllo visivo, da parte degli operatori, della condizione degli utensili. È inoltre necessario tenere conto che, aprendo la camera di scavo, successivamente al suo svuotamento, è possibile che si rilevino delle percentuali di metano significative, che non consentano, di conseguenza, le operazioni di controllo ed eventuale sostituzione dei taglienti. L'operazione di sostituzione degli utensili viene ripetuta ogni 1-2 mesi, in relazione al tipo di materiale che la macchina va a scavare e al rilevamento, da parte di uno dei sensori di usura, di qualche problematica agli utensili.



Figura 6.1-6.2 Esempio di *cutter* nuovo (sinistra) e *cutter* usurato (destra)

- Pulizia linea di iniezione della miscela bi componente (*Back-Filling*), viene eseguita ogni qual volta sia possibile, in quanto le linee devono essere sempre mantenute in efficienza affinché non vi siano intasamenti e il riempimento a tergo dei conchi avvenga correttamente. La pulizia delle linee delle malte avviene mediante l'ausilio di malta stessa, 30 l per ogni linea, mentre per le linee di accelerante impieghiamo, per un tempo di circa 20 secondi, acqua ad alta pressione. Questa operazione viene ripetuta, generalmente, ogni fine fase di spinta e nei periodi prolungati di fermo, che potrebbero facilmente comportare l'intasamento delle linee.

Fra le operazioni di manutenzione straordinaria consideriamo tutte quelle operazioni non preventivate, dovute a malfunzionamenti o rotture, che possono comportare più o meno perdita di tempo.

Le operazioni di manutenzione (ordinaria o straordinaria) non permettono l'avvio dello scavo, ecco perché è necessario che vengano eseguite in maniera accorta, così da portare via il minor tempo possibile all'avanzamento.

6.1.4 Consumi

Per consumo intendiamo l'impiego di risorse e materie prime per soddisfare una determinata necessità; nel caso in esame, rientrano sotto la voce consumi:

Utensili, fra i quali consideriamo i *cutters* da 17" (singoli e doppi), che distaccano il materiale dal fronte che vanno ad attaccare, i *rippers* (coltelli), dotati di un tagliente speciale con metallo duro, e gli *scapers* (raschiatori). I *Buckets*, invece, provvedono all'asporto del materiale distaccato, proteggendo anche i *disc cutter* da eventuali danneggiamenti.

Grassi, fra i quali elenchiamo il CONDAT WR89 (nella fase di partenza della macchina, CONDAT WR90), il CONDAT GR30 EP2 e il CONDAT HBW; in Tab. 6.3 riportiamo la funzione e dove vengono impiegati tali grassi.

GRASSI		
NOME	FUNZIONAMENTO	IMPIEGO
CONDAT WR89	sigillante e impermeabilizzante per il riempimento delle spazzole dello scudo di coda della fresa	pompa 1 pompa 2 pompa 3
CONDAT HBW	sigillante per la guarnizione a labirinto del cuscinetto principale della testa	guarnizioni e labirinti della testa
CONDAT GR30 EP2	Lubrificazione per guarnizioni del gruppo di trasmissione	Guarnizioni del cuscinetto e coclea

Tabella 6.3 Funzione e impiego dei grassi nella macchina

Oli di lubrificazione, fra i quali elenchiamo lo SHELL OMALA F460; in Tab. 6.4 riportiamo la funzione e dove viene impiegato tale olio.

NOME	FUNZIONAMENTO	IMPIEGO
SHELL OMALA F460	Olio per ingranaggi	Giunti

Tabella 6.4 Funzione e impiego degli oli nella macchina

La valutazione del consumo di questo olio non è stata eseguita a causa di mancanza di informazioni circa la sua sostituzione, che avviene quando si rilevano delle impurità all'interno dei serbatoi.

Miscela bicomponente, da iniettare a tergo dei conci, è una miscela formata da acqua, cemento e accelerante. La sua iniezione inizia dopo 10 cm di avanzamento effettuati e termina 10 cm dalla fine dello scavo. Riportiamo in Tab. 6.5, 6.6 e 6.7, derivanti direttamente dalle schede tecniche delle sostanze, le caratteristiche di ciascun componente della miscela bicomponente.

MALTA (COMPONENTE A)		ACCELERANTE (COMPONENTE B)		MISCELA BICOMPONENTE (A+B)	
PROPRIETA'	VALORI	PROPRIETA'	VALORI	PROPRIETA'	VALORI
Densità	< 1,3 t/m ³	Densità	< 1,4 t/m ³	Tempo di gelificazione	> 20 s
Viscosità	< 20 mPa *s	Viscosità	< 85 mPa *s	Resistenza di gel	Fluido Bingham
Ritardo	> 72 ore	Valore pH	> 10		
Sedimentazione dopo 72 ore	< 10 %				

Tabella 6.5-6.6-6.7 Caratteristiche di ciascun componente della miscela bi componente

Agente condizionante, che miscelato al materiale scavato fornisce il corretto supporto alla testa, è rappresentato dalla schiuma che è composta da aria compressa, acqua, tensioattivo (polimero 1 e polimero 2) e polimero ad alta pressione, che ha la funzione di disgregante, per evitare che si creino delle impaccature sulla testa. Riportiamo nelle tabelle seguenti, derivanti direttamente dalle schede tecniche delle sostanze, le caratteristiche di ciascun componente.

TENSIOATTIVO (RHEOSOIL N.143)		POLIMERO AP (RHEOSOIL N.214)	
PROPRIETA'	VALORI	PROPRIETA'	VALORI
Forma	Liquido	Forma	Liquido
Colore	Marrone chiaro	Colore	Chiaro giallastro
Densità (g/cm ³) a 20°C	1,042 ± 0,02	Densità (g/cm ³) a 20°C	1,27
Viscosità (mPa*s) a 20° C	< 160	Viscosità (mPa*s) a 20° C	250 ± 100
pH	7 ± 1	pH	7,3 ± 0,3

Tabella 6.8 Caratteristiche di ciascun componente impiegato per il condizionamento

Per garantire un corretto supporto al fronte di scavo il materiale appena scavato deve presentare, in camera di scavo, una densità idonea a trasmettere tale pressione ed è anche per questo motivo che il materiale scavato viene miscelato con una schiuma condizionante.

La camera di scavo dovrà essere riempita di materiale sufficientemente addensato al fine di evitare che nella camera sia presente una miscela (terreno + schiume + acqua + aria) poco densa, la quale, pur esercitando in calotta una pressione di sostegno pari a quella di progetto, determina una differenza di pressione con il fronte sempre più grande mano a mano che si scende verso l'arco rovescio. Questa differenza di pressione può generare l'estrusione della parte bassa del fronte con un conseguente aumento delle perdite di volume.

Il processo di condizionamento viene identificato dei seguenti parametri:

- F.E.R. , Foam Expansion Ratio, Fattore di Espansione che indica il volume di schiuma che si ottiene da una unità di volume di liquido (acqua+tensioattivo)
Per esempio F.E.R. pari a 1:5 vuol dire che da 1 litro di liquido si producono 5 litri di schiuma
- F.I.R. , Foam Injection Rate, Fattore di Iniezione, indica la diluizione della schiuma all'interno del materiale scavato
Per esempio dire F.I.R. = 50% vuol dire che in 100 m³ di materiale scavato vengono iniettati 50 m³ di schiuma

Bentonite, impiegata con la funzione di lubrificante per la coclea, stabilizzazione del fronte d'attacco, lubrificazione della camicia dello scudo e contro le possibili venute di acqua in galleria. È stata annoverata fra i consumi, ma il suo impiego è stato del tutto irrisorio: riporteremo quindi solo il quantitativo finale per ciascuna delle formazioni in esame.

Energia elettrica, che mette in funzione i 50 motori idraulici della macchina e consente l'azionamento di tutte le componenti elettriche della TBM.

6.2 Struttura dell'analisi

Descriviamo adesso come si è deciso di impostare l'elaborazione. Verranno eseguite 2 tipologie di analisi:

- una complessiva per ogni formazione, in cui verrà evidenziato l'andamento medio di alcuni parametri, per verificare se, quello che era stato previsto in sede progettuale, si è concretizzato poi durante lo scavo o, viceversa, ci sono stati dei comportamenti anomali.

Verrà inoltre eseguito un conteggio dei consumi, per capire, mediamente, di cosa ha bisogno la macchina per funzionare nelle argille e nelle arenarie. Al termine di questa, forniremo un intervallo di valori per i parametri analizzati, sottolineando se questi siano analoghi a quanto previsto in sede progettuale;

- una specifica per ogni formazione, verranno presi in esame gli anelli che hanno presentato le prestazioni migliori, in termini di penetrazione (mm/rot) e velocità di avanzamento (mm/min), verificando se i parametri rispecchiano l'andamento fornito nella prima parte dell'analisi oppure presentano delle diversità significative, che possano spiegare una maggiore efficienza. Onde meglio identificare ed evidenziare le condizioni che hanno caratterizzato gli anelli migliori, verranno anche analizzati gli anelli che, al contrario, hanno presentato delle prestazioni scadenti.

I risultati per entrambe le formazioni verranno poi confrontati, per identificare le differenze significative che hanno caratterizzato l'avanzamento all'interno di esse.

Prima di procedere con una spiegazione più dettagliata delle analisi, di cui sopra detto, facciamo una precisazione sulle unità di misura che verranno impiegate:

- si farà riferimento a quelle impostate in macchina e quindi, non necessariamente, quelle del Sistema internazionale (come ad esempio, le pressioni vengono fornite in bar);
- con l'indicazione "anello" intendiamo sempre 2 metri di avanzamento.

6.2.1 Analisi complessiva per ogni formazione

In questa parte dell'analisi verificheremo l'andamento e i consumi medi della macchina, durante l'attraversamento di ciascuna delle formazioni interessata dallo scavo, confrontando tale andamento con la previsione fatta in sede progettuale.

Torniamo a sottolineare che, poiché le formazioni delle BAP, Breccie Argillose Poligeniche, e MOV, Formazione di Montevenere, non sono state intercettate al termine dell'elaborazione di questa tesi, verranno prese in esame solo le APA, Argille a Palombini, e la SCB, Arenarie tipo Scabiazza.

I parametri che sono stati esaminati sono i seguenti:

- **TEMPISTICHE**, si riportano i tempi necessari allo svolgimento delle singole attività previste, come tempo di inizio e di fine, di avanzamento e di fermo, di montaggio dell'anello vero e proprio e totale; in questa analisi non sono stati considerati i prolungati

periodi di fermo, per rotture o malfunzionamenti, in quanto avrebbero falsato in maniera significativa l'analisi che ci proponiamo di fare;

- **TESTA DI SCAVO**, consideriamo i parametri di avanzamento della macchina che generalmente vengono monitorati, fra i quali velocità di avanzamento (mm/min), penetrazione (mm/rot), forza di spinta (kN), forza di contatto (kN) e pressione in calotta (bar);
- **NASTRO TRASPORTATORE**, consideriamo il peso del materiale da smarinare (t), misurato mediante le 2 bilance posizionate sul nastro, eseguendo, se necessario, un confronto con il valore di densità letto e volume di materiale scavato;
- **INIEZIONE A TERGO DEI CONCI**, consideriamo i quantitativi (m³) della malta e dell'accelerante, iniettati per ciascuna delle 12 linee, e le pressioni (bar) che hanno caratterizzato le linee superiori (1-4 e 9-12) e quelle inferiori (5-8); eseguiamo un confronto fra il volume di miscela bi componente teorica da iniettare e volume effettivamente iniettato;
- **CONDIZIONAMENTO DEL MATERIALE**, prendiamo in esame i quantitativi iniettati (m³) di tensioattivo (proveniente da 2 serbatoi), polimero ad alta pressione e acqua (presente nelle schiume e quella direttamente iniettata nello statore), i valori di FIR e FER e il valore di pressione (bar) massimo registrato sulle 20 linee di iniezione della miscela condizionante;
- **CONSUMO DI GRASSO**, comprende il quantitativo (kg) di grasso per le spazzole di coda pompato da ognuna delle 3 pompe predisposte a questo e i quantitativi (kg) di grassi impiegati per la lubrificazione delle varie guarnizioni, labirinti ed ingranaggi, sopra citati;
- **ENERGIA ELETTRICA**, consideriamo il consumo di energia elettrica (kWh).

In Tab 6.9 riportiamo l'indicazione del valore considerato per ognuna delle grandezze sopra indicate.

PARAMETRI ANALIZZATI	
TEMPISTICHE	<i>file average</i>
PARAMETRI TESTA DI SCAVO	<i>file average</i>
NASTRO TRASPORTATORE	<i>file max</i>
PRESSIONE INIEZIONE LINEE	<i>file average</i>
PARAMENTRI CONDIZIONAMENTO	<i>file average</i>
CONSUMI	<i>file max</i>

Tabella 6.9 Indicazione dei file da cui sono stati estrapolati i valori di ciascun parametro

Sono stati calcolati ulteriori parametri, fra i quali:

- Rapporto tra il tempo di scavo e di posa dell'anello di rivestimento permette di condurre valutazioni sul livello di sistematicità dell'avanzamento.

$$\text{LIVELLO DI AVANZAMENTO} = \frac{\text{TEMPO SCAVO}}{\text{TEMPO POSA ANELLO}} \quad (6.1)$$

- Rapporto tra fermi (montaggio dell'anello e veri e proprio fermi) e ciclo di avanzamento permette di evidenziare il "livello di efficienza" del sistema e consente effettivamente di valutare quanto effettivamente abbiamo scavato rispetto al tempo totale relativo un anello.

$$\text{LIVELLO DI EFFICIENZA} = \frac{\text{TEMPO FERMO}}{\text{TEMPO TOTALE}} \quad (6.2)$$

Inoltre, fra i parametri maggiormente utilizzati per verificare l'andamento di una TBM sono senz'altro presenti:

- Avanzamento giornaliero ([m/giorno] o [anelli/giorno]): è il computo dei metri di galleria scavati, non in riferimento al tempo effettivo di scavo, ma durante una intera giornata lavorativa. Non misura quindi la prestazione pura dello scavo ma l'efficienza complessiva del ciclo produttivo. Se conosco il numero di anelli montati giornalmente, necessariamente conosco anche i metri di galleria scavati in una giornata lavorativa.
- Coefficiente di utilizzazione (CU [%]): è dato dal rapporto tra il tempo di produzione e il tempo totale lavorato. Per tempo di produzione si intende il tempo di scavo effettivo durante il quale la TBM attacca il fronte di scavo. Il tempo totale lavorato è invece la somma dei tempi di turno lavorati.

$$C_u = \frac{\text{TEMPO SCAVO}}{\text{TEMPO TOTALE}} \quad (6.3)$$

- Fresabilità [(mm/giro)/MN]): comunemente è l'indice principale della capacità di una TBM di fresare una determinata roccia ed è individuato dalla velocità di penetrazione (mm per giro della testa) che la TBM riesce a sviluppare in rapporto alla spinta, come si evince dalla formula seguente, ma, nel caso in esame, rappresenta, più genericamente, la difficoltà ad avanzare in un certo tipo di terreno in relazione al tipo di scelta progettuale fatta, in termini di tipologia di macchina, condizionamento del materiale e forza di spinta impressa.

$$F = \frac{\text{PENETRAZIONE}}{\text{SPINTA}} \quad (6.4)$$

- confronto fra pressione di iniezione della malta e media dei sensori di pressione di terra in camera di scavo: per riuscire ad iniettare la malta, all'interno dell'intercapedine rivestimento/terreno, è necessaria una pressione tale da vincere le eventuali convergenze di

un materiale debole, a cui corrispondono, delle pressioni in camera notevoli, a loro volta sintomo di forze di spinta elevate per il sostegno del fronte. La pressione di iniezione della malta deve, quindi, superare quella delle pressioni di terra almeno di 1 bar affinché si possa essere certi di aver realizzato un corretto *back filling*. Inoltre, una pressione maggiore, consente che, mentre si inietta, il materiale venga spazzato via dando la possibilità alla malta di penetrare nelle fessure e riempire in maniera ottimale il gap anulare.

Sono stati realizzati dei grafici che riportano l'andamento complessivo di tutte queste grandezze e per avere una visione zoomata ne sono stati realizzati altrettanti ogni 10 anelli, vale a dire 20 metri.

Mediante un confronto con i valori previsti in sede progettuale, abbiamo verificato, per i parametri che ci sono indispensabili per fornire le indicazioni prestazionali della macchina, per ciascuna formazione, che questi fossero coerenti con quello riscontrato durante l'avanzamento, anche mediante l'ausilio dei grafici, che forniscono sicuramente una visuale più chiara dell'andamento.

In particolare abbiamo identificato dei *range* medi, per ciascuna formazione, per i seguenti parametri:

- velocità di avanzamento (mm/min);
- penetrazione (mm/rot);
- forza di spinta (kN);
- pressione in calotta (bar);
- materiale smarinato (t);
- pressione 113i componente (bar);
- volume iniezione 113i componente (m³);
- FIR (%) e FER (1:x);
- consumi di malta A (m³), accelerante B (m³), polimero (serb 1) (m³), polimero (serb 2) (m³), polimero ap (m³), acqua schiume (m³), acqua statore (m³), grasso Condat GR 30 EP2 (kg), grasso Condat HBW (kg), grasso Condat WR89 (kg), energia elettrica (kWh).

Tali *range* ci serviranno nella seconda parte della nostra elaborazione in quanto saranno confrontati con i quelli identificati per gli anelli ritenuti i migliori/peggiori, per ciascuna formazione, in termini prestazionali.

6.2.2 Analisi specifica per ogni formazione

In questa fase dell'analisi eseguiremo la verifica delle *performance* raggiunte dalla macchina in quelli che, a parere nostro, sulla base dei valori di penetrazione (mm/rot) e velocità di avanzamento (mm/min), sono gli anelli migliori di ciascuna formazione attraversata.

Le grandezze penetrazione e velocità di avanzamento derivano direttamente dal *file average* della macchina, vale a dire al netto dei tempi di fermo, dovuti sia al montaggio dell'anello, sia a momentanei stop della macchina: prendiamo in esame questo tipo di grandezza per verificare in effetti, se la macchina non si fosse mai fermata, che prestazioni avremmo raggiunto.

Saranno anche brevemente analizzati, onde meglio mettere in evidenza le migliori *performance* raggiunte, gli anelli che sono stati caratterizzati, invece, da peggiori valori di velocità di avanzamento e penetrazione, sempre al netto dei tempi di fermo.

L'analisi verrà svolta analogamente alla precedente, considerando i medesimi parametri, ma i risultati saranno riferiti ad un unico avanzamento; i dati derivano direttamente dal *file process* della macchina, vale a dire, per ogni parametro ho un valore ogni 10 secondi, fino al termine del montaggio dell'anello in esame.

I parametri elaborati prenderanno in considerazione la fresabilità e il parametro rollio, che rappresenta la rotazione dello scudo, misurata in mm, rispetto all'avanzamento della macchina, misurato in m. Generalmente è un valore che si cerca di contenere e qualora raggiunga valori superiori a 7 e inferiori a -7, la macchina viene arrestata per tentare di ridurre questo fenomeno. I valori negativi rappresentano una la rotazione antioraria dello scudo, e quindi una rotazione oraria della testa, mentre la rotazione oraria dello scudo, cioè antioraria della testa, è rappresentata da valori positivi. Ci fornisce indicazioni sull'eventuale presenza di problematiche nell'avanzamento e se sia stato necessario, da parte del pilota, prendere degli accorgimenti in merito.

Livello di avanzamento, livello di efficienza e coefficiente di utilizzazione verranno solamente tabellati, perché nel caso di un unico anello, forniscono un unico valore.

Per ognuna delle formazioni, saranno analizzati 9 anelli migliori/peggiori, mettendo a confronto i risultati ottenuti, in questa parte dell'elaborazione, con quelli dell'analisi complessiva e verificando, o meno, se questi presentano il medesimo andamento oppure sono presenti delle anomalie che possano spiegare la loro eccezionalità.

6.3 Analisi della formazione delle Argille a Palombini

6.3.1 Range individuati per la Formazione delle Argille a Palombini

La formazione delle Argille a Palombini si estende per circa 400 metri, nella prima porzione della galleria e comprende gli anelli dal n° 1 al n° 191. Il tempo totale impiegato per lo scavo di questa tratta, senza considerare i prolungati periodi di fermo, è pari a 79 giorni (inizio dello scavo in data 26 Agosto 2011 e passaggio di formazione realizzato il 12 Gennaio 2012).

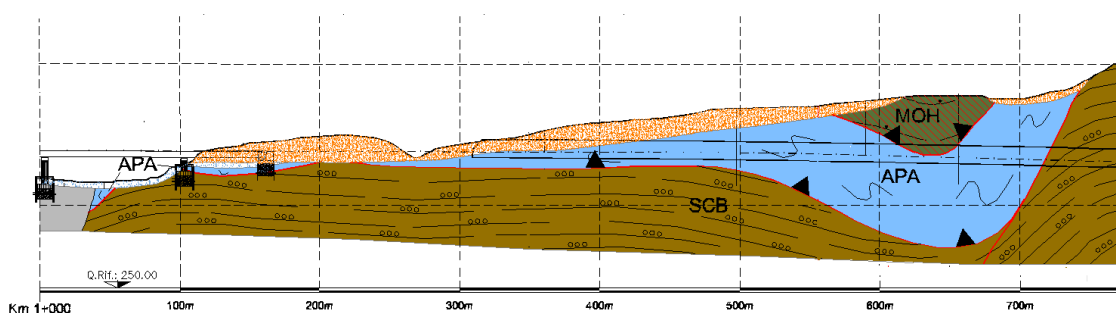


Figura 6.3 Formazione delle Argille a Palombini – APA per la quale è stata realizzata l’analisi [29]

La Tab. 6.1A riassume le caratteristiche appena citate.

APA – ARGILLE A PALOMBINI	
LUNGHEZZA TRATTA (m)	382
NUMERO ANELLI (n°)	191
TEMPO EFFETTIVO DI SCAVO (gg)	79

Tabella 6.1° Caratteristiche della formazione delle Argille a Palombini

In Allegato A sono riportati i dati che ci hanno consentito di realizzare i grafici che verranno riportati di seguito, necessari per verificare l’andamento complessivo realizzato dalla macchina all’interno di questa formazione.

La formazione delle Argille a Palombini ha presentato diverse problematiche durante lo scavo, non solo, perché la prima che la macchina si è trovata a dover affrontare e sulla quale doveva essere “testata”, ma anche perché, come più volte ripetuto, strutturalmente molto complessa.

Come è possibile notare, da un’analisi complessiva delle tempistiche, la macchina è stata caratterizzata da notevoli momenti di fermo, dovuti in parte a problematiche legate al materiale

che si stava scavando e in parte a problemi logistici e meccanici che si sono presentati nella macchina. Come già detto, non sono stati considerati i periodi prolungati di fermo, necessari per eseguire delle verifiche accurate, a seguito di forti pressioni presenti al fronte, che avrebbero del tutto falsato l'analisi che di seguito proponiamo.

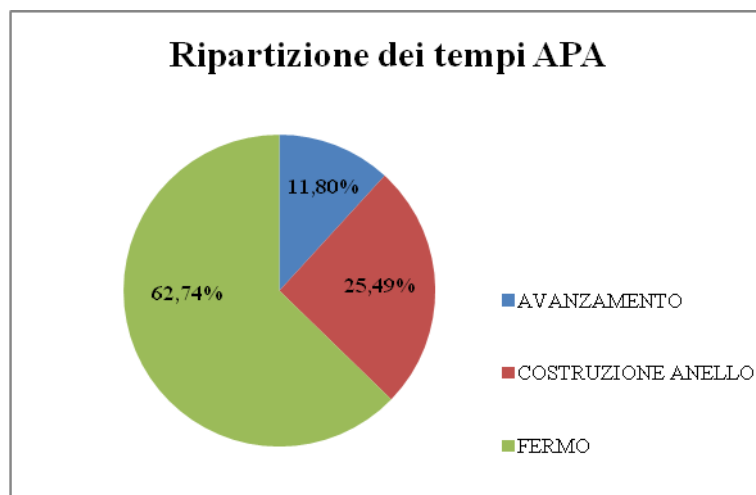


Grafico 6.1° Ripartizione delle tempistiche nella formazione APA

Per quanto riguarda l'avanzamento, valutato in anelli/ giorno montati, è andato via via incrementandosi con il procedere dello scavo, così come si evince dal Grafico 6.2A: durante le fasi iniziali di perforazione il numero di anelli posizionati non superava il 2, mentre nella parte finale della tratta si sono raggiunti anche gli 8 anelli montati in un'unica giornata lavorativa. In sede progettuale, si era parlato di una media di 5 anelli al giorno per questo tipo di formazione, che è stata ampiamente soddisfatta dopo l'inizio di ottobre.

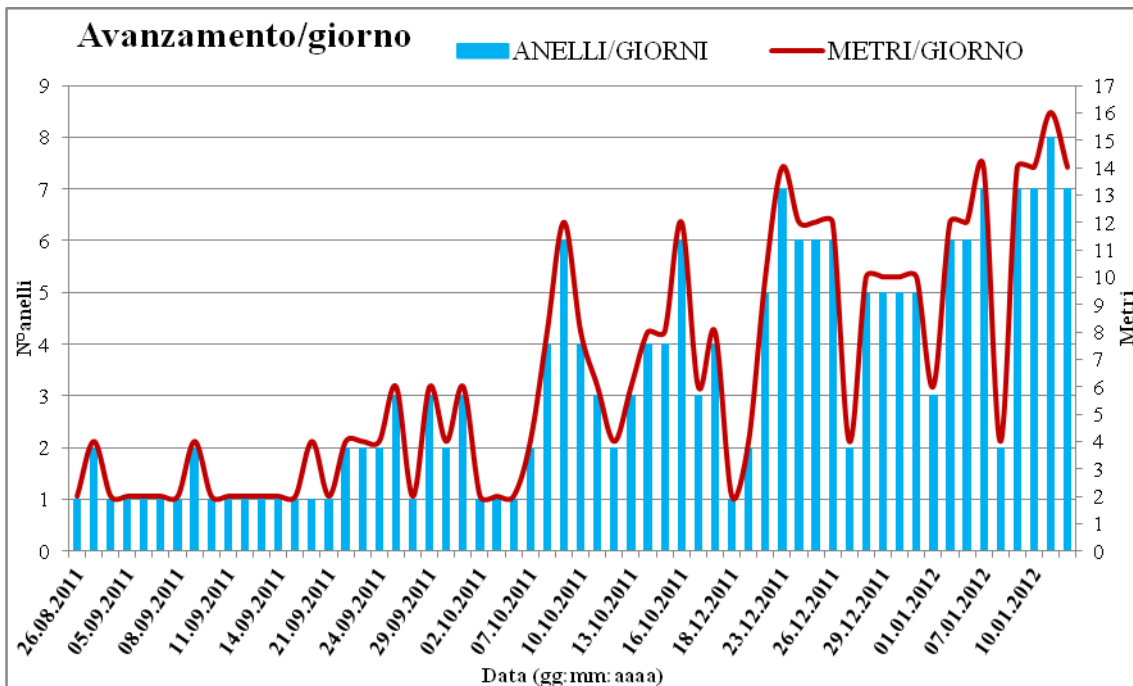


Grafico 6.2A Avanzamento in anelli/giorno e metri/giorno per la formazione APA

Le grandezze che esamineremo di seguito, fatta eccezione per i consumi e i quantitativi totali di materiale smarinato, sono derivanti direttamente del *file average* della macchina, vale a dire sono al netto dei tempi di fermo, come se la macchina avesse scavato di continuo e non considerassimo il montaggio dell'anello. In questo modo è possibile individuare quali problematiche in effetti sono associate al tipo di materiale che stiamo perforando.

I Grafici 6.3A e 6.4A riportano l'andamento dei parametri che esprimono le prestazioni raggiunte dalla macchina in questa formazione: penetrazione (mm/rot) e velocità di avanzamento (mm/min), grandezze già citate nell'ambito delle previsioni delle *performance* di TBM e posseggono un andamento simile, in quanto fra esse legate mediante il numero di giri effettuato dalla testa (rpm).

Nel caso della penetrazione sono stati riportati anche i valori minimo e massimo previsti in fase progettuale, che consentono visivamente di capire se le *performance* della macchina, nelle Argille a Palombini, sono state soddisfacenti o meno: in corrispondenza dei primi anelli, il valore è rimasto al di sotto delle previsioni, per poi crescere in prossimità dell'anello n° 24 e assestarsi entro il *range* proposto, fatta eccezione per alcuni picchi in cui si sono raggiunti valori molto elevati. Oltre l'anello n°170, tali picchi si sono intensificati, sottolineando un miglioramento netto e deciso delle prestazioni della TBM.

Analoghe considerazioni possono essere fatte per la velocità di avanzamento, per cui era stato indicato solo un valore medio, corrispondente a 18 mm/min.

In entrambi i grafici sono presenti dei valori nulli in prossimità degli anelli:

- 85, per il quale si è verificato un periodo di fermo prolungato e, come abbiamo già sottolineato in precedenza, abbiamo deciso di non inserirlo all'interno dell'analisi;
- 101, 102, 104 e 105, per i quali si è verificato un problema nell'acquisizione dei dati, quindi i *file* di *output* della macchina non sono stati realizzati dal *software* di gestione dei dati.

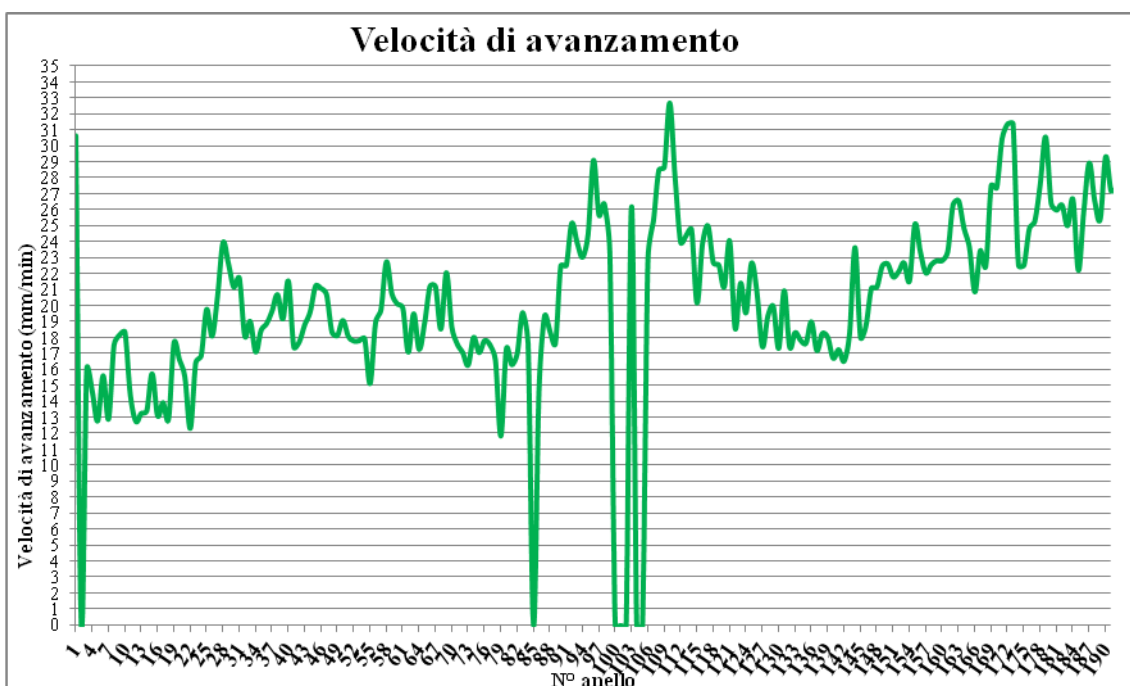


Grafico 6.3A Velocità di avanzamento netto (mm/min) realizzato dalla macchina nella formazione APA

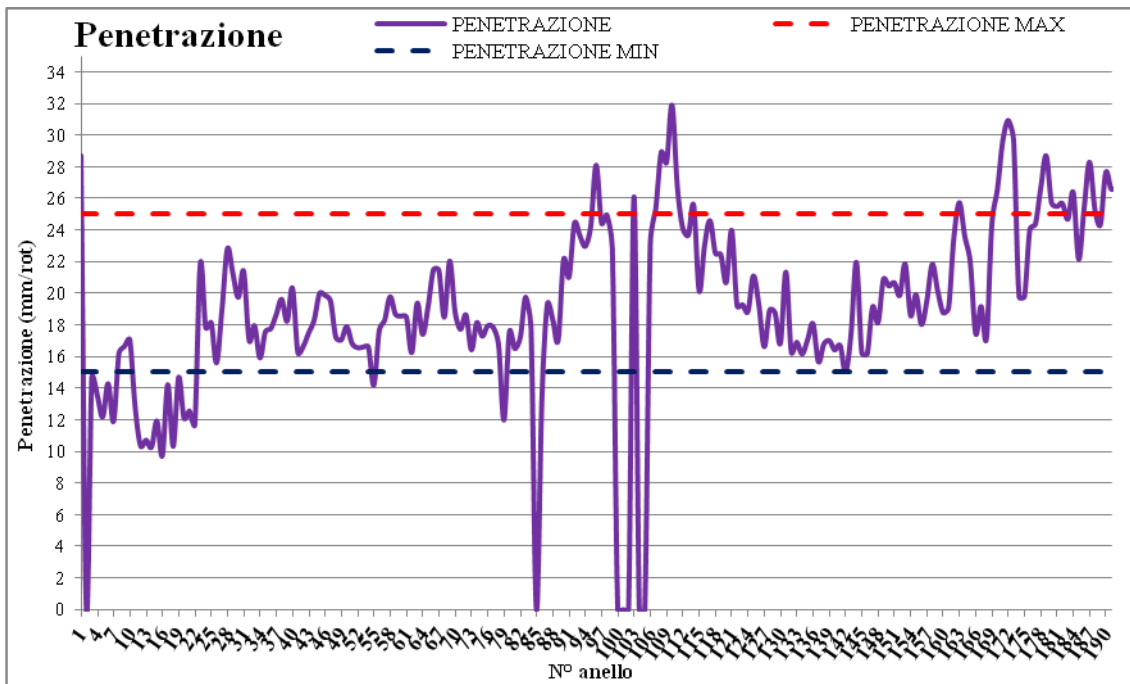


Grafico 6.4A Andamento della penetrazione netta (mm/rot) nell'ambito della formazione APA

Un altro parametro che riteniamo di grande importanza è la forza di spinta, o anche detta forza di avanzamento, che rappresenta la forza che i martinetti riescono complessivamente a sviluppare; consente alla macchina di:

- avanzare, trascinandosi dietro il peso del *back-up*;
- vincere gli attriti fra scudo e terreno e gli attriti derivanti dalle spazzole con il contorno di scavo;
- sostenere il fronte e consentire, al contempo, lo scavo vero e proprio.

Tanto è maggiore, tanto più la macchina avanzerà velocemente e, solitamente, è dipendente della resistenza del materiale, in quanto, è vero che deve aumentare in corrispondenza di una formazione più dura, ma, è anche vero, che in questa condizione il fronte si auto sostiene. Per la formazione in esame, caratterizzata da scarsa resistenza e instabilità del fronte, l'andamento è quello riportato di seguito (Grafico 6.5A): nella parte antecedente all'anello n° 85, benché la forza di spinta fosse considerevole, non si sono raggiunte prestazioni ottimali, a differenza della seconda porzione delle Argille a Palombini, in cui, con un corrispettivo valore più basso, sono stati raggiunti dei valori significativi di avanzamento. Causa di tutto questo, il materiale complesso ed instabile che caratterizza questa formazione, che ha comportato impaccamenti

sulla testa e problematiche allo scavo, nella prima parte. Il *range* fornito in sede progettuale, poiché piuttosto ampio, è stato comunque rispettato lungo tutta la formazione.

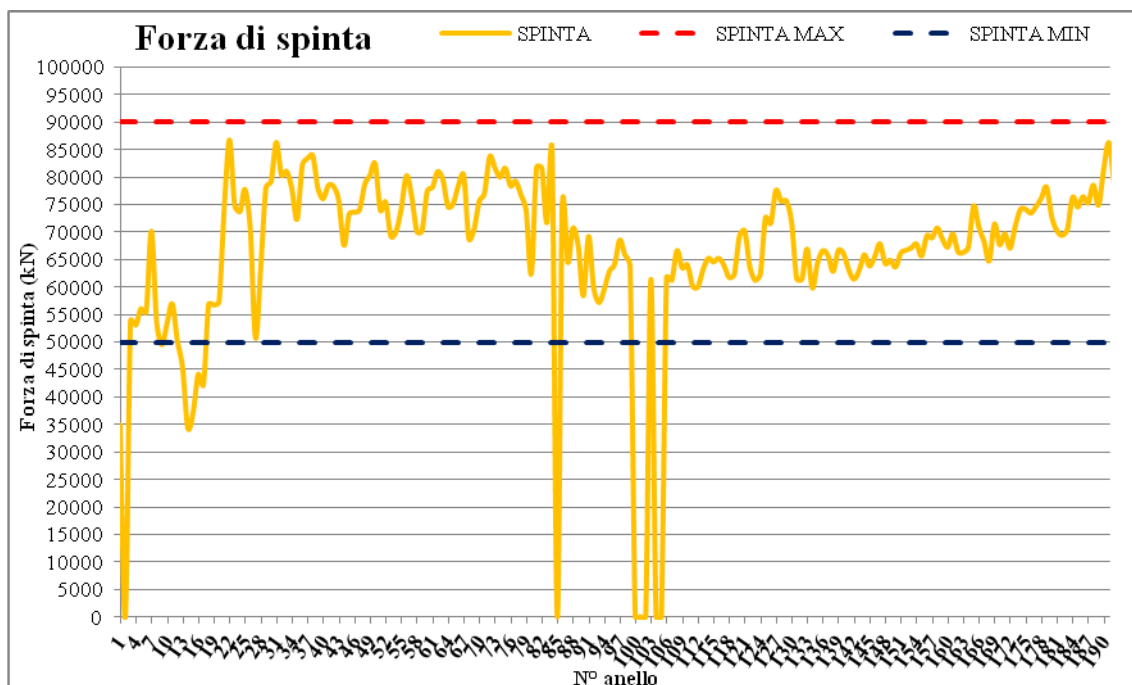


Grafico 6.5A Andamento della forza di spinta (kN) nell'ambito della formazione APA

La forza di contatto, rappresenta la vera e propria forza necessaria allo scavo, cioè quella di cui hanno bisogno gli utensili per disgregare il materiale con cui sono a contatto. Quota parte della forza di spinta, fornisce indicazioni sulla facilità o meno che la macchina possiede per scavare quel certo tipo di formazione. È una grandezza caratterizzata da forti oscillazioni quindi non sempre è di facile interpretazione.

Il Grafico 6.6A ci mostra come, fino all'anello n°85, questa grandezza si sia assestata su valori superiori a 35000 kN, per poi decrescere e assestarsi in un *range* compreso fra 7500-12500 kN: per quanto questo sia un parametro fortemente variabile, risulta chiaro che, per la porzione iniziale della tratta in esame, siano state necessarie delle forze considerevoli per disgregare il materiale e consentire alla macchina di avanzare. Generalmente è una grandezza che viene tenuta al di sotto dei 35000 kN, ulteriore riprova che la situazione, dall'anello n°1 all'anello n° 85, ha presentato problematiche non di poco conto.

Successivamente i valori si sono stabilizzati in un intervallo più basso, in corrispondenza del quale le spinte di avanzamento si sono abbassate e la macchina ha realizzato le performance migliori.

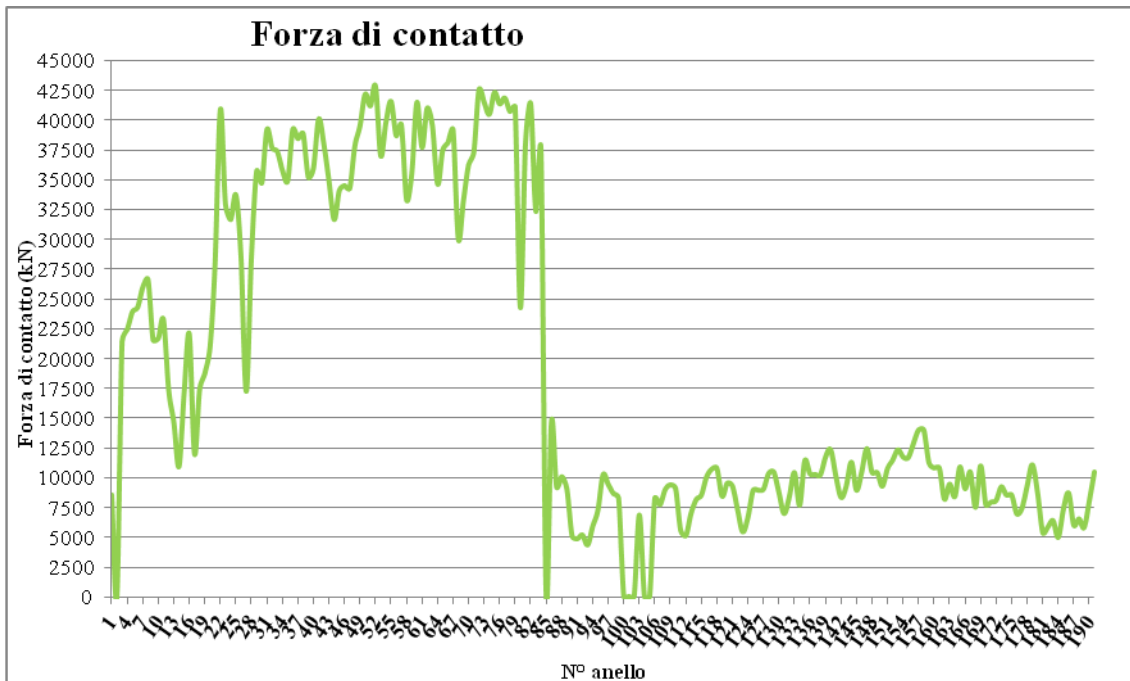


Grafico 6.6A Andamento della forza di contatto (kN) nell'ambito della formazione APA

L'andamento della pressione della camera di scavo, misurata in bar, in corrispondenza della calotta della macchina (*average top pressure*), consente 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).

Il *range* di valori, fornito in sede progettuale, non è stato rispettato, sottolineando la presenza di pressioni in calotta superiori rispetto a quelle previste, dovute in parte al materiale che ci troviamo a scavare e in parte alle sostanze che utilizziamo per il condizionamento. Inoltre pressioni così alte sottolineano la necessità, per lo meno nella prima parte della tratta, di utilizzare delle forze di spinta considerevoli, non tanto, per riuscire a scavare il materiale, quanto per mantenere stabile il fronte (considerazione già verificata con il Grafico 6.5A).

Per questo parametro proporremo un aggiustamento del *range*, in relazione a quello che abbiamo appena verificato graficamente.

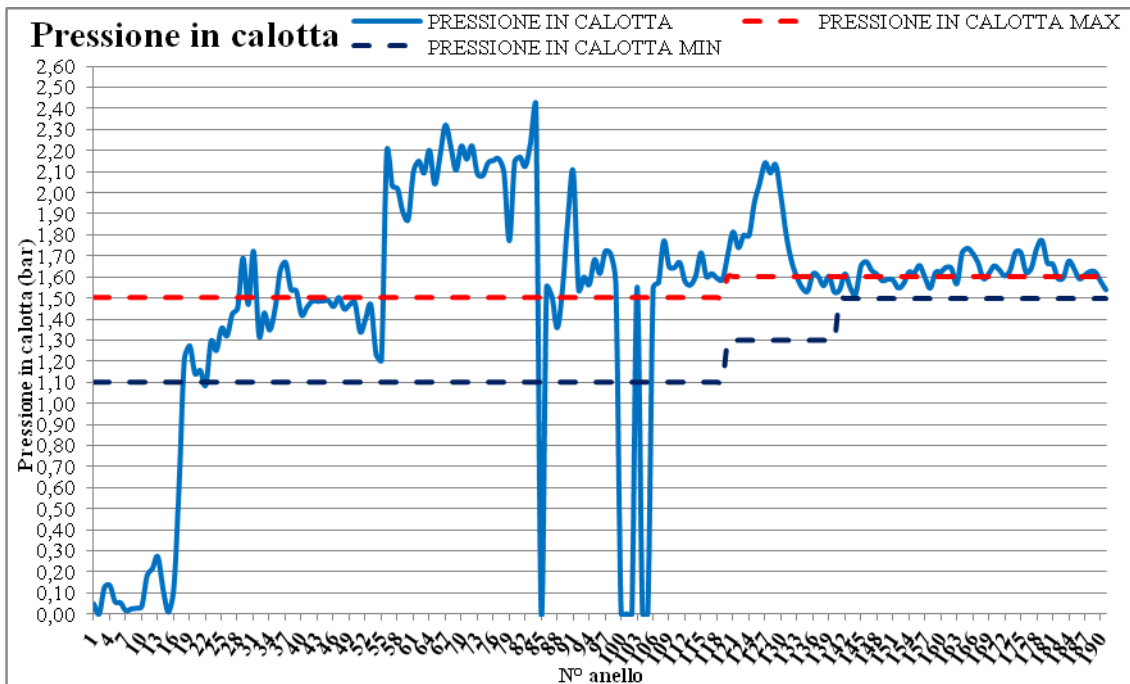


Grafico 6.7A Andamento della pressione in calotta (bar) nell'ambito della formazione APA

A partire dal volume di materiale scavato, durante ogni *step* di avanzamento, può essere valutato l'eventuale prodursi di sovrascavi o vuoti al contorno del profilo di scavo, così da predisporre il corretto quantitativo di malta cementizia per le iniezioni a tergo del rivestimento.

La verifica del peso del materiale scavato avviene, come precedentemente detto, mediante un sistema a due bilance, poste sul nastro trasportatore, più l'ausilio di una terza bilancia, posta nella parte esterna del nastro, in prossimità della discarica provvisoria, che nell'ambito di questa analisi non impiegheremo. In funzione della densità del materiale scavato e del volume di scavo previsto per ogni *step* di avanzamento, calcolati, il primo, mediante dei sensori di consistenza posti in camera di scavo e, il secondo, indirettamente dal peso e dalla densità, è stato valutato il quantitativo di materiale che deve essere estratto per ogni anello di rivestimento posizionato; mettiamo in evidenza che i sensori di consistenza non sono sempre molto attendibili e che, i risultati che impiegano questi valori, devono essere pesati di conseguenza. Eventuali variazioni del peso previsto possono essere associate, oltre alla presenza di sovrascavi o vuoti, anche al mal funzionamento delle due bilance. Un ulteriore controllo viene eseguito monitorando le vasche di raccolta del materiale, presenti nella discarica provvisoria.

Il Grafico 6.8A mostra il peso massimo di materiale smarinato per ogni anello presente nella formazione delle Argille a Palombini. Come possiamo vedere è presente un unico picco significativo, associabile ad un mal funzionamento delle bilance, in quanto, per questa tratta il

peso del materiale da smarinare previsto è compreso fra 900-1000 t, non considerando il peso dovuto all'acqua presente nel materiale estratto.

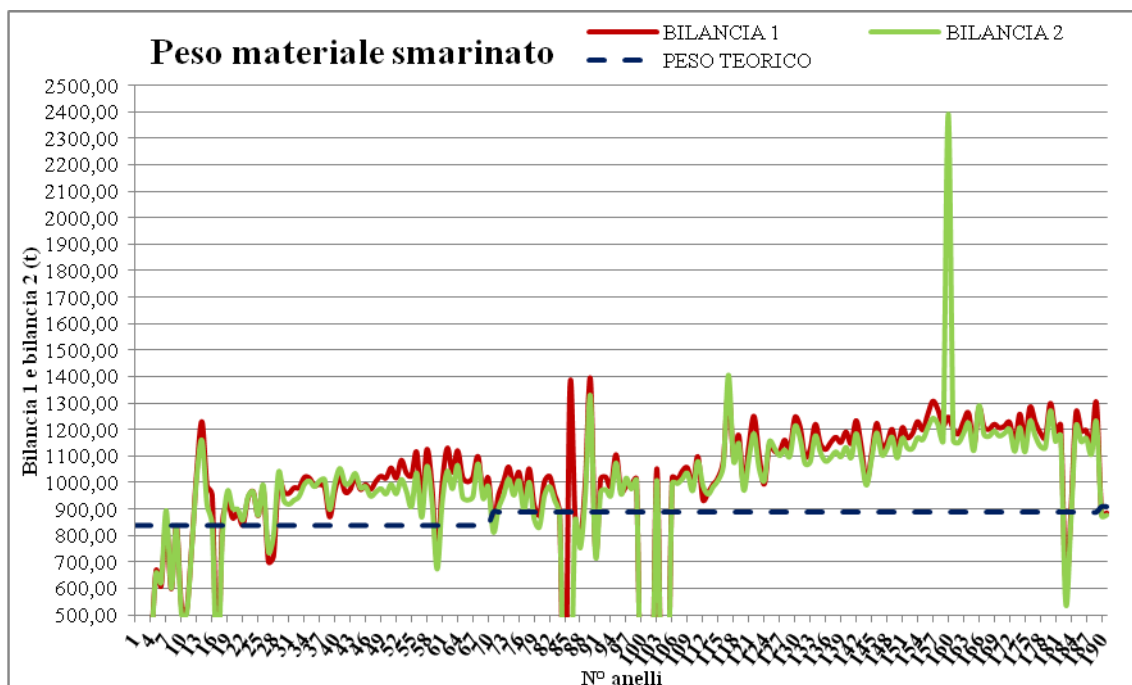


Grafico 6.8A Peso del materiale smarinato (comprensivo di acqua) nell'ambito della formazione APA

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

Nel nostro caso, anziché esaminare la pressione per ogni iniettore, abbiamo analizzato la pressione di iniezione della miscela cementizia per le linee superiori (1-4 e 9-12) e per le linee inferiori (solo le linee 5 e 8 perché le linee 6-7 sono spente, essendo quelle presenti nella parte inferiore della macchina).

Viene fornito un unico *range* di valori per la pressione di iniezione della miscela cementizia che, come è possibile verificare dal Grafico 6.9A, non è stato quasi mai rispettato, in quanto i valori oscillano attorno al valore massimo.

I valori più alti possono essere associati ad eventuali intasamenti delle linee, che, successivamente alla fase di scavo, dovranno subire una pulizia.

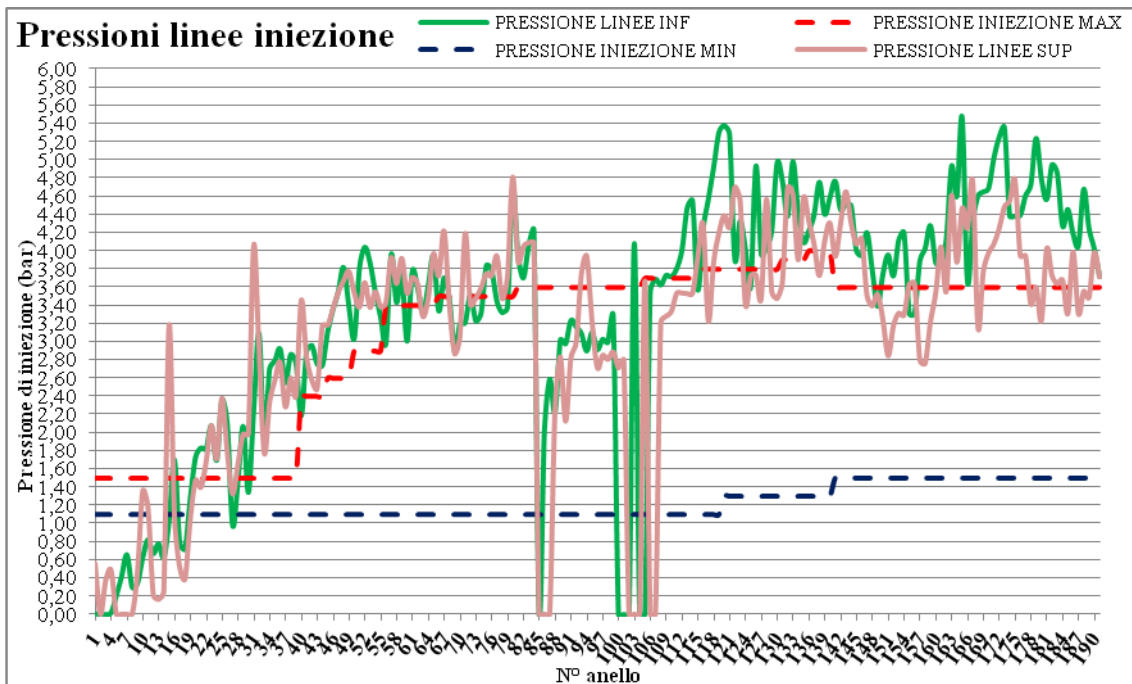


Grafico 6.9A Andamento della pressione delle linee di iniezione della miscela cementizia (bar) superiori ed inferiori nell'ambito della formazione APA

Gli andamenti del F.I.R., Fattore di Iniezione, che indica la diluizione della schiuma all'interno del materiale scavato e F.E.R., Fattore di Espansione, volume di schiuma che si ottiene da una unità di volume di liquido (acqua + tensioattivo), ci forniscono un'indicazione sul condizionamento del materiale.

Per questi valori sono stati forniti dei *range*, ma del tutto indicativi, in quanto, fin dalle prime fasi di scavo, era stata evidenziata la difficoltà di stimare a priori il valore di queste grandezze.

Infatti, come è possibile riscontrare nei Grafici 6.10A e 6.11A, solo per alcuni anelli, il condizionamento è stato realizzato come previsto, mentre, per gli altri, il FIR e il FER sono stati caratterizzati da notevoli aumenti, dovuti ad una maggiore difficoltà nell'avanzare all'interno della formazione e, conseguentemente, nel realizzare un condizionamento ottimale.

In particolare, per quanto riguarda il Fattori di Iniezione, è possibile notare un'impennata dei valori durante le fasi iniziali e in prossimità dell'anello n° 55 fino all'anello n°85, a cui corrisponde un prolungato periodo di fermo.

Il Fattore di Espansione, invece, è rimasto sempre al di sotto dei valori limite proposti, fatta eccezione, come visto per il FIR, della tratta dall'anello n° 55 all'anello n° 85.

Forniremo più avanti dei *range* per questi due parametri, sottolineando, però, che il condizionamento non può essere stabilito con certezza a monte dello scavo di una certa

formazione, in quanto, come evidenziato più volte, non sappiamo che cosa andremo a scavare e come il terreno si comporterà una volta attraversato dalla TBM.

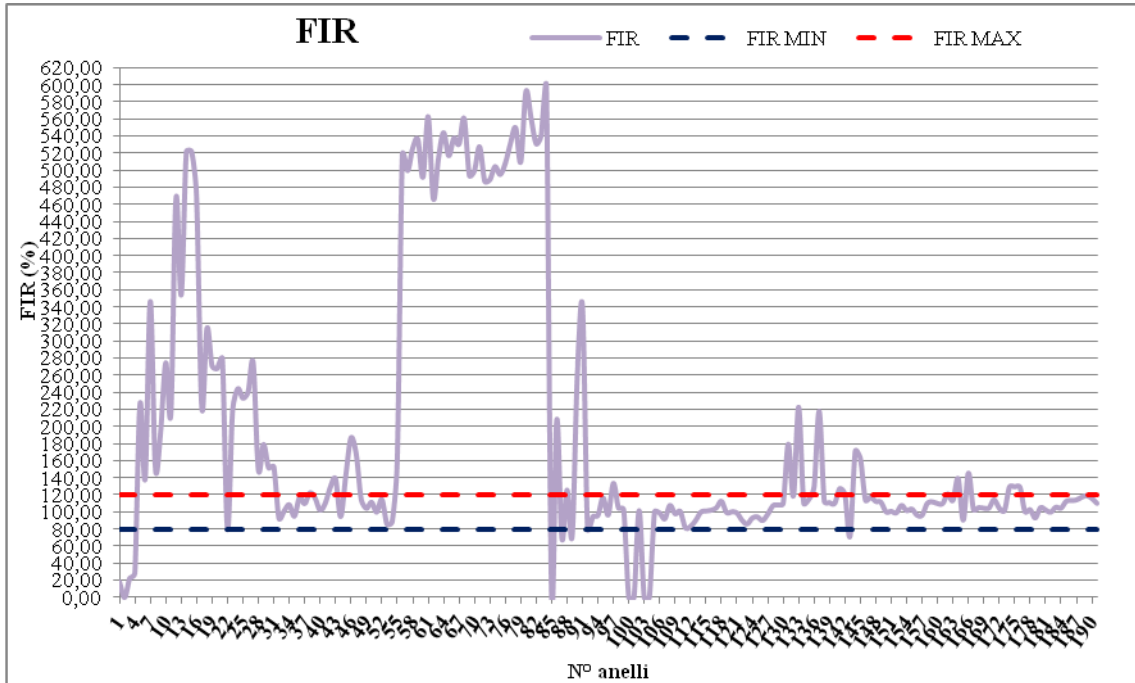


Grafico 6.10A Andamento del FIR (%), *Foam Injection Rate*, nell'ambito della formazione APA

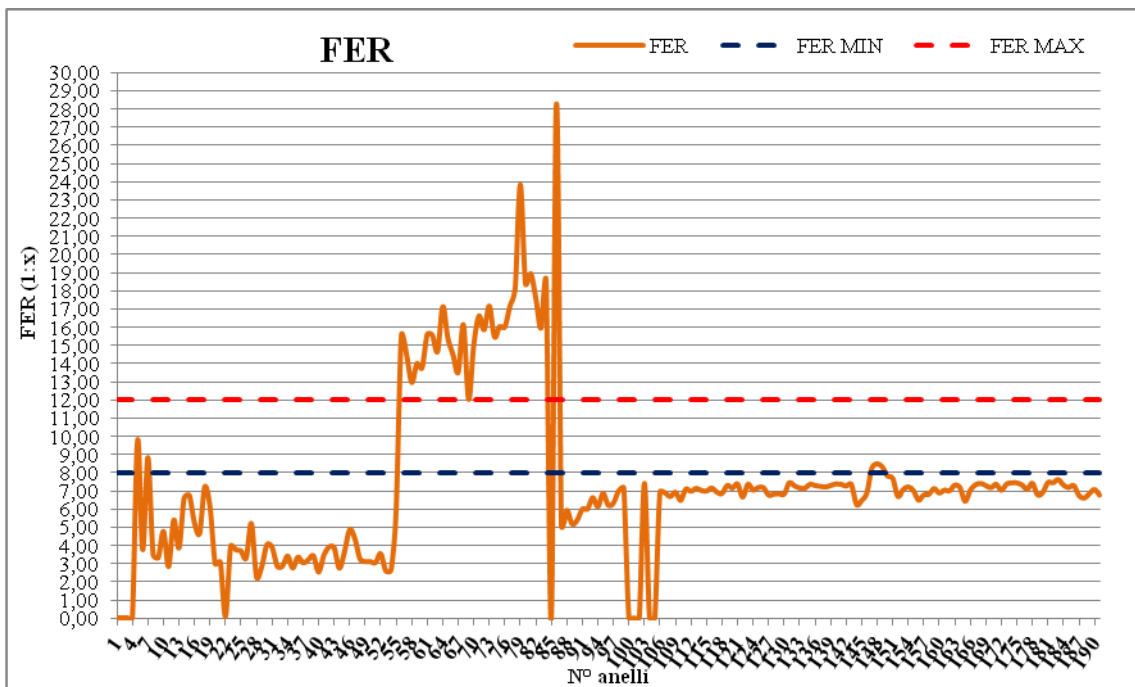


Grafico 6.11A Andamento del FER (1:x), *Foam Expansion Ratio*, nell'ambito della formazione APA

I grafici seguenti riportano, invece, i consumi che hanno caratterizzato lo scavo nella formazione delle Argille a Palombini.

La prima serie di grafici (6.12A, 6.13A e 6.14A) prende in esame il consumo di miscela bicomponente che viene iniettata a tergo dei conci, caratterizzata in prevalenza da malta e, con un dosaggio medio del 6,5%, di accelerante. Il volume teorico di miscela da iniettare, pari a 29,5 m³, è stato stimato come di seguito:

$$V_{TEORICO} = \left(\left(\frac{D_{SCAVO}}{2} \right)^2 * \pi * l_{CONCIO} \right) - \left(\left(\frac{D_{ESTRADOSSO CONCIO}}{2} \right)^2 * \pi * l_{CONCIO} \right) \quad (6.5)$$

In cui

D_{SCAVO} pari a 15,615 m

l_{CONCIO} pari a 2 m

D_{ESTRADOSSO CONCIO} pari a 15 m

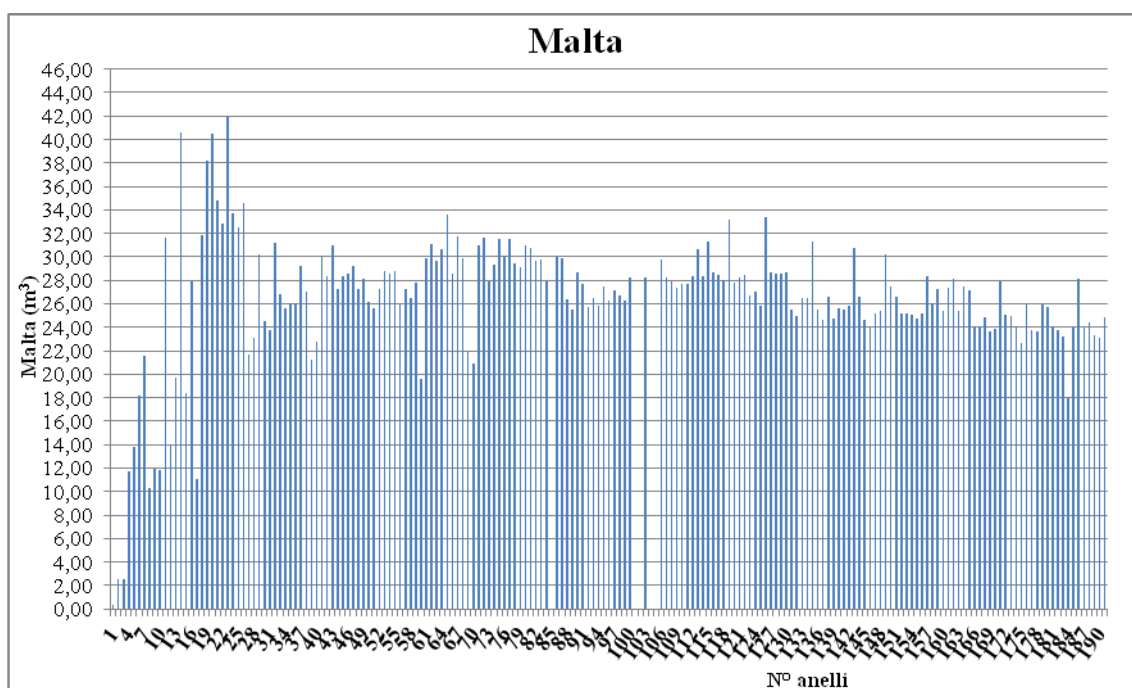


Grafico 6.12A Quantitativo di malta iniettata nell'ambito della formazione APA

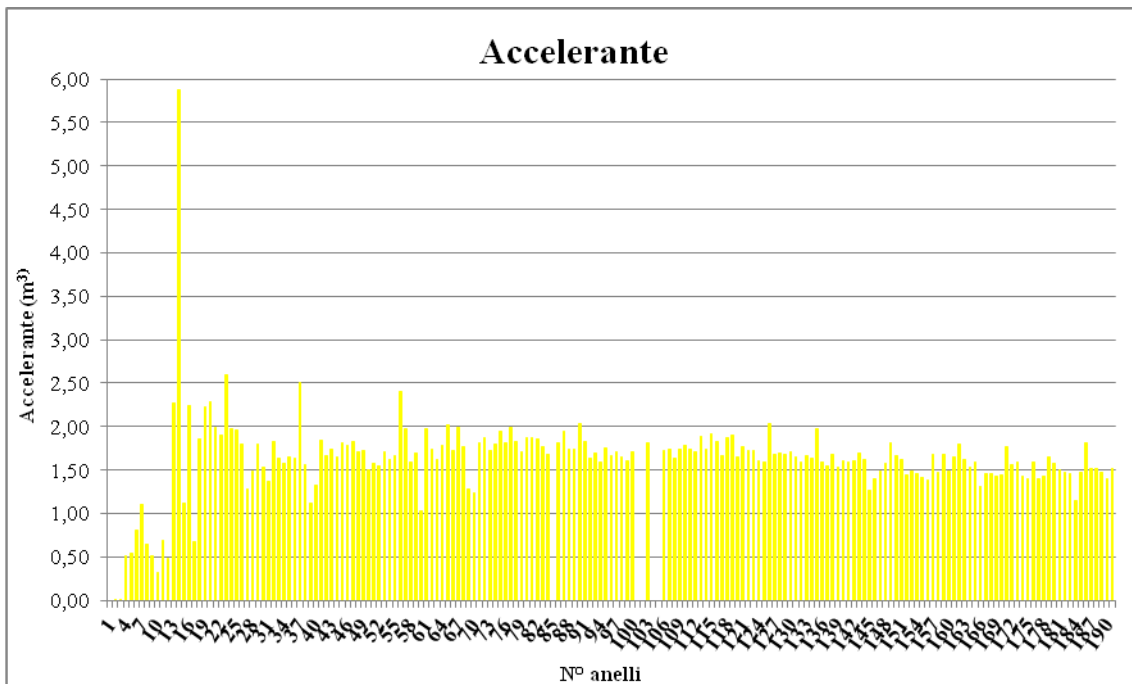


Grafico 6.13A Quantitativo di accelerante iniettato nell'ambito della formazione APA

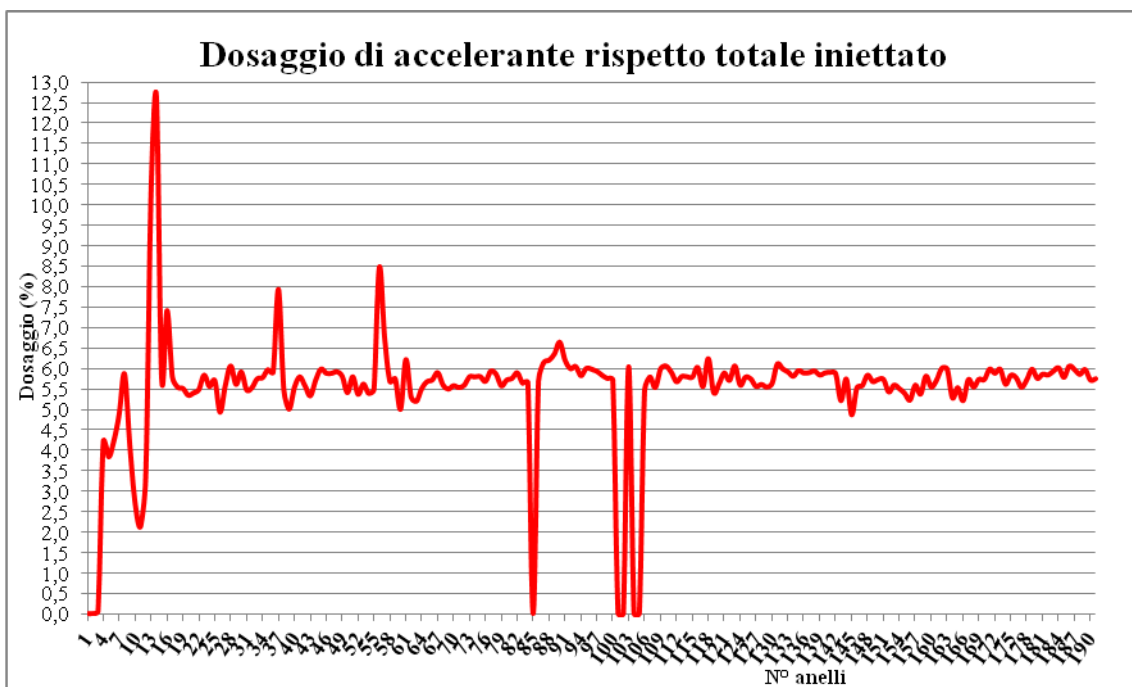


Grafico 6.14A Dosaggio di accelerante iniettato rispetto al totale della miscela bi componente nell'ambito della formazione APA

I valori di picco nel valore totale di miscela bi componente iniettata, visibili nel Grafico 6.15A, possono essere associati ad eventuali sovrascavi che si sono venuti a formare all'introno dello

scavo o all'eventuale presenza di fratture nel materiale che andiamo a scavare, anche se questa seconda possibilità è piuttosto remota in questo tipo di formazione, caratterizzata più che altro da microporosità.

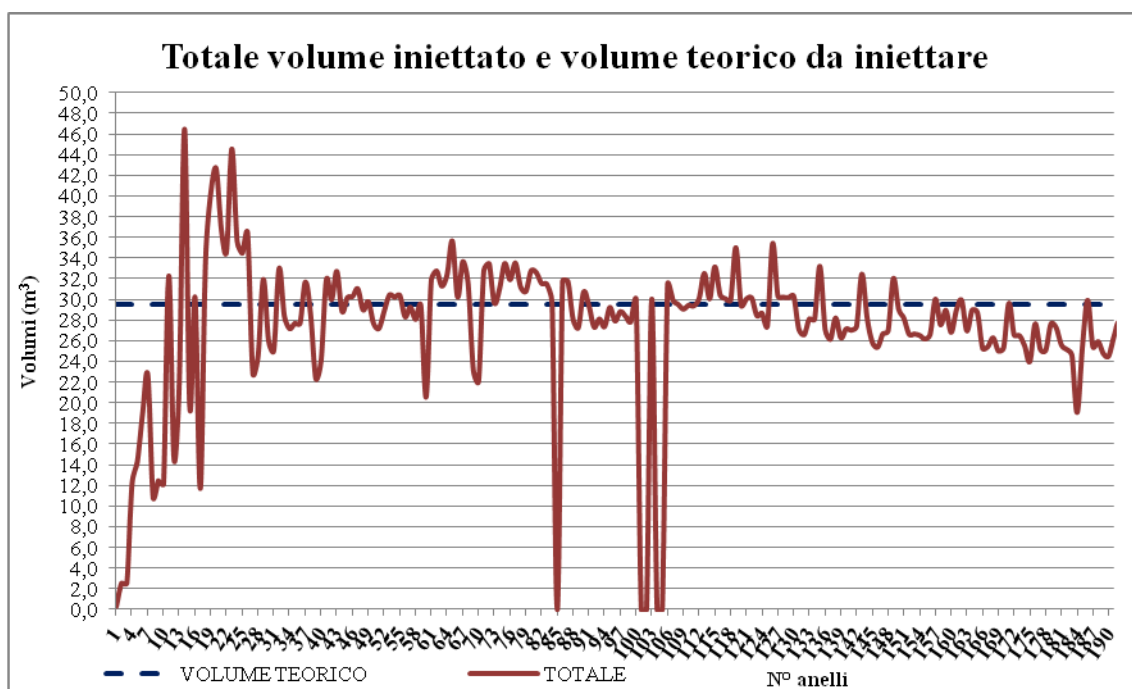


Grafico 6.15A Confronto volume totale miscela bi componente iniettata e volume teorico da iniettare nell'ambito della formazione APA

Per quanto riguarda i consumi necessari al condizionamento del materiale, abbiamo deciso di riportare, in grafici separati (6.16A e 6.17A), i quantitativi di tensioattivo (proveniente dal serbatoio 1 e 2) e polimero ad alta pressione, dai consumi totali di acqua (quella addizionata alla schiuma e quella fornita allo statore).

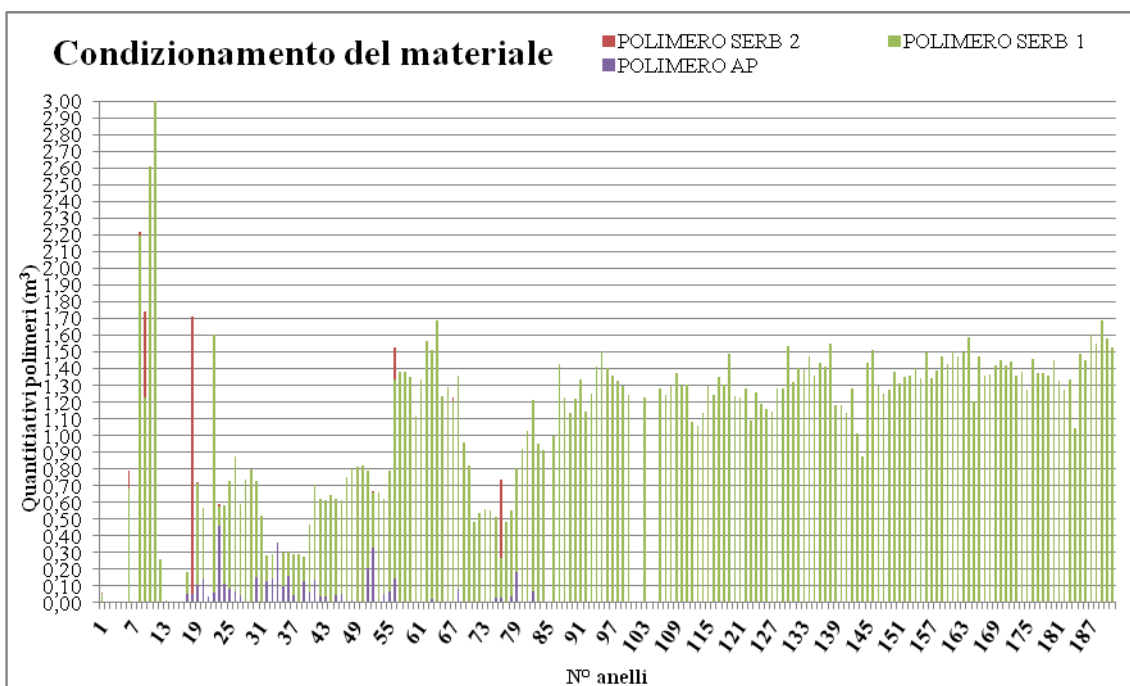


Grafico 6.16A Quantitativi di tensioattivo e polimero ad alta pressione iniettato nell'ambito della formazione APA

Poiché il polimero ad alta pressione ha la funzione di disgregante, a differenza del polimero proveniente dai serbatoi 1 e 2, che rappresenta le vere e proprie schiume, questo viene iniettato solo in alcuni casi per lubrificare la parte centrale dell'area di scavo, onde evitare che il materiale tenda ad impaccarsi al centro della testa. Nel complesso possiede un andamento decrescente con presenza di picchi occasionali, solo quando risulta realmente necessario.

Per quanto riguarda il tensioattivo, la percentuale maggiore arriva direttamente dal serbatoio 1, in quanto il serbatoio 2 non viene impiegato, se non in caso di necessità di maggior quantitativo di liquido o nel caso di mancato funzionamento del serbatoio 1. Nelle prime fasi di avanzamento si è fatto uso del serbatoio 2, per poi non impiegarlo più, successivamente all'anello n°85.

L'acqua addizionata alle schiume è quella che viene miscelata assieme al tensioattivo e al polimero ad alta pressione e iniettata direttamente in testa, mentre l'acqua dello statore viene iniettata in camera di scavo per agevolare l'estrazione del materiale attraverso la coclea: i quantitativi delle 2 grandezze sono decisamente diversi, come si evince dal grafico.

L'acqua delle schiume, fatta eccezione per la tratta dall'anello n° 30 al n° 85, si assesta attorno a valori compresi fra 35-50 m³; l'acqua fornita allo statore, durante le prime fasi dell'avanzamento, era associata ad un quantitativo del tutto irrisorio, successivamente, si è

deciso di farne un uso cospicuo per agevolare l'estrazione meccanica del materiale, raggiungendo dei valori compresi fra 120-170 m³.

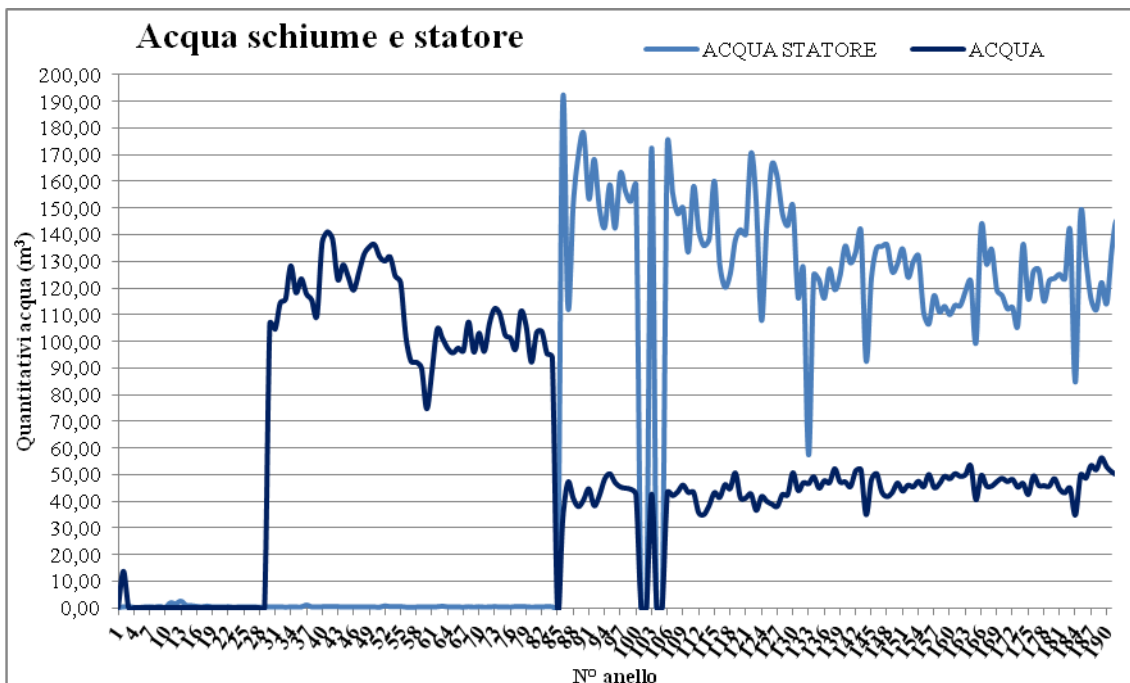


Grafico 6.17A Quantitativi di acqua addizionata alle schiume e iniettata nello statore nell'ambito della formazione APA

I consumi di grasso sono riportati di seguito, prima, complessivamente e, poi, singolarmente per ogni tipologia impiegata.

È evidente che il quantitativo maggiore di grasso consumato è associato al CONDAT WR89, impiegato per sigillare le 3 camere che le file di spazzole di coda creano e renderle così impermeabili al passaggio di metano, mentre le altre tipologie si assestano, complessivamente, attorno ad un valore di un ordine di grandezza inferiore rispetto a questo.

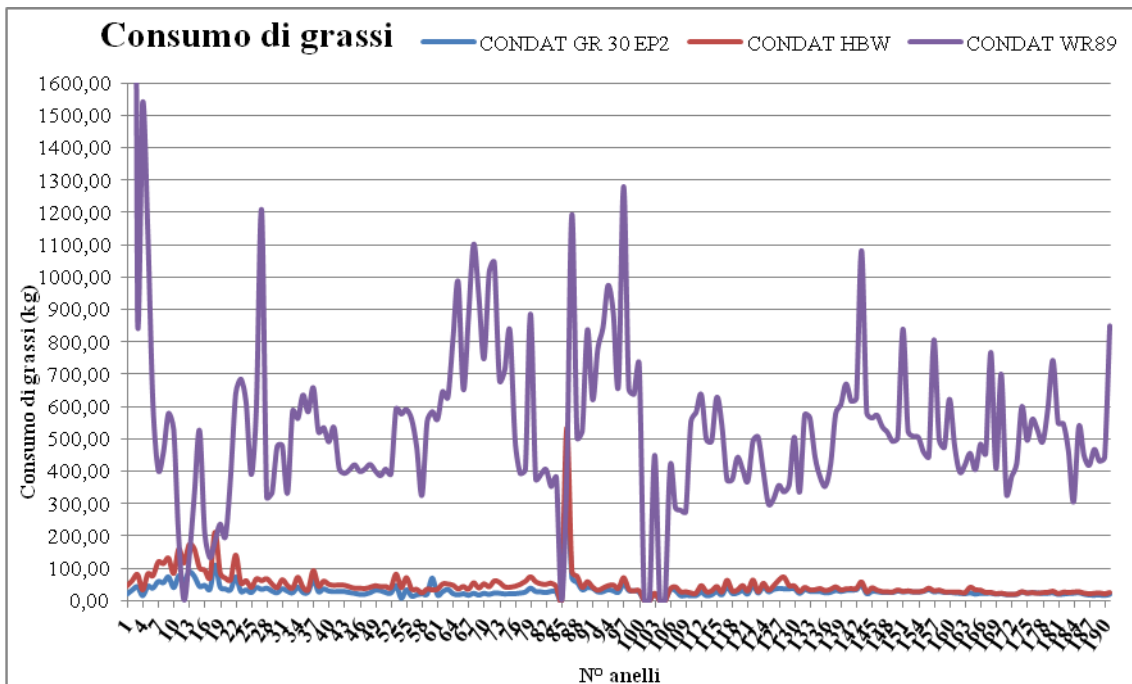


Grafico 6.18A Quantitativi di grasso consumati nell'ambito della formazione APA

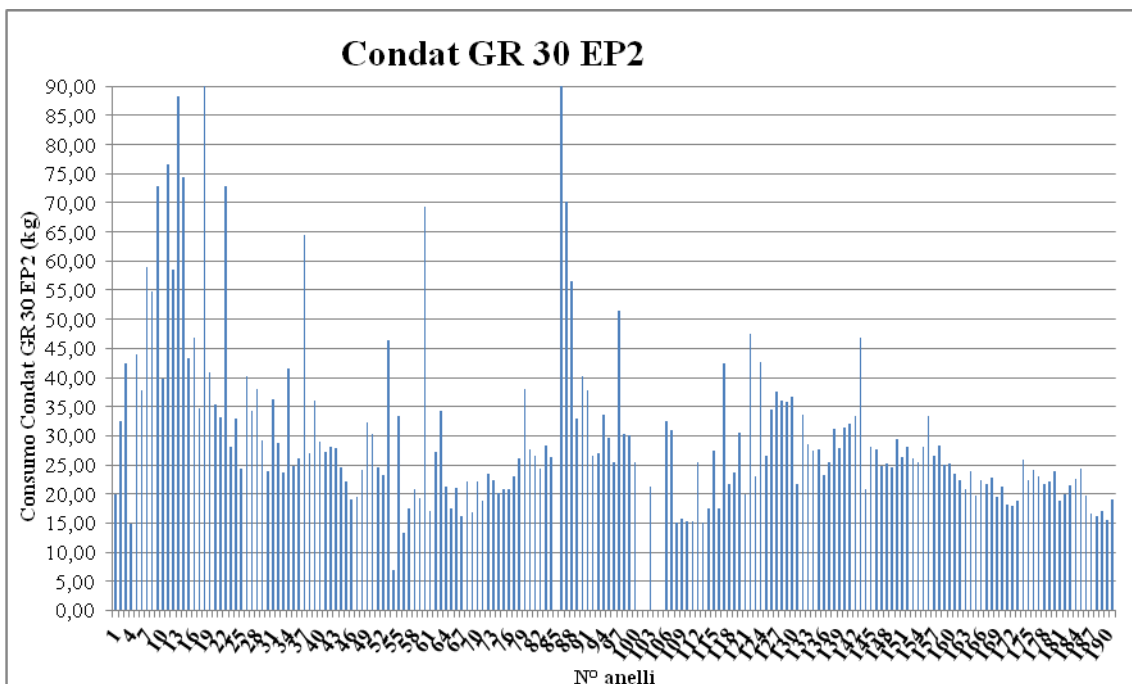


Grafico 6.2 Quantitativi di Condat GR 30 EP2 consumato nell'ambito della formazione APA

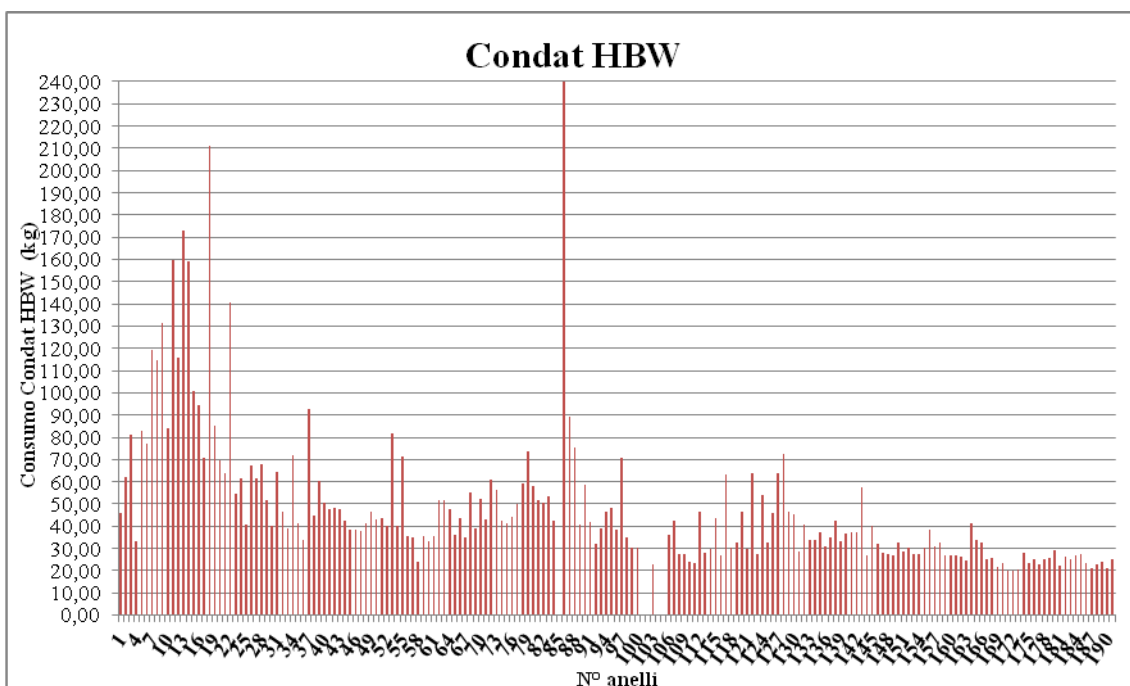


Grafico 6.3 Quantitativi di Condat HBW consumato nell'ambito della formazione APA

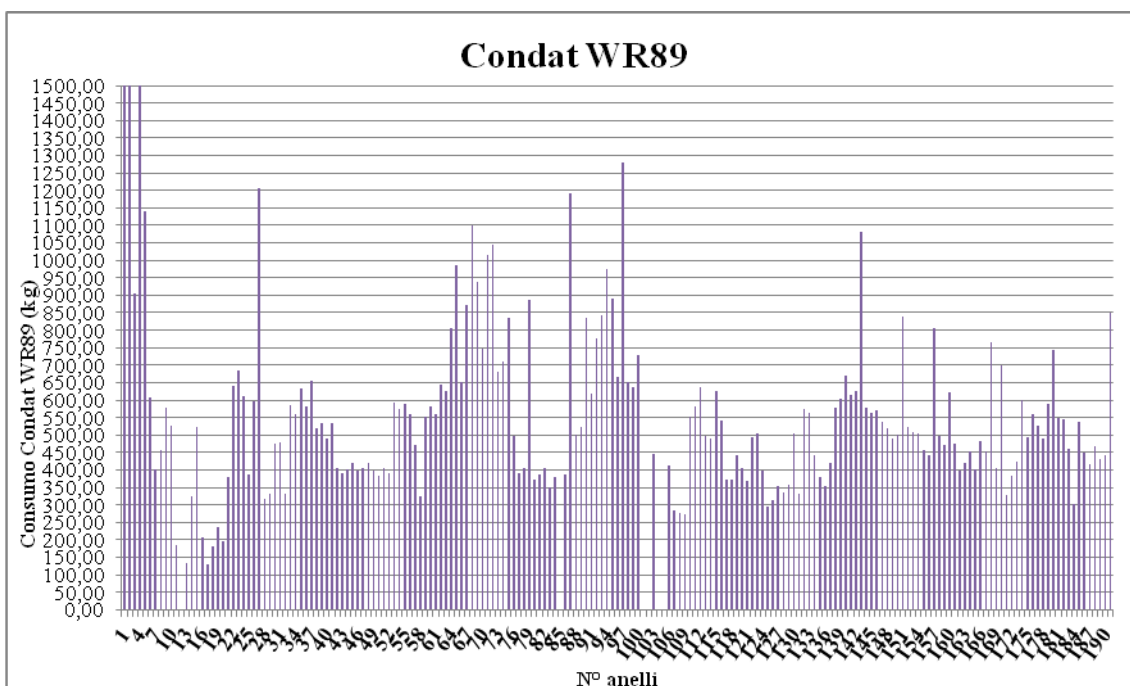


Grafico 6.21A Quantitativi di Condat WR89 consumato nell'ambito della formazione APA

Annoverata fra i consumi troviamo anche l'energia elettrica spesa per azionare tutte le componenti della macchina.

Il Grafico 6.22A ne riporta l'andamento medio, in quanto non consideriamo i picchi di partenza, che talvolta si sono verificati, e che, per correttezza, riportiamo in Tab. 6.2A, dato che all'interno di un'analisi economica dovrebbero essere conteggiati.

PICCHI ELETTRICITA' APA			
N° ANELLO	VALORE (kWh)	N° ANELLO	VALORE (kWh)
1	342527,498	133	2472981,73
3	389993,308	135	2495951,23
14	692525,701	138	2506687,44
23	958784,453	139	2515275,45
24	1034301,19	140	2523585,56
27	1636308,73	141	2576443,78
65	1866378,34	144	2593820,98
83	2065696,46	146	2660777,31
87	2146886,58	154	2814078,62
96	2329977,88	171	2831732,47
100	2211267,66	174	2908882,94
120	2456431,89		

Tabella 6.2A Anelli per i quali si sono verificati i picchi di elettricità in partenza

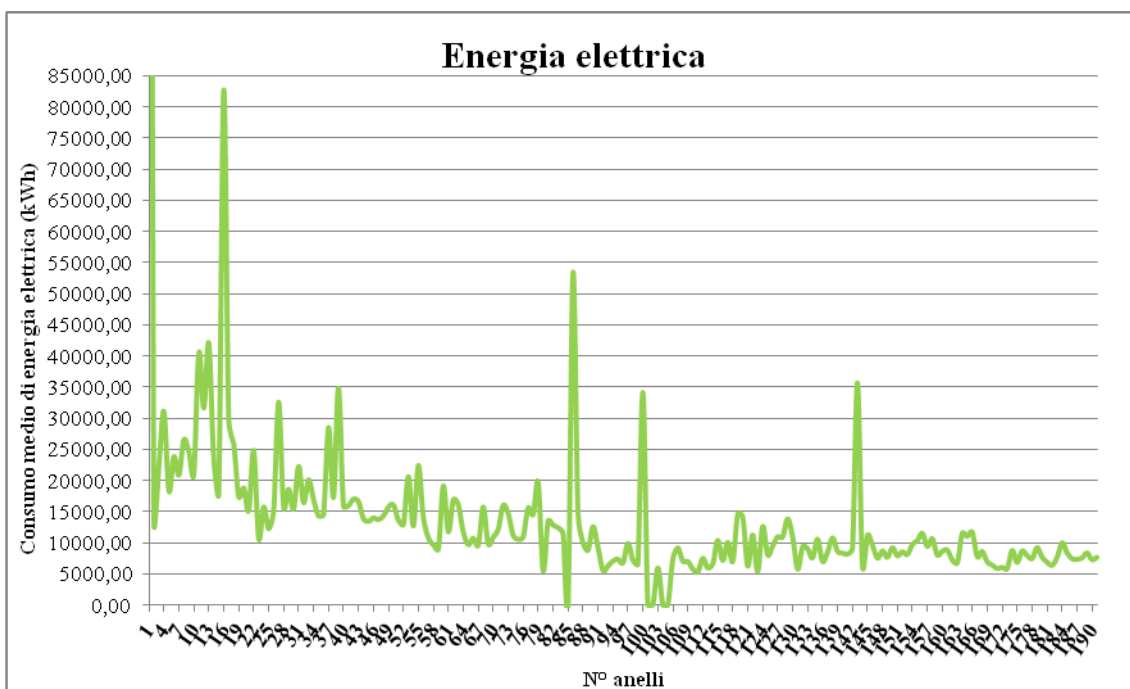


Grafico 6.22A Consumo di energia elettrica nell'ambito della formazione APA

Per quanto concerne il consumo degli utensili, per quanto riguarda la formazione delle Argille a Palombini, possiamo indicare un'unica sostituzione degli elementi di scavo eseguita nelle date e con le modalità indicate in Tab. 6.3A.

SOSTITUZIONE UTENSILI APA	
DATA	dal 25/11/2011 al 18/12/2011
NUMERO CUTTER SINGOLI	2
NUMERO CUTTER DOPPI	23
NUMERO DI RIPPER	2

Tabella 6.3A Modalità con cui si è svolta la sostituzione degli utensili nelle APA

L'operazione di sostituzione degli utensili, non ha comportato perdita di tempo nell'avanzamento della macchina, perché è stata eseguita nel lasso di tempo in cui la TBM era ferma, per le verifiche di cui sopra abbiamo parlato. La Fig. 6.4 riporta l'ubicazione degli utensili che sono stati sostituiti perché usurati.

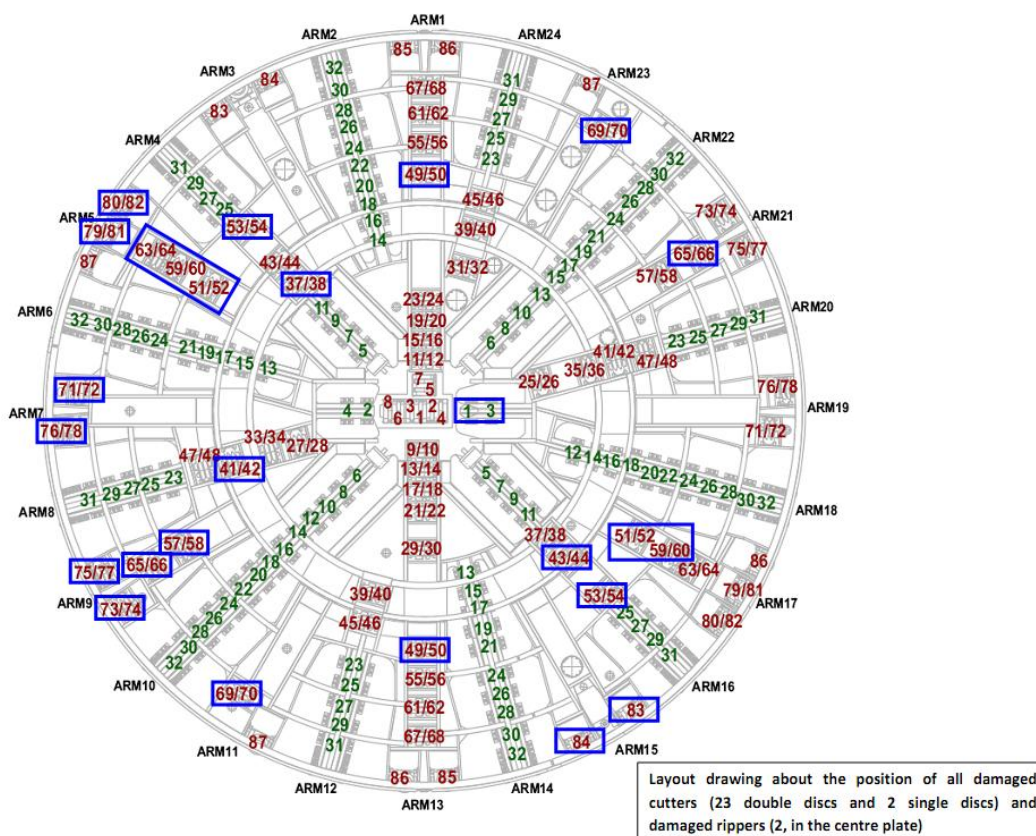


Figura 6.4 Layout degli utensili sulla testa con indicazione di quelli sostituiti [14]

Riportiamo di seguito il totale dei consumi che hanno caratterizzato la formazione delle Argille a Palombini, distinguendo la tratta dall'anello n°1 al n°85, la tratta dall'anello n°86 al n°191 e il totale, per quanto riguarda liquidi condizionanti, miscela bi componente, grassi, bentonite ed energia elettrica.

APA	LIQUIDO CONDIZIONANTE				
	POLIMERO 1 (m ³)	POLIMERO 2 (m ³)	POLIMERO AP (m ³)	ACQUA SCHIUME (m ³)	ACQUA STATORE (m ³)
TOTALE	198	52	4	10719	13573
1-85	62,03	52,42	4,06	6110,33	31,77
86-191	136,07	0,01	0,00	4608,37	13541,00

APA	MISCELA BICOMPONENTE	
	MALTA (m ³)	ACCELERANTE (m ³)
TOTALE	4915	301
1-85	2207,28	135,40
86-191	2707,32	165,89

APA	ENERGIA ELETTRICA (kWh)
TOTALE	2812201
1-85	1848512,13
86-191	963689,23

APA	GRASSI (kg)		
	CONDAT GR 30 EP2 (kg)	CONDAT HBW (kg)	CONDAT WR89 (kg)
TOTALE	5865,56	9339,65	110581,00
1-85	2812,38	5312,93	55737,56
86-191	3053,18	4026,72	54843,44

APA	BENTONITE (m ³)
TOTALE	0,54
1-85	0,31
86-191	0,23

Tabella 6.4A-6.5A-6.6A-6.7A-6.8A Indicazione dei consumi per la tratta 1-85, la tratta 86-191 e l'intera tratta delle APA

I valori registrati dalla macchina, precedentemente esposti nei grafici, e i valori previsti in sede progettuale sono stati confrontati, ottenendo così dei *range* per i parametri considerati, per la formazione delle Argille a Palombini, che riportiamo in Tab. 6.9A.

Tali valori verranno impiegati nella seconda parte dell'elaborazione, quando analizzeremo gli anelli migliori/peggiori per verificare se gli andamenti medi, appena valutati, sono stati rispettati oppure sono presenti dei valori anomali che ci consentano di motivare le elevate/basse prestazioni stabilite.

PARAMETRO		RANGE APA	
		MIN	MAX
PARAMETRI AVANZAMENTO	VELOCITA' DI AVANZAMENTO (mm/min)	15	25
	FORZA DI SPINTA (kN)	50000	90000
	PENETRAZIONE (mm/rot)	15	30
	PRESSIONE IN CALOTTA (bar)	1,6	2
	MATERIALE SMARINATO (t)	900-1000	
BICOMPONENTE	PRESSIONE BICOMPONENTE (bar)	2,5	4
	VOLUME BICOMPONENTE (m ³)	29,5	
CONDIZIONAMENTO	FIR (%)	80	120
	FER (1:x)	4	8
CONSUMI	MALTA A (m ³)	25	29
	ACCELERANTE B (m ³)	0	2
	POLIMERO (SERB 1) (m ³)	0	1,5
	POLIMERO (SERB 2) (m ³)	0	0,5
	POLIMERO AP (m ³)	0	0,5
	ACQUA SCHIUME (m ³)	30	130
	ACQUA STATORE (m ³)	90	170
	GRASSO GR 30 EP2 (kg)	5	30
	GRASSO CONDAT HBW (kg)	20	60
	GRASSO CONDAT W89 (kg)	350	700
	ENERGIA ELETTRICA (kWh)	5000	20000

Tabella 6.9A Range individuati per la formazione delle Argille a Palombini

Alcuni intervalli, previsti in sede progettuale, sono stati “aggiustati” osservando le prestazioni realizzate dalla macchina, al netto dei tempi di fermo; in particolare:

- abbiamo proposto un intervallo di valori per la velocità di avanzamento, per il quale era stata indicata solo una media;
- abbiamo aumentato il valore massimo previsto per la penetrazione, in quanto, mediamente, si raggiungono valori più alti del 25 mm/rot, proposto in sede progettuale;
- il *range* della pressione in calotta è stato aggiustato per quanto riguarda il limite superiore, alzandone leggermente il valore, perché così ci sembrava che calzasse meglio la registrazione dei dati;
- abbiamo indicato un nuovo intervallo di valori per la pressione di iniezione della miscela bi componente;

- è stato fornito un nuovo *range* per il FER, in quanto abbiamo osservato che i valori erano decisamente più bassi rispetto a quelli previsti; il FIR, per quanto l'intervallo proposto, non sia sempre stato rispettato, in quanto sono presenti dei picchi notevoli, ci sono sembrati associati a problematiche di altro genere e, quindi, abbiamo deciso di mantenerlo uguale a quello preventivato;
- abbiamo proposto un *range* per i valori di consumo, che preventivamente non erano stati indicati.

Poiché la nostra analisi prevede anche la stima dell'efficienza della macchina a meno di problematiche legate al nastro trasportare, alla produzione e trasporto dei conci necessari per il rivestimento definitivo e alla eventuale presenza di gas metano, in Tab. 6.10A vengono riportati gli anelli in cui si sono verificate le anomalie in tali ambiti.

PROBLEMATICHE APA	
TIPO DI PROBLEMA	N° ANELLI
NASTRO TRASPORTATORE	da 5 a 14;16-17-18;21-22-24-25-27-28-29;31-32-34-37-39;40-42-43-44;50-53-54-59;60-63-64-66-68-69;71-73-75-76-77;81-84-86-87;91-93-94-94-97;100-101-102-107;110-115-117-119;120-122-124-126-127-128-129;138;144-145;150-152-158;164-166;174-176;191
PRODUZIONE CONCI	-
TRASPORTO CONCI IN GALLERIA	34-58-112-155-158-184-185-188-189-190
PRESENZA DI GAS METANO	85 - 87

Tabella 6.10A Problematiche rilevate per la formazione delle APA

Per quanto concerne la presenza di metano, dobbiamo sottolineare che la registrazione di valori significativi, in questo caso, non hanno comportato fermi: il primo perché è dovuto all'ingresso in camera di scavo, per delle verifiche, e quindi la macchina era già ferma; il secondo, è il riscontro di un rilevamento che non ha innescato allarmi, non causando quindi ritardi nell'avanzamento.

Per la tratta delle Argille a Palombini, non si sono verificate venute di acqua e, conseguentemente, non abbiamo avuto ritardi nell'avanzamento della macchina e, per quanto concerne i consumi, non è stato necessario l'impiego di bentonite, come visibile dalla Tab. 6.8A.

Per considerare il fattore umano, mediante l'ausilio dei rapportini di scavo, è stato valutato il tempo lavorato, in ore, e il numero di anelli montati da ciascuna squadra. Sono presenti 5

squadre che abbiamo indicato con le sigle P1, P2, P3, P4 e P5, riferendoci al pilota che è presente per la stessa.

Nei Grafici 6.23A e 6.24A riportiamo in percentuale le ore lavorate e gli anelli montati da ciascuna squadra, indicando anche la percentuale comune a più di una squadra (C), verificatasi nel periodo natalizio, e quella in cui non abbiamo alcuna indicazione (P), nei periodi di fermo prolungato e all'imbocco della galleria.

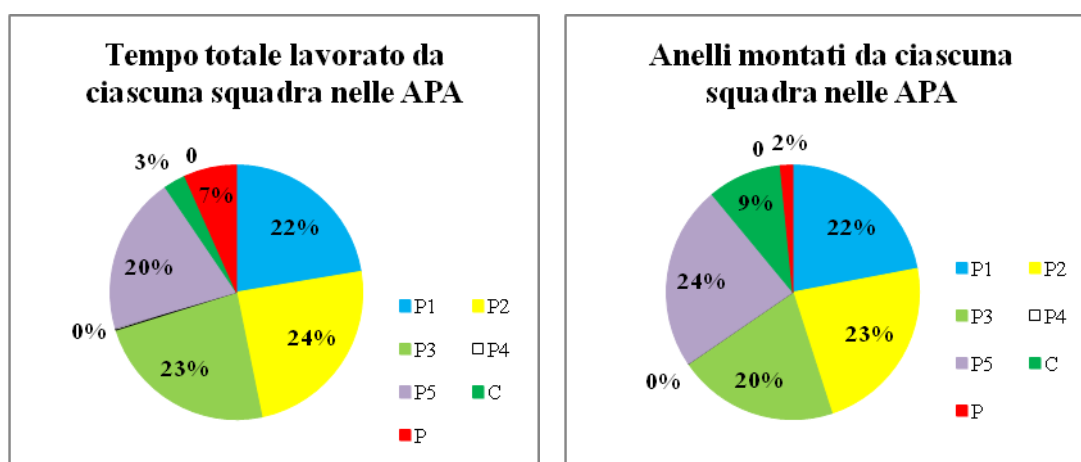


Grafico 6.23A-6.24A Tempo lavorato (ore) e anelli montati nelle APA da ciascuna squadra

Benché la squadra P5 sia stata quella a lavorare un numero di ore ridotto rispetto alle altre, è quella che ha realizzato il maggior numero di anelli montati.

Riportiamo di seguito l'andamento dei parametri elaborati, che non ci interessano al fine di individuare i *range* dei parametri sopra citati, ma ci forniscono un'idea ulteriore sulle caratteristiche della formazione Argille a Palombini.

Il Grafico 6.25A mostra l'andamento della fresabilità, definita come velocità di penetrazione (mm per giro della testa) che la TBM riesce a sviluppare in rapporto alla spinta e indica la difficoltà che la macchina ha avuto nell'avanzare all'interno della formazione in relazione al tipo di scavo eseguito: è evidente come per alcuni anelli questa sia stata maggiore e conseguentemente, in termini di velocità di avanzamento e penetrazione, la macchina abbia presentato delle prestazioni migliori. È inevitabile sottolineare che, gli andamenti migliori, si sono verificati dopo l'anello n° 85, successivamente al periodo di fermo per le verifiche.

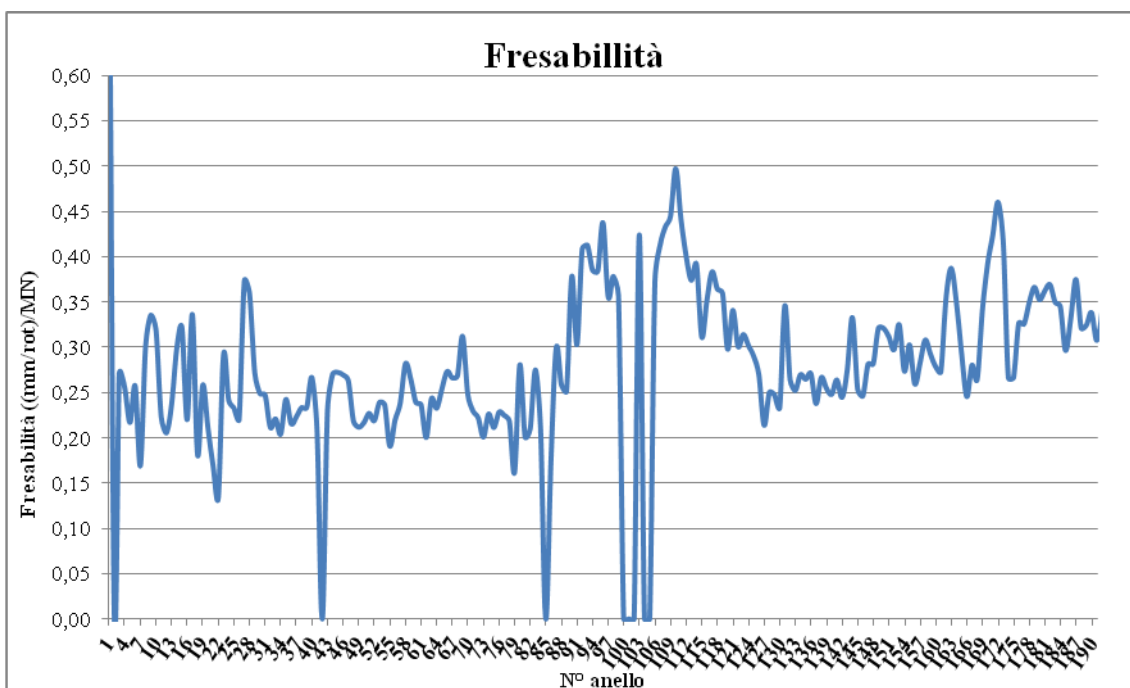


Grafico 6.25A Andamento della fresabilità nell'ambito dell'APA

Di seguito sono graficati il livello di sistematicità dell'avanzamento, rappresentato dal rapporto tra il tempo di scavo e di posa dell'anello di rivestimento, e il livello di efficienza del sistema, rappresentato dal rapporto tra i fermi (montaggio dell'anello e veri e proprio fermi) e ciclo di avanzamento.

Per il primo, tanto più questo ha un valore vicino ad 1, più significa che tempo di scavo e tempo di posa dell'anello coincidono, vale a dire ottimizzazione delle attività principali che caratterizzano ogni *step* di avanzamento. Se il valore tende ad aumentare si evince che sto impiegando più tempo per la realizzazione del vero e proprio scavo, a discapito del tempo che impiego per montare l'anello. Viceversa, se il valore diminuisce, impiego un tempo maggiore per il montaggio del rivestimento che, salvo problematiche all'ereuttore o malfunzionamenti specifici, è fortemente dipendente dalle capacità dell'ereuttore.

Il livello di avanzamento fluttua attorno al valore 1, ma possiamo dire che, mediamente, per la tratta delle Argille a Palombini, per una buona metà è stato impiegato più tempo per l'avanzamento e per l'altra per il montaggio del rivestimento. I valori più alti per questa grandezza sono comunque riscontrabili nella prima porzione e, in particolare, immediatamente prima dell'anello n°85.

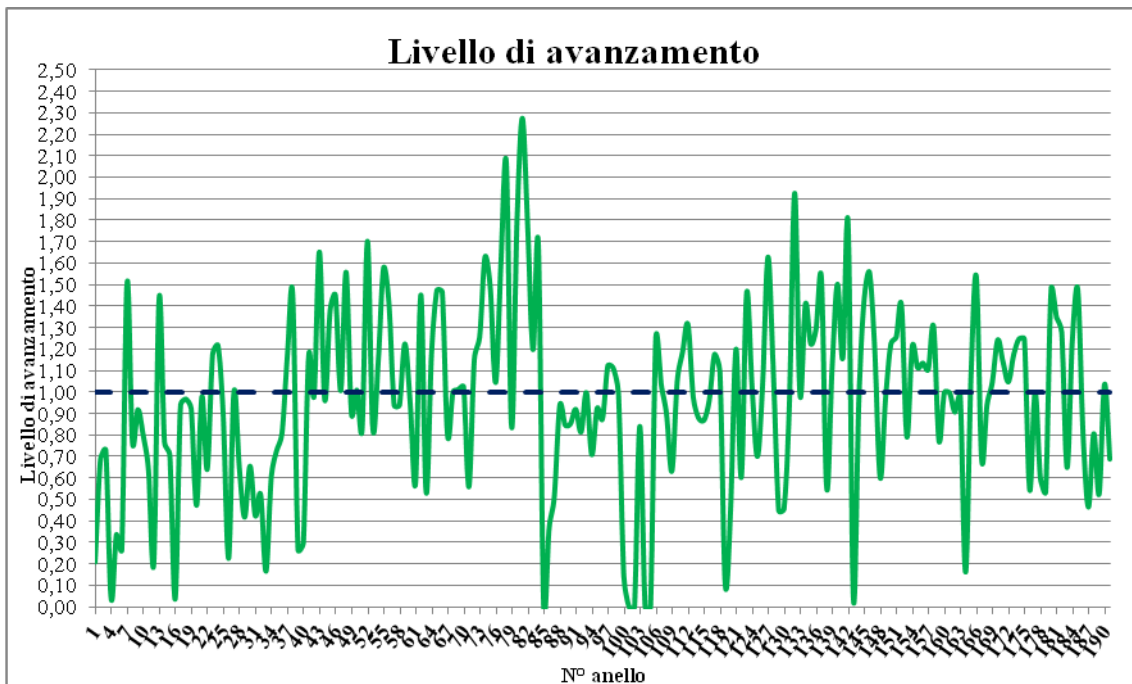


Grafico 6.26A Andamento del livello di avanzamento nell'ambito dell'APA

Per il livello di efficienza, tanto più il valore è basso tanto più significa che, rispetto al tempo totale di ogni avanzamento, i tempi di fermo incidono poco. Per tempi di fermo, torniamo a ribadire, intendiamo effettivamente tutti quei momenti in cui la macchina non sta avanzando, quindi, non soltanto, in presenza di malfunzionamenti e problematiche varie, ma anche durante il montaggio del rivestimento.

Se il valore si assesta attorno ad 1, significa che i tempi di fermo hanno inciso per la totalità nel tempo, mentre, per le tempistiche relative a questa macchina, se il valore si assesta attorno allo 0,5, significa che i tempi di fermo che incidono sono solo quelli relativi al montaggio dei conci. Mediamente, per la formazione delle Argille a Palombini, i fermi incidono per circa il 65%, vale a dire più della metà del tempo totale, impiegato per lo scavo di ciascun anello, è associato a momenti di fermo, non derivanti solamente al montaggio del rivestimento.

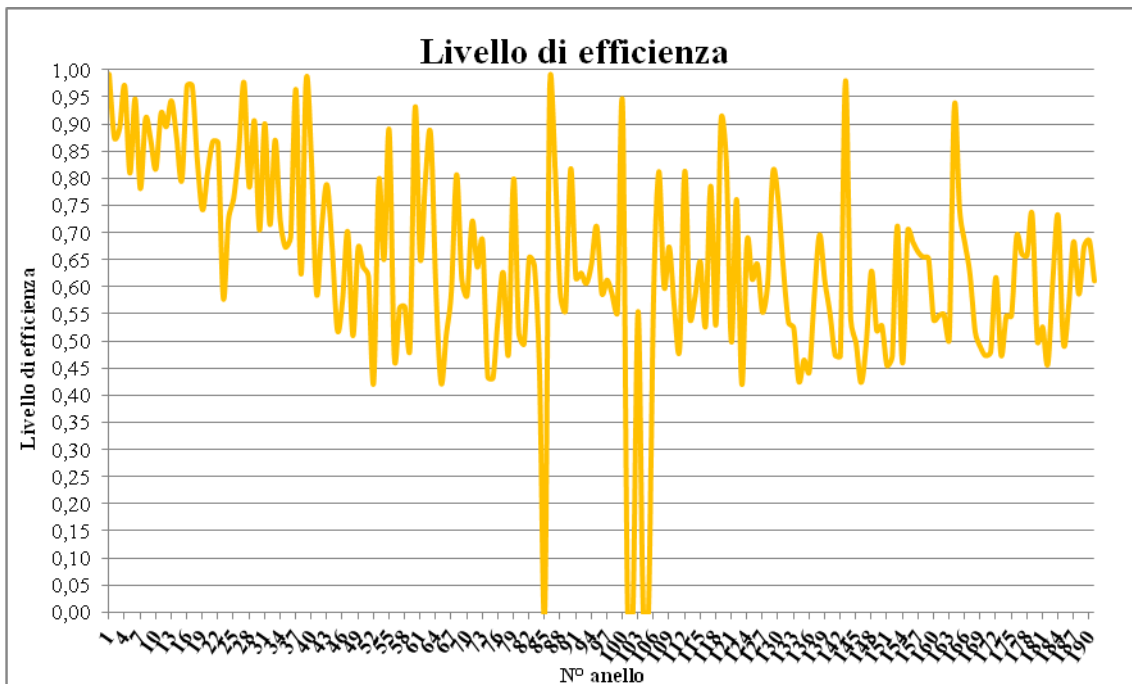


Grafico 6.27A Andamento del livello di avanzamento nell'ambito dell'APA

Il parametro complementare al precedente è il coefficiente di utilizzazione, dato dal rapporto tra il tempo di scavo vero e proprio e il tempo totale lavorato: per questa grandezza, analogamente a quanto visto per il livello di efficienza, considerando la nostra macchina e le tempistiche medie che la caratterizzano, il valore ottimale è circa 50%, in quanto, in assenza di fermi prolungati e montaggio dell'anello senza problematiche, la fase di avanzamento incide per la metà nel tempo totale associato a ciascuno *step*.

Il Grafico 6.28A ci mostra che, per le Argille a Palombini, tale parametro si assesta attorno al 30 – 50%, sottolineando che, non sempre, vengono ottimizzate le tempistiche di scavo e montaggio dell'anello, come già riscontrato dai valori del livello di avanzamento.

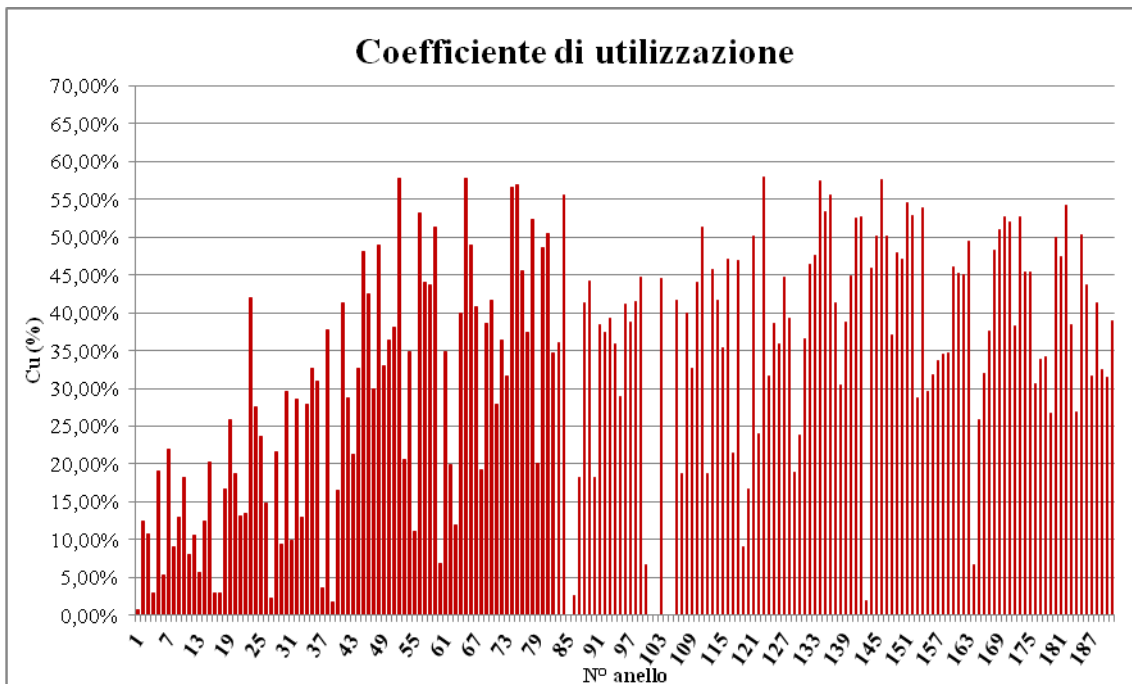


Grafico 6.28A Andamento del coefficiente di utilizzazione (%) nell'ambito dell'APA

Il Grafico 6.69A riporta un confronto necessario per verificare se le pressioni mantenute nelle linee di iniezione della malta siano state sufficienti per eseguire correttamente il riempimento a tergo dei conci. Generalmente dovrebbero mantenersi scostate di un valore pari ad 1 bar rispetto alla pressione di terra media rilevata in testa, ma, non essendo presente in cabina il valore medio di tali sensori, non sempre è possibile seguire questa linea guida.

Possiamo vedere come mediamente questo gap sia stato mantenuto, salvo le prime fasi avanzamento della macchina in cui, come già detto, un po' tutti i parametri, specie legati al consumo, hanno necessitato di una fase di rodaggio. Tale verifica ci conferma che, mediamente, l'iniezione a tergo del rivestimento è stata eseguita correttamente, anche se la certezza assoluta, mediante la sola analisi dei parametri, non riusciremo ad averla mai.

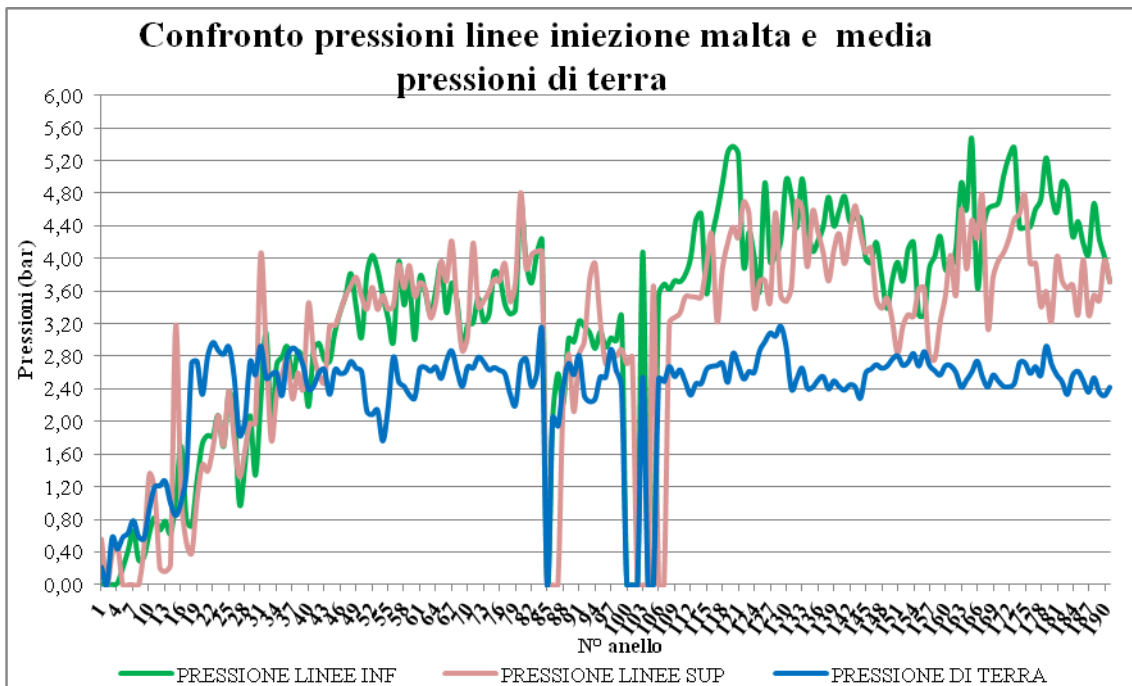


Grafico 6.29A Confronto fra le pressioni di iniezione della malta e la media dei sensori di pressione di terra nell'ambito dell'APA

6.3.2 Performance ottimali individuate per la Formazione delle Argille a Palombini

In Tab.6.11A sono riportati gli anelli che, per la formazione delle Argille a Palombini, in termini di velocità di avanzamento (mm/min) e penetrazione (mm/rot), al netto dei tempi di fermo, hanno presentato le migliori *performance*.

APA - ARGILLE A PALOMBINI		
ANELLO	PENETRAZIONE (mm/rot)	VELOCITA' DI AVANZAMENTO (mm/min)
110	31,91	32,69
172	30,95	31,38
173	29,73	31,39
171	29,63	30,45
108	28,92	28,50
179	28,71	30,56
187	28,31	28,94
109	28,29	28,69
96	28,11	29,11

Tabella 6.11A Anelli che hanno presentato le migliori performance nella tratta APA

I Grafici 6.30A e 6.31A mostrano quali sono gli anelli, riportati nella tabella precedente, che esamineremo.

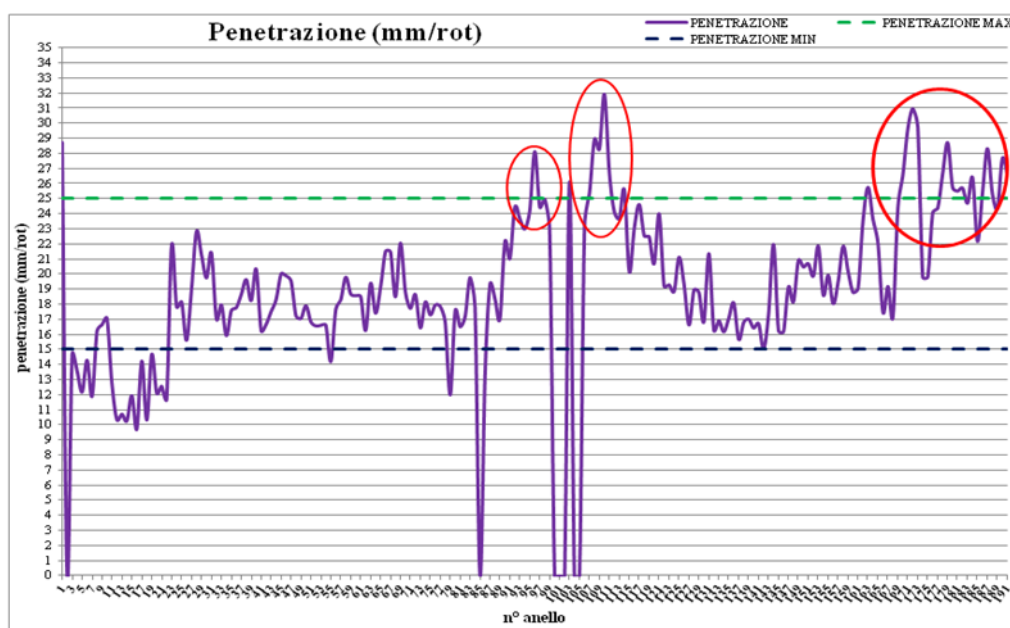


Grafico 40A Indicazione degli anelli che hanno presentato le migliori prestazioni in termini di penetrazione netta

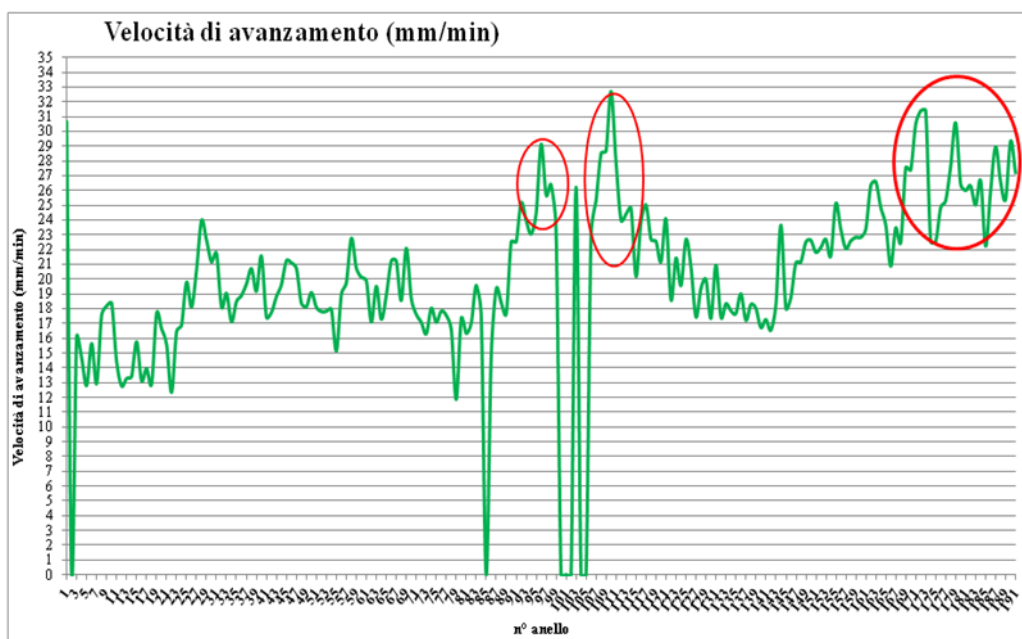


Grafico 6.31A Indicazione degli anelli che hanno presentato le migliori prestazioni in termini di avanzamento netto

Riportiamo anche la dislocazione degli anelli analizzati nell'ambito della tratta Argille a Palombini, in Fig.6.5.

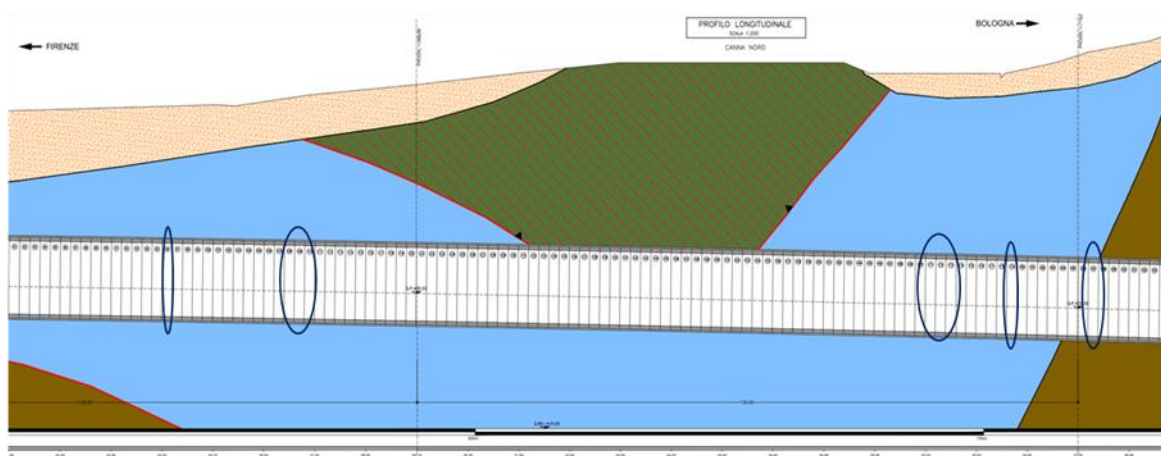


Figura 6.5 Posizione degli anelli migliori analizzati nell'ambito della formazione APA [29]

Per ragioni di spazio non riporteremo l'analisi eseguita per ciascuno degli anelli sopra elencati, ma, a titolo esemplificativo, riporteremo quella dell'anello n° 110, perché caratterizzato dai valori migliori di tutta la tratta. Per gli altri ci limiteremo a riportare i risultati, in termini di *range* ottenuti, e relativo commento.

ANELLO N°110

L'anello n°110, si trova circa a metà della prima tratta che la TBM si è trovata a dover affrontare, e la sua posizione è indicata in Fig. 6.6.

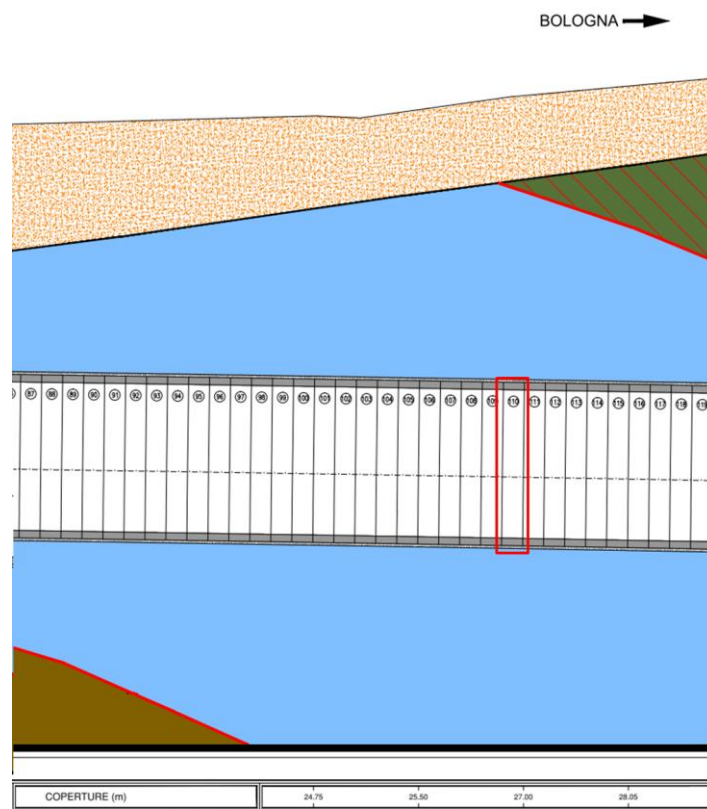


Figura 6.6 Posizione dell'anello n° 110 nell'ambito della formazione APA [29]

A causa della gran mole di dati, relativi all'anello in esame, e anche agli altri anelli esaminati, questi non sono disponibili in allegato. Basti pensare che per l'avanzamento n°110 il numero dei dati è dell'ordine dei 765000.

Il tempo totale impiegato per lo scavo di questi 2 metri è pari a 2 ore e 16 minuti, come riportato in Tab. 6.12A.

ANELLO N°110	
LUNGHEZZA (m)	2
TEMPO TOTALE IMPIEGATO (min)	136

Tabella 6.12A Caratteristiche dell'anello n°110

Da un'analisi complessiva delle tempistiche, la macchina è stata caratterizzata da ridotti momenti di fermo, non imputabili a problematiche specifiche, mentre prevalentemente si è realizzato l'avanzamento e il montaggio vero e proprio del rivestimento.

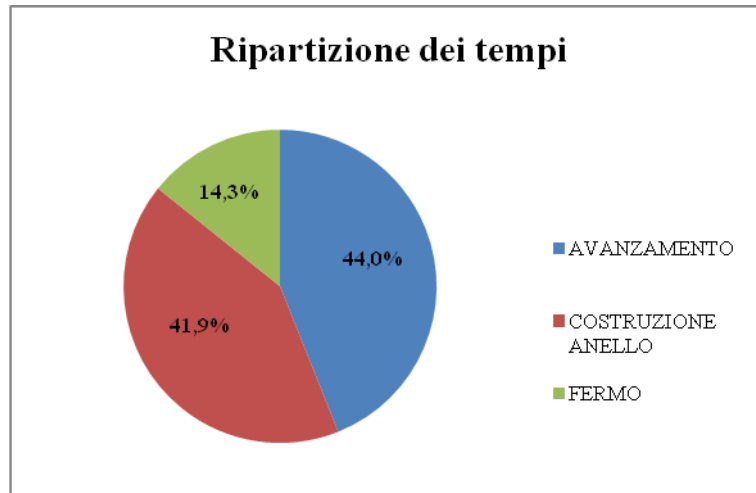


Grafico 6.32A Ripartizione delle tempistiche per l'anello n°110

Riportiamo adesso le due grandezze che ci hanno consentito di evidenziare questo anello come uno di quelli in cui si sono realizzate le prestazioni migliori: velocità di avanzamento e penetrazione.

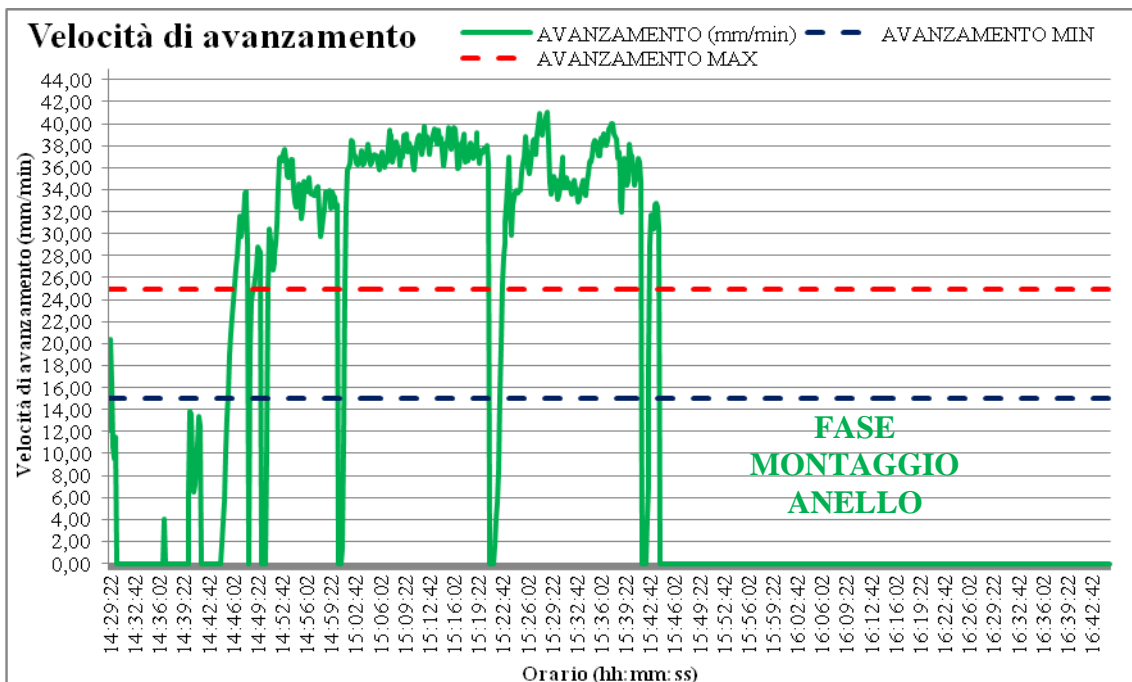


Grafico 6.33A Velocità di avanzamento (mm/min) realizzato dalla macchina per l'anello n°110

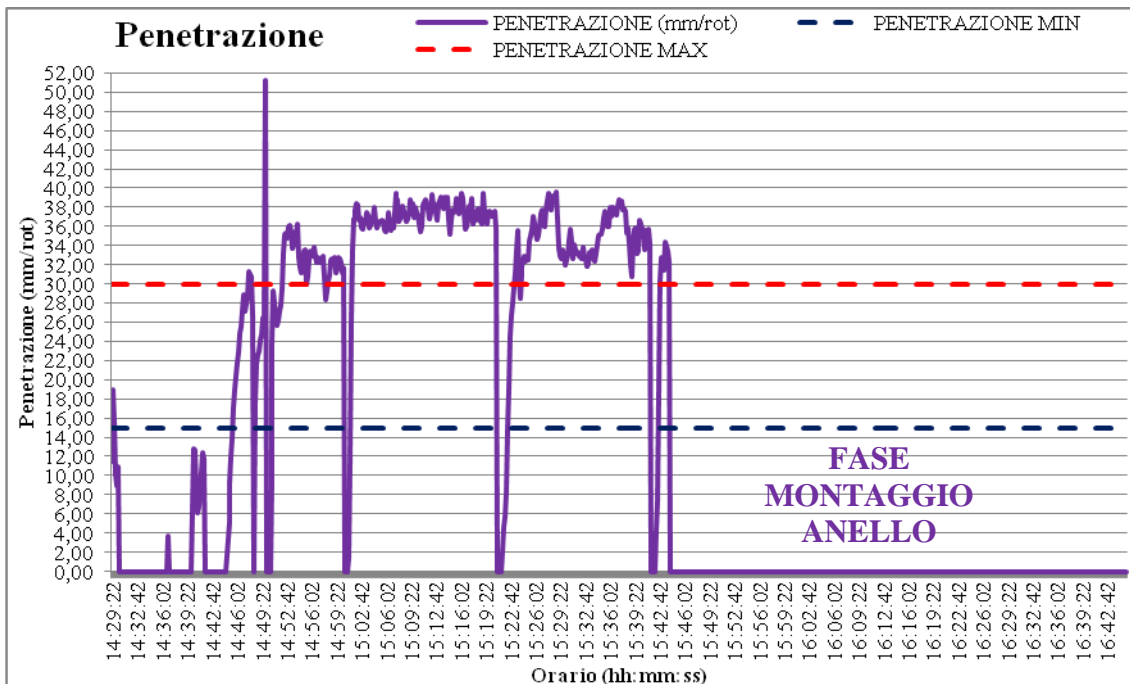


Grafico 6.34A Penetrazione (mm/rot) realizzato dalla macchina per l'anello n°110

È evidente che le *performance* della macchina, per l'anello n°110, sono state decisamente superiori rispetto alla media riscontrata per la formazione Argille a Palombini, indicata, in grafico, come valori minimo e massimo per entrambe le grandezze.

Per la velocità di avanzamento sono stati raggiunti anche valori di 41 mm/min, mentre per la penetrazione sono stati registrati valori che raggiungono i 51 mm/rot.

I valori nulli presenti nei grafici sono associati:

- momentanee situazioni in cui è stato necessario arrestare la macchina;
- alla fase di montaggio del rivestimento.

Analizzando i grafici seguenti, vedremo di individuare la causa, se presente, di queste prestazioni ottimali, sia in termini di parametri di avanzamento, sia, eventualmente, anche con riscontri sui consumi.

L'andamento della forza di spinta, rispetto a quanto osservato per l'intera formazione, rispetta l'intervallo proposto in precedenza, ma raggiunge come valore massimo 76000 kN circa, ben al di sotto del 90000 kN posto come limite massimo, segnale che, sebbene la formazione sia instabile e problematica, per questo avanzamento non è stato necessario spingere molto.

Inoltre, nel Grafico 6.35A, possiamo notare che, durante tutta la fase di montaggio dell'anello, la forza di spinta si è mantenuta entro un intervallo di valori di 45000-55000 kN, necessario esclusivamente per sostenere il fronte.

Gli abbassamenti che possiamo rilevare nel grafico sono associati ai momenti di fermo della macchina, in cui è necessario spingere solo per garantire la stabilità del fronte e non per avanzare, e per i quali il valore si è assestato entro l'intervallo indicato pocanzi.

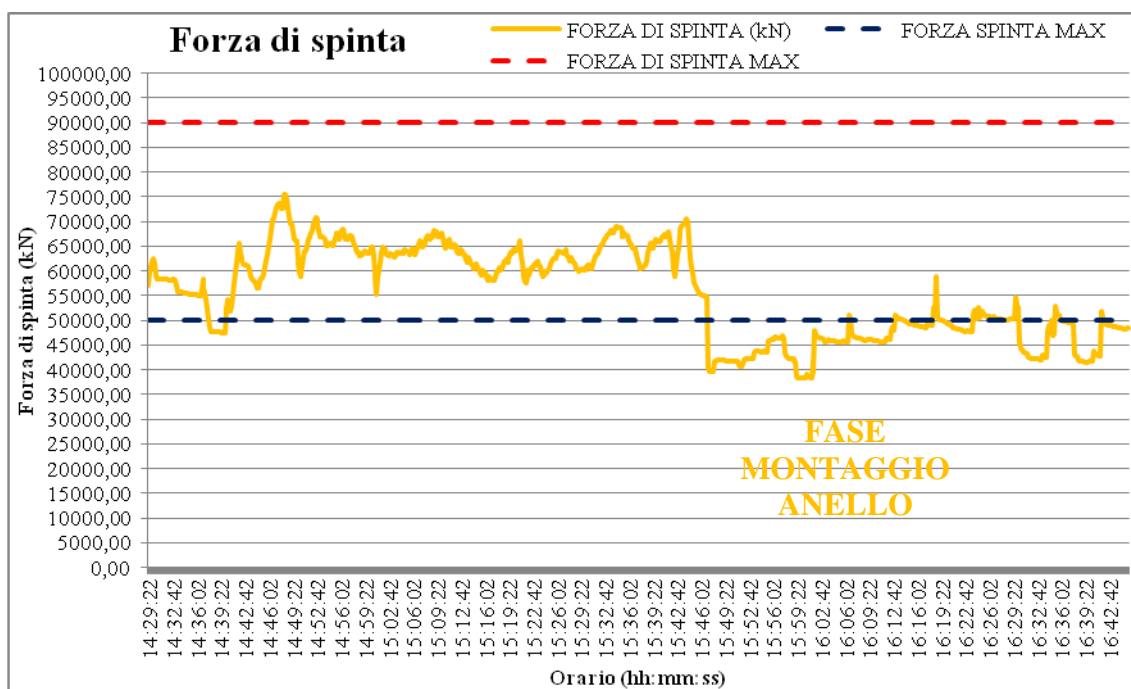


Grafico 6.35A Forza di spinta (kN) della macchina per l'anello n°110

La forza di contatto, come detto, rappresenta la vera e propria forza necessaria allo scavo, cioè quella di cui hanno bisogno gli utensili per disgregare il materiale con cui sono a contatto, e, poiché è una grandezza caratterizzata da forti oscillazioni, anche nell'ambito di uno stesso avanzamento, non sempre è di facile interpretazione. Aggiungiamo che, malgrado tutto, forse è anche il solo parametro che, fra i molti, ci fornisce un'indicazione diretta della formazione che stiamo scavando.

L'andamento è analogo a quello della forza di spinta, essendone direttamente legato perché quota parte: i valori più bassi sono relativi ai momenti di fermo della macchina, in cui gli utensili non devono scavare e mediamente rispecchia i valori che si sono presentati, nell'ambito della tratta delle Argille a Palombini che va dall'anello n° 86 all'anello n°191. Osserviamo oltretutto che il valore massimo rimane al di sotto del valore impostato come preallarme, 30000 kN. Tale grandezza non arriva allo zero in quanto vi rientra anche l'attrito testa/fronte, che, anche quando la macchina è ferma, rimane presente.

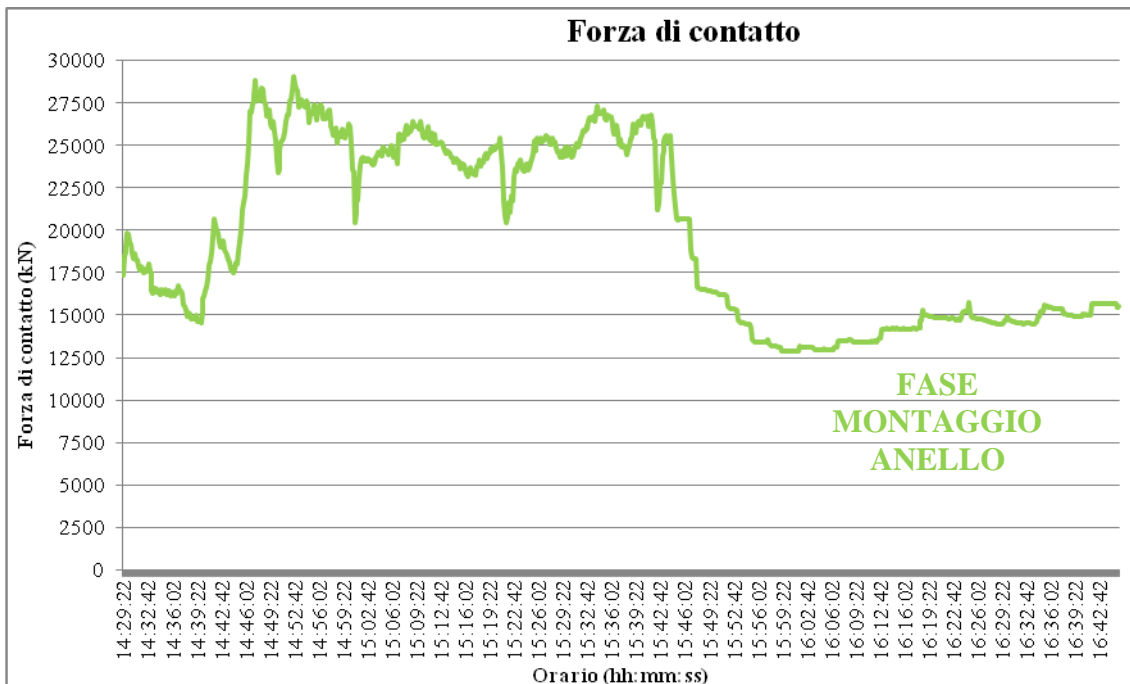


Grafico 6.36A Andamento della forza di contatto (kN) per l'anello n° 110

L'andamento della pressione della camera di scavo, misurata in bar, come visibile dal Grafico 6.37A, ha mantenuto tutto sommato l'andamento previsto per l'intera formazione, oscillando in prossimità del limite inferiore.

Come avevamo già notato dai Grafici 6.35A e 6.36A, questo materiale debole, ha presentato minori problematiche di stabilità per questo anello, in parte anche grazie ad un condizionamento che, come vedremo, è stato realizzato come previsto.

Riportiamo anche l'andamento delle pressioni per gli altri sensori (grafico 6.38A): il sensore in calotta, n°3, è quello che presenta il valore più basso e mano a mano la pressione sale, giungendo al valore massimo in prossimità dei sensori al piede, n° 8 e n° 9. Il grafico evidenzia anche i malfunzionamenti dei sensori che si sono verificati nella seconda tratta delle Argille a Palombini, in particolare problematiche di taratura per i sensori n° 1 e n°11.

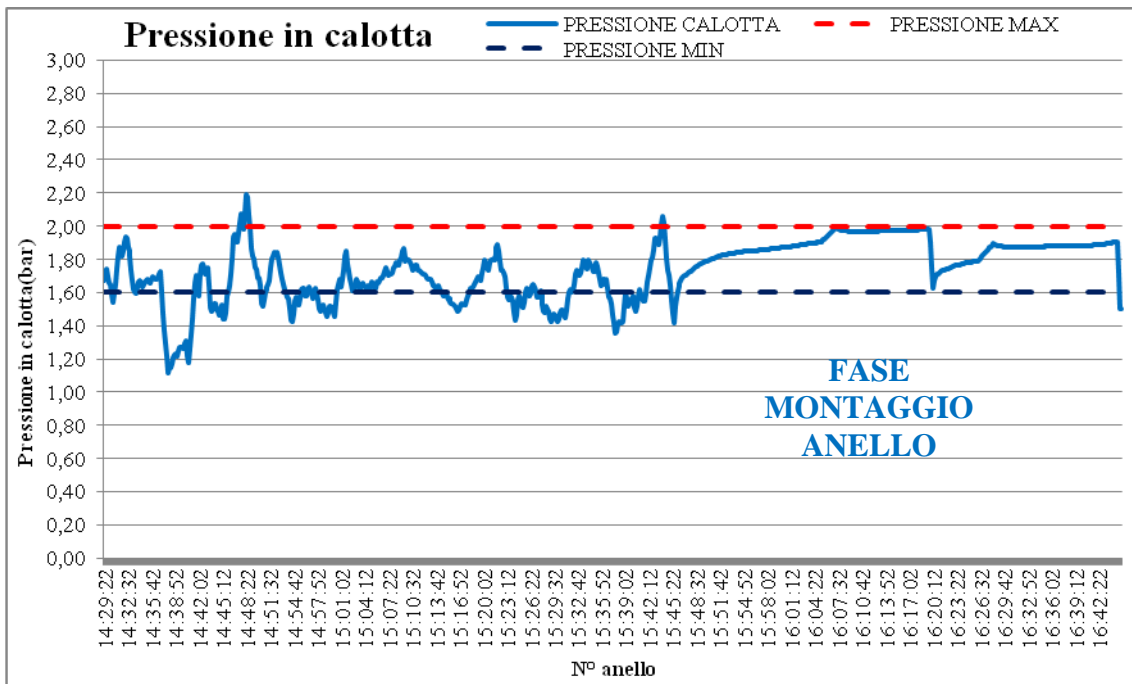


Grafico 6.37A Pressione in calotta (bar) per l'anello n°110

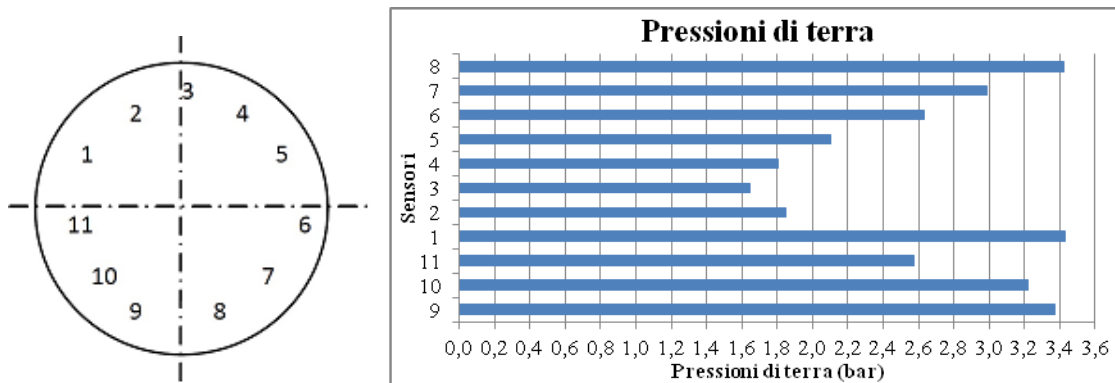


Grafico 6.38A Pressioni di terra (bar) registrate per l'anello n°110

La verifica del peso del materiale scavato avviene, come precedentemente detto, mediante un sistema a due bilance, poste sul nastro trasportatore, di cui vediamo i valori rappresentati nel Grafico 6.39A .

Per questo anello il peso del materiale asportato, si è assestato intorno alle 1000 t, come previsto mediamente per l'intera formazione, che, ipoteticamente, indica che, per questo anello, non si sono verificati sovrascavi che avrebbero potuto incrementare notevolmente questa grandezza.

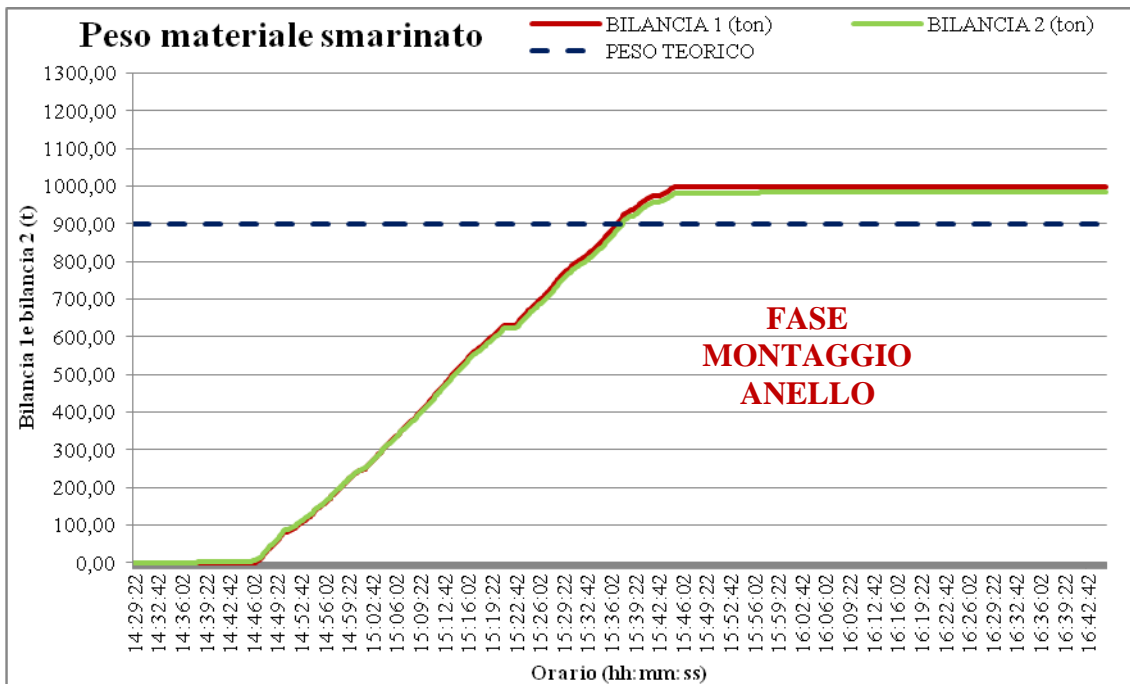


Grafico 6.39A Peso del materiale smarinato (comprensivo di acqua) per l'anello n°110

La pressione di iniezione della miscela bicomponente si assesta attorno al limite massimo proposto nell'analisi complessiva, presentando solo nella fase di inizio scavo valori inferiori, in quanto la malta viene iniettata solo dopo aver scavato 10 cm in avanzamento.

I valori di picco, che si presentano complessivamente nell'andamento, invece, sono imputabili ad intasamenti delle linee, che portano la pressione ad aumentare notevolmente; il valore elevato visibile prima dell'abbassamento drastico è dovuto alla chiusura del flusso, verificatasi 10 cm prima che lo scavo abbia termine.

Riportiamo anche l'andamento medio delle pressioni per ciascuna delle 12 linee di iniezione (Grafico 6.41A), evidenziando che le linee 6 e 7 non sono in funzione perché si ritiene non necessarie, essendo poste nella parte inferiore dello scudo e la malta, in questa zona, vi giunge per gravità.

Mediamente non si sono mai raggiunti valori superiori ai 4 bar, limite che ci si impone generalmente per evitare l'intasamento delle linee.

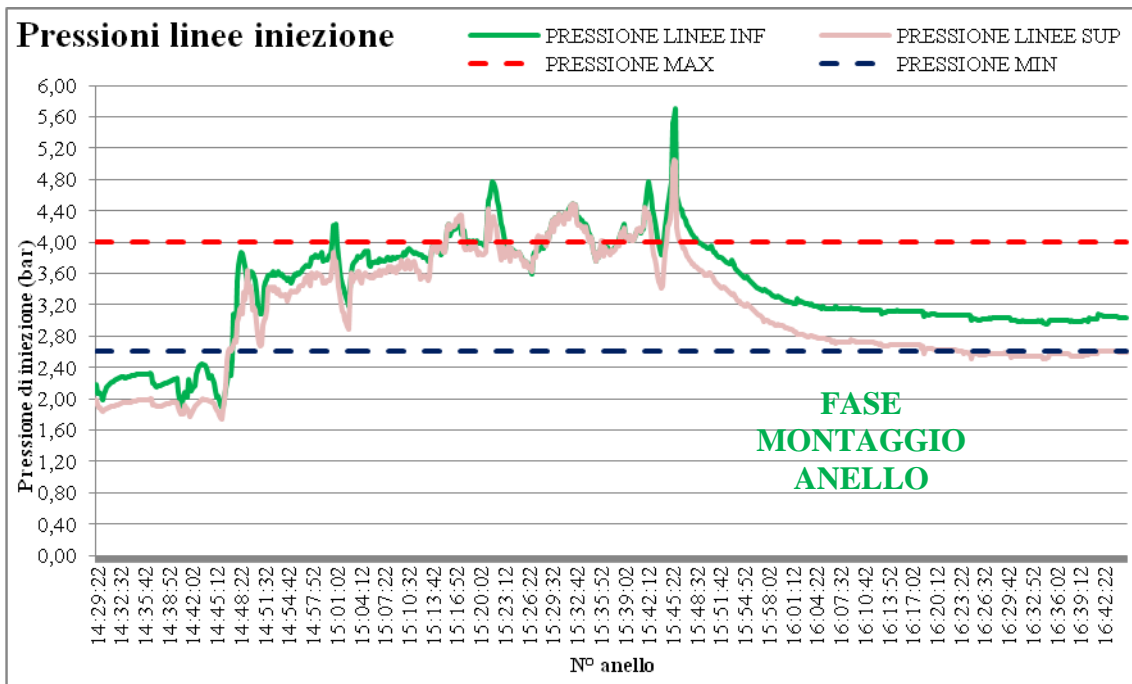


Grafico 6.40A Andamento della pressione delle linee di iniezione della malta (bar) inferiori e superiori per l'anello n°110

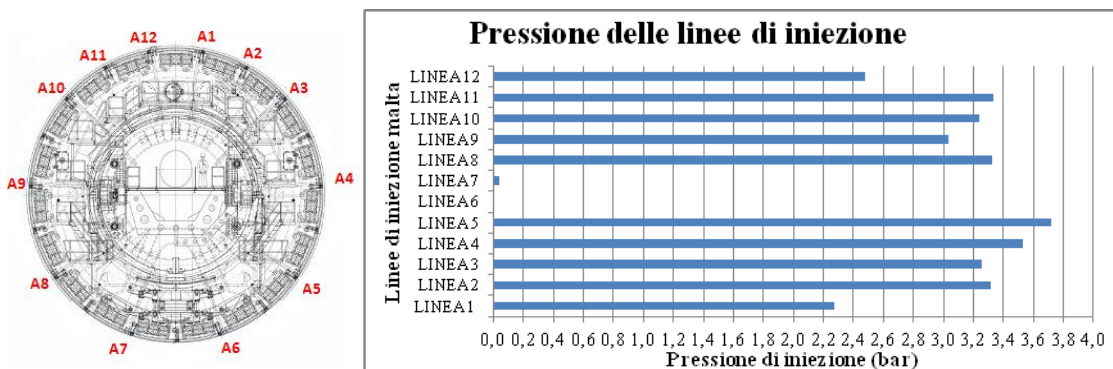


Grafico 6.41A Indicazione dei punti di iniezione della malta e andamento medio della pressione (bar) per ciascuna di esse per l'anello n°110

Gli andamenti del F.I.R., Fattore di Iniezione e F.E.R., Fattore di Espansione, ci forniscono un'indicazione sul condizionamento del materiale realizzato per l'anello n°110.

Come precedentemente detto, una delle motivazioni per cui si sono raggiunte delle prestazioni ottimali, oltre alla mancanza di problematiche che potrebbero aver influenzato l'andamento complessivo della macchina, è il condizionamento che favorisce e facilita la riuscita dello scavo all'interno del materiale che troviamo al fronte.

I *range*, forniti nell'analisi complessiva, risultano calzanti per quest'anello, vale a dire che il condizionamento è stato realizzato in maniera ottimale, rispetto a quanto previsto, fatta eccezione per alcuni picchi presenti per entrambe le grandezze.

Per il FIR generalmente i picchi si verificano prima del fermo della macchina e, una volta verificatosi, il valore scende a zero, in quanto non ho estrazione di materiale a cui questo parametro è direttamente associato.

Per il FER i picchi si verificano prima del fermo della macchina ma, non necessariamente il valore va a zero, durante lo *stop*: essendo legato al volume di schiuma che si genera a partire da una unità di liquido, specie se il fermo è di breve durata, il valore tende ad abbassarsi ma non ad azzerarsi.

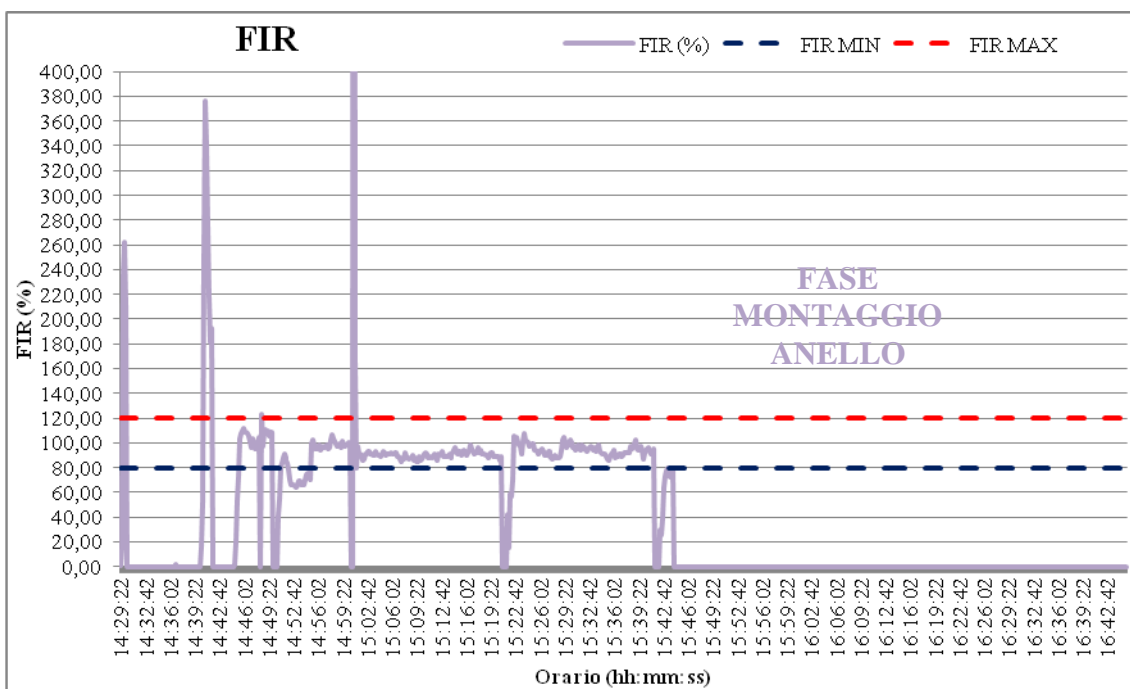


Grafico 6.42A Andamento del FIR per l'anello n°110

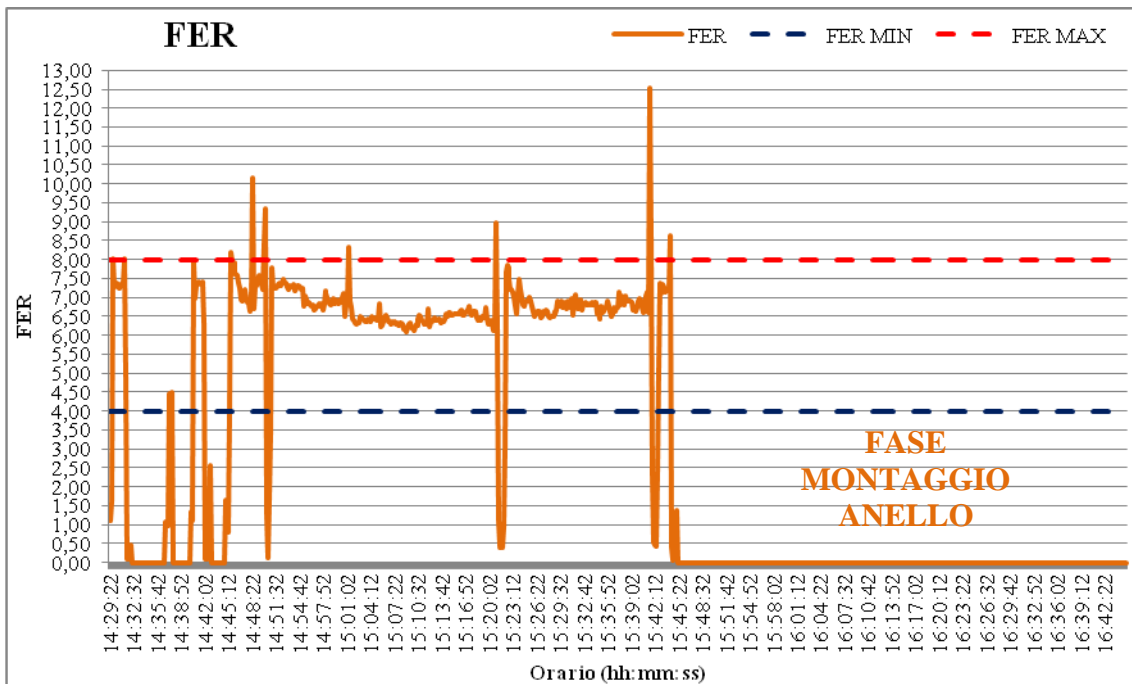


Grafico 6.43A Andamento del FER per l'anello n°110

I grafici seguenti riportano, invece, i consumi che hanno caratterizzato lo scavo nell'avanzamento n°110.

I primi (6.44A e 6.45A) riguardano il consumo di malta e di accelerante per le iniezioni a tergo dei conci.

Il dosaggio di accelerante rispetto al totale iniettato è pari al 6%, in media rispetto a quanto preventivato, e il volume teorico di miscela da iniettare, pari a $29,5 \text{ m}^3$, calcolato con la (6.5), è stato rispettato in quanto il volume totale iniettato è stato $29,46 \text{ m}^3$, di poco superiore al valore teorico, sintomo che non ci sono stati richiami di malta da cavità o geometrie particolari all'intorno dello scavo.

Da sottolineare, che la miscela bi componente iniettata durante l'avanzamento in esame, non finisce a tergo del rivestimento montato, ma in corrispondenza del fine scudo, vale a dire 3- 4 anelli precedenti a quello analizzato.

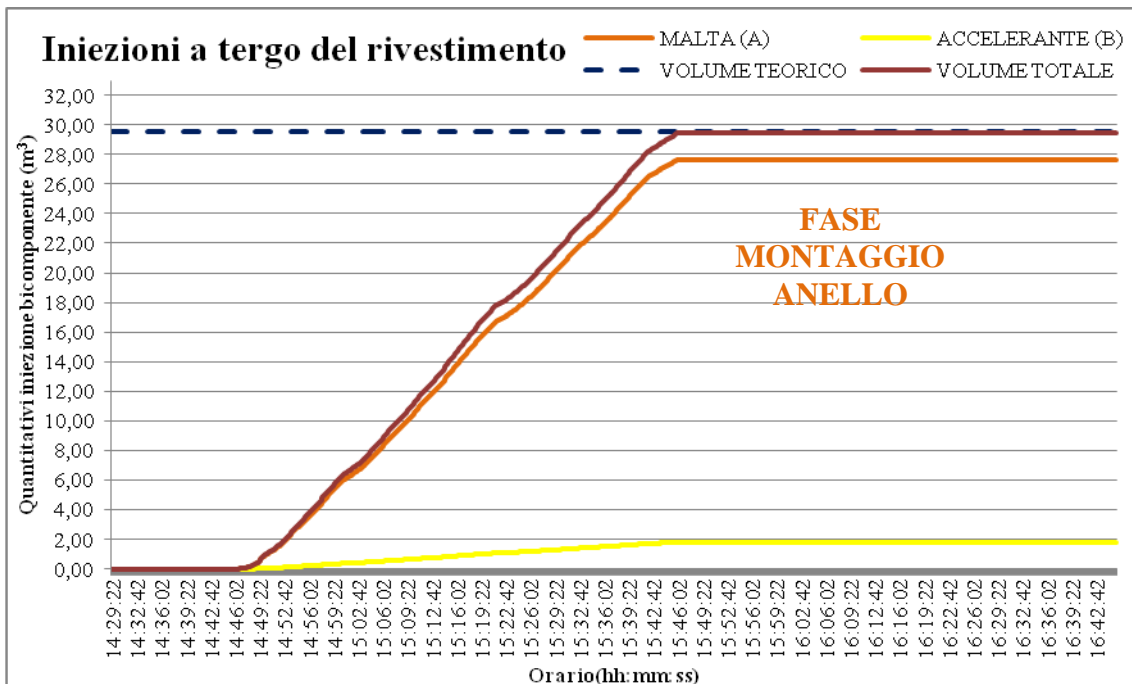


Grafico 6.44 A Quantitativo di malta e accelerante iniettati, volume totale iniettato e indicazione del volume teorico da iniettare (m³) nell'ambito dell'anello n°110

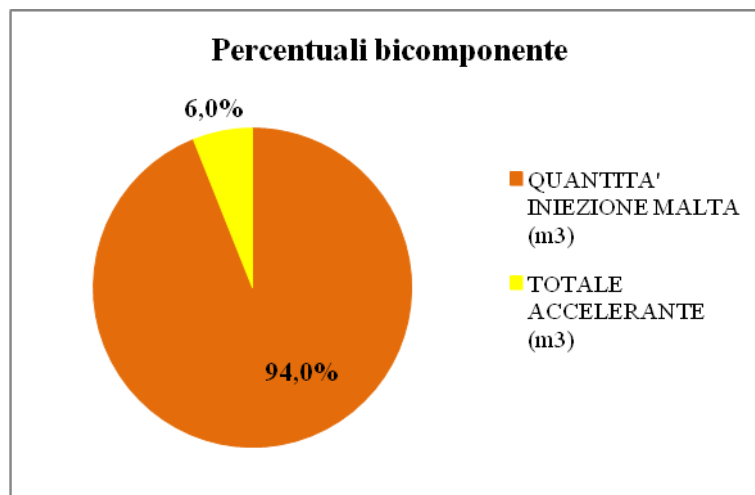


Grafico 6.45A Ripartizione dei quantitativi di malta e di accelerante nella miscela bicomponente dell'anello n°110

Per quanto riguarda i consumi necessari al condizionamento del materiale, abbiamo deciso di riportare, in grafici separati (6.48A e 6.49A), i quantitativi di tensioattivo (proveniente dal serbatoio 1 e 2) e polimero ad alta pressione, dai consumi totali di acqua (quella addizionata alla schiuma e quella fornita allo statore).

Per questo anello non è stato necessario impiegare il polimero ad alta pressione che, come precedentemente detto, ha la funzione di disgregante, a differenza del polimero proveniente dai serbatoi 1 e 2, che rappresenta le vere e proprie schiume.

È stato utilizzato solo il polimero proveniente dal serbatoio 1, poiché quello proveniente dal numero 2 non è stato necessario, come riscontrabile dal Grafico 6.46A.

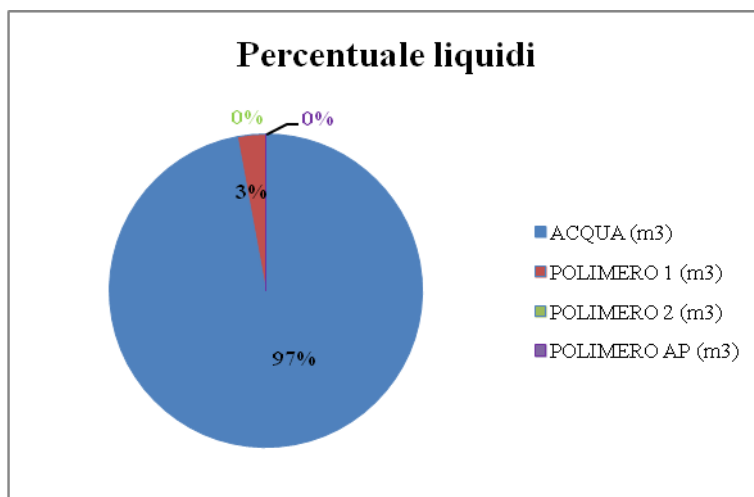


Grafico 6.46A Ripartizione dei quantitativi di liquidi per il condizionamento dell'anello n°110

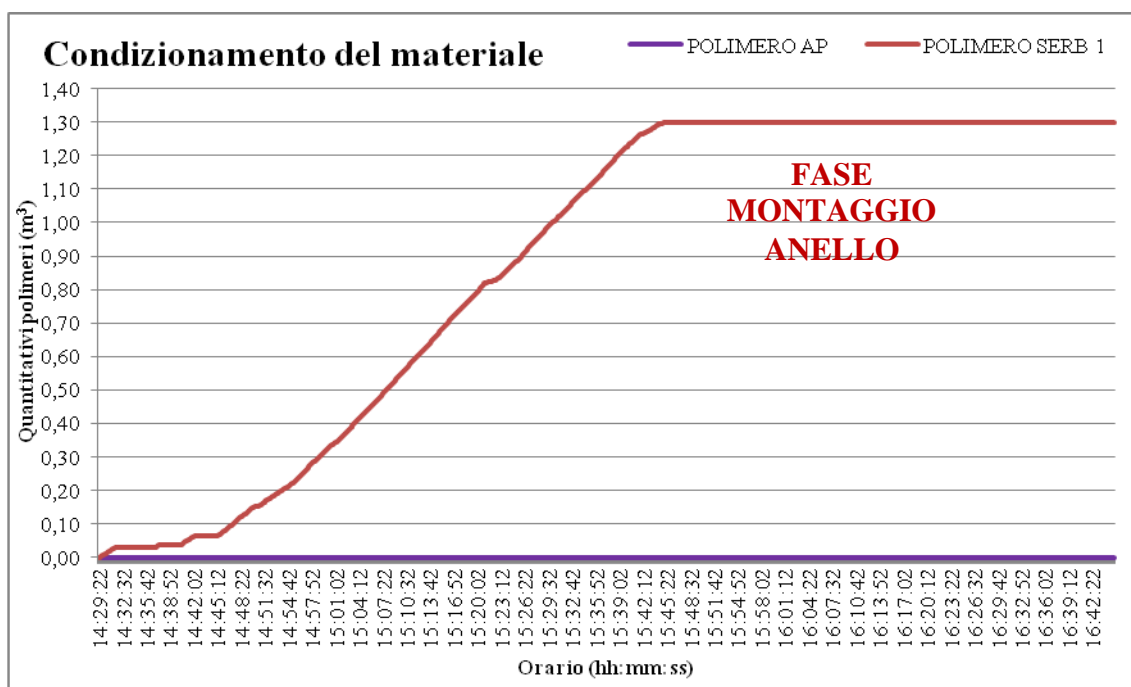


Grafico 6.47A Quantitativi di tensioattivo e polimero ad alta pressione iniettato nell'ambito dell'anello n°110

L'acqua delle schiume raggiunge un massimo di 43 m³, mentre il consumo dell'acqua per lo statore arriva ad un massimo di 130 m³: il primo quantitativo risulta sempre essere circa la metà del secondo, sottolineando una necessità consistente di liquido per facilitare l'estrazione meccanica del materiale mediante la coclea.

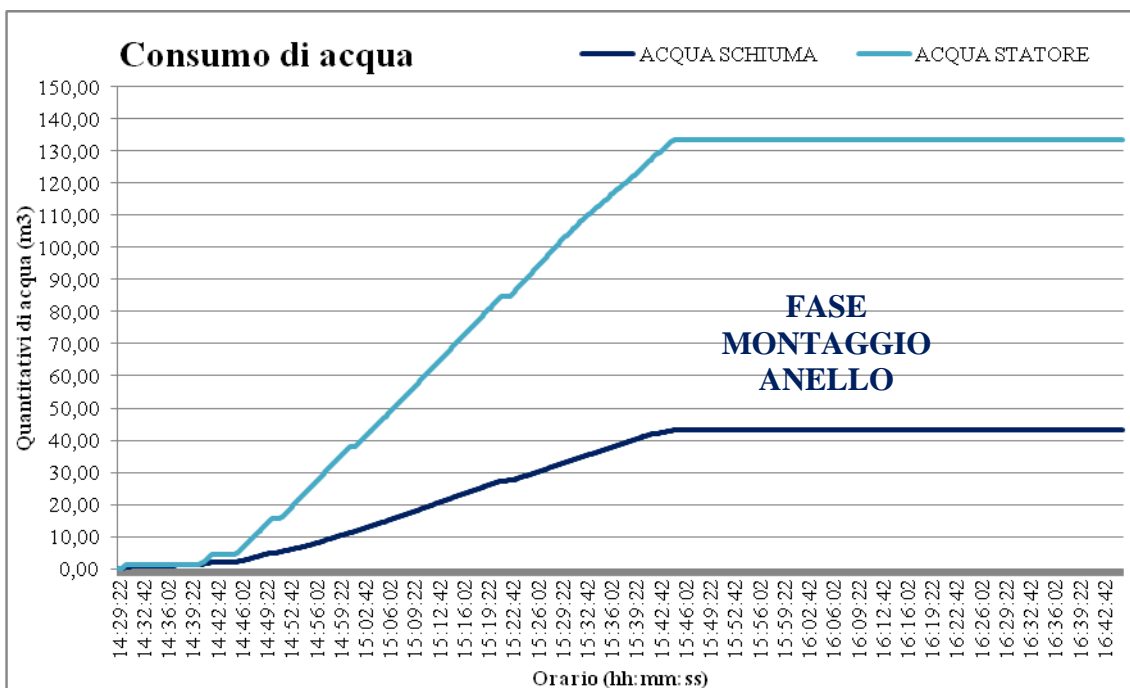


Grafico 6.48A Quantitativi di acqua addizionata alle schiume e iniettata nello statore nell'ambito dell'anello n°110

I consumi di grasso sono riportati di seguito per ogni tipologia: il quantitativo maggiore è associato al CONDAT WR89, impiegato per la tenuta delle spazzole, che continua ad essere iniettato anche terminata la fase di avanzamento in quanto le camere devono essere sempre piene per impedire l'eventuale passaggio di metano. Non sono presenti valori anomali rispetto al consumo medio previsto per la formazione delle Argille a Palombini.

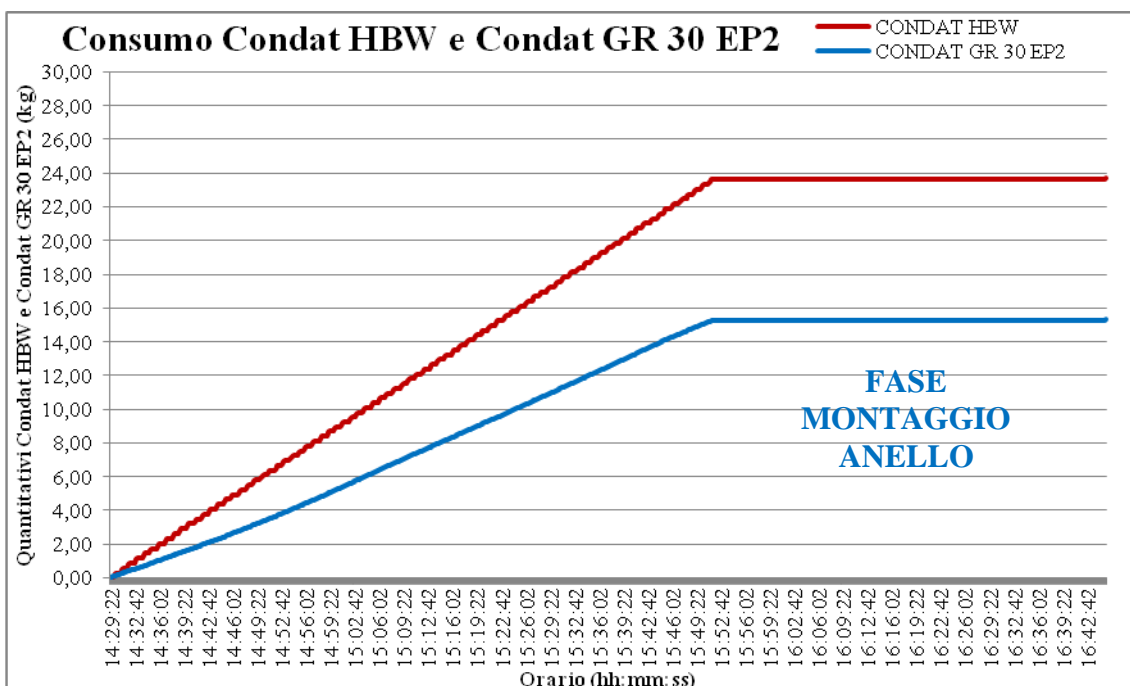


Grafico 6.49A Quantitativi di Condat HBW e Condat GR 30 EP2 consumato nell'ambito dell'anello n°110

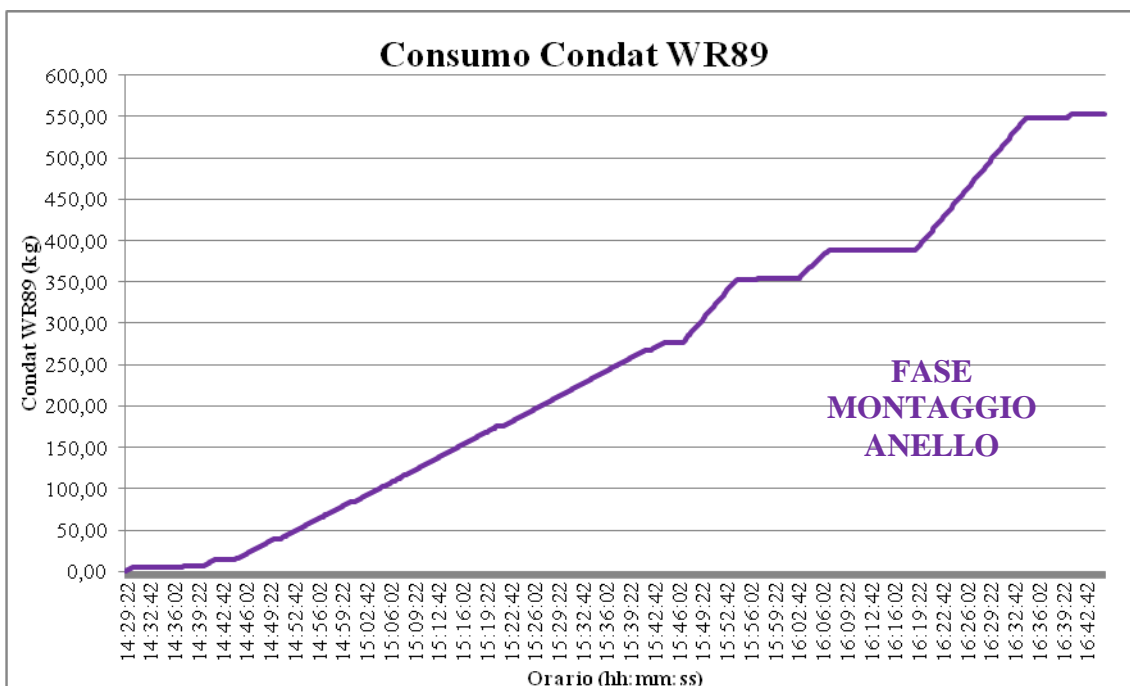


Grafico 6.51A Quantitativi di Condat WR89 consumato nell'ambito dell'anello n°110

Il consumo di energia elettrica è riportato in Tab. 6.13A, separando il consumo associato alla fase di scavo e quello associato alla fase di montaggio del rivestimento: il primo è decisamente

più elevato del secondo in quanto, durante il posizionamento dei conci, nastro trasportatore, coclea e testa sono fermi, e gli unici elementi in movimento, in più rispetto alla fase di avanzamento, sono il *segment feeder*, il *segment crane* e l'erettore. Per quanto riguarda il valore totale, questo si assesta entro il *range* proposto in precedenza.

ANELLO N°110	
ENERGIA ELETTRICA SCAVO (kWh)	4737,92
ENERGIA ELETTRICA MONTAGGIO ANELLO(kWh)	1003,78
ENERGIA ELETTRICA TOTALE (kWh)	5741,70

Tabella 6.13A Energia elettrica impiegata per la realizzazione dell'avanzamento n°110

Poiché la nostra analisi prevede anche di stimare quanto la macchina sia stata efficiente a meno di complicazioni legate al nastro trasportare, alla produzione e trasporto dei conci necessari per il rivestimento definitivo e alla eventuale presenza di gas metano, nella Tab. 6.14A si riporta la mancanza di tali problematiche per l'anello n°110.

PROBLEMATICHE ANELLO N° 110	
NASTRO TRASPORTATORE	NO
PRODUZIONE CONCI	NO
TRASPORTO CONCI IN GALLERIA	NO
PRESENZA DI GAS METANO	NO

Tabella 6.14A Problematiche riscontrate per l'avanzamento n°110

Come detto, altro fattore fondamentale per capire effettivamente il motivo per cui un anello abbia presentato prestazioni migliori rispetto ad un altro, è verificare quale squadra lo ha montato; per l'anello in esame, lo scavo e la costruzione del rivestimento definitivo è ad opera della squadra associata al pilota P5, che in percentuale è quella che è riuscita a montare il maggior numero di anelli per la tratta delle Argille a Palombini.

Fra i parametri elaborati troviamo la fresabilità, che si assesta fra i valori 0,5-0,7, ben al di sopra dell'andamento medio all'interno della formazione Argille a Palombini, a sottolineare che, per questo avanzamento, la macchina non ha avuto problematiche a procedere, e, in aggiunta, con grande efficienza.

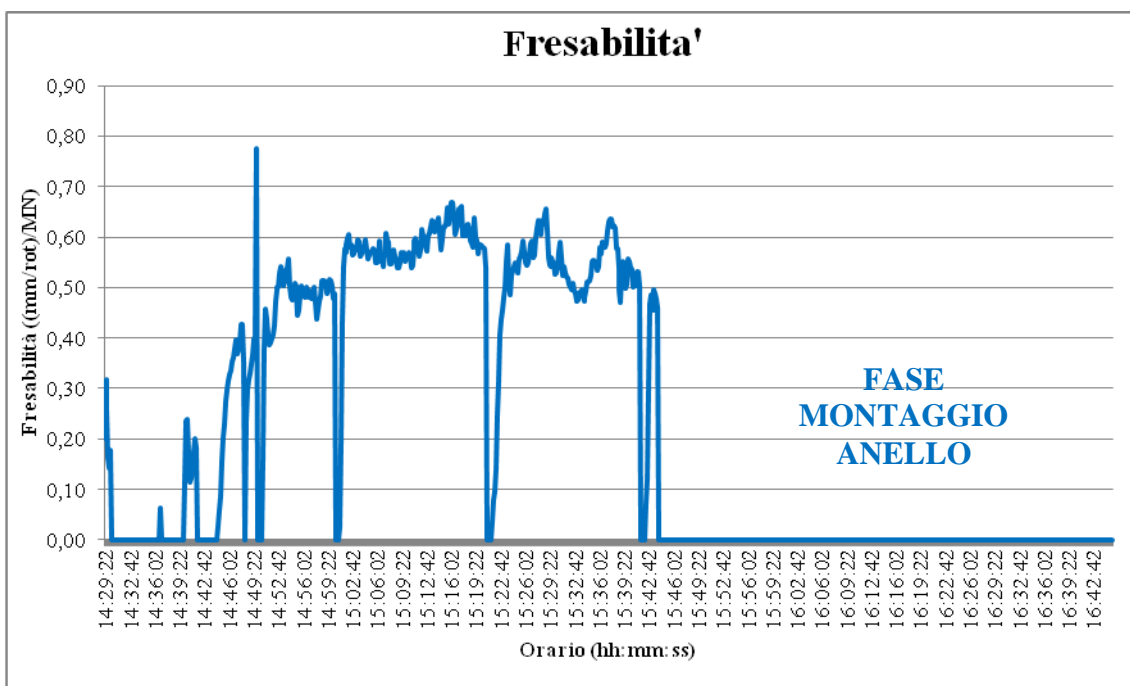


Grafico 6.52A Andamento della fresabilita' nell'anello n°110

I valori del Livello di avanzamento, Livello di efficienza e Coefficiente di utilizzazione sono riportati in Tab. 6.15A.

ANELLO N°110	
LIVELLO AVANZAMENTO	1,05
LIVELLO EFFICIENZA	0,56
COEFFICIENTE DI UTILIZZAZIONE	44%

Tabella 6.15A Livello di avanzamento, Livello di efficienza e Coefficiente di Utilizzazione per l'anello n°110

Per l'anello n° 110, le varie attivita' si sono svolte in maniera ottimale, in quanto:

- tempo di scavo e tempo di montaggio dell'anello sono praticamente uguali, come si evince dal livello di avanzamento;
- i tempi di fermo sono associati praticamente solo al montaggio dell'anello, come si evince dal valore circa 0,5 del livello di efficienza;
- il tempo di scavo vero e proprio ha inciso per circa il 45% rispetto al totale, come evidenzia il coefficiente di utilizzazione.

Per il singolo anello abbiamo anche analizzato altri parametri che ci sembravano essere di interesse.

Il primo ad essere esaminato è il rollio, che, come precedentemente detto, rappresenta la rotazione dello scudo, misurata in mm, rispetto all'avanzamento della macchina, misurato in m; per quanto concerne la formazione delle Argille a Palombini, non si sono riscontrate problematiche sotto questo punto di vista, in parte anche perché le argille hanno un comportamento restringente rispetto allo scavo, impedendo così una consistente oscillazione dello scudo.

Il Grafico 6.53A mostra come ci siano state delle oscillazioni nell'ambito dell'anello n°110, anche di una certa ampiezza, ma ci mostra anche come si interviene qualora queste si manifestino: le oscillazioni, se ben guardiamo, sono in corrispondenza dei momenti di fermo della macchina, in quanto se le rotazioni dello scudo giungono a valori considerevoli è necessario, in primis, evitare che ci sia un rovesciamento della TBM, fermando l'avanzamento e, successivamente, invertire la rotazione per riportare lo scudo in posizione corretta.

Mediante questo grafico abbiamo motivato i tempi di fermo subiti da questo anello.

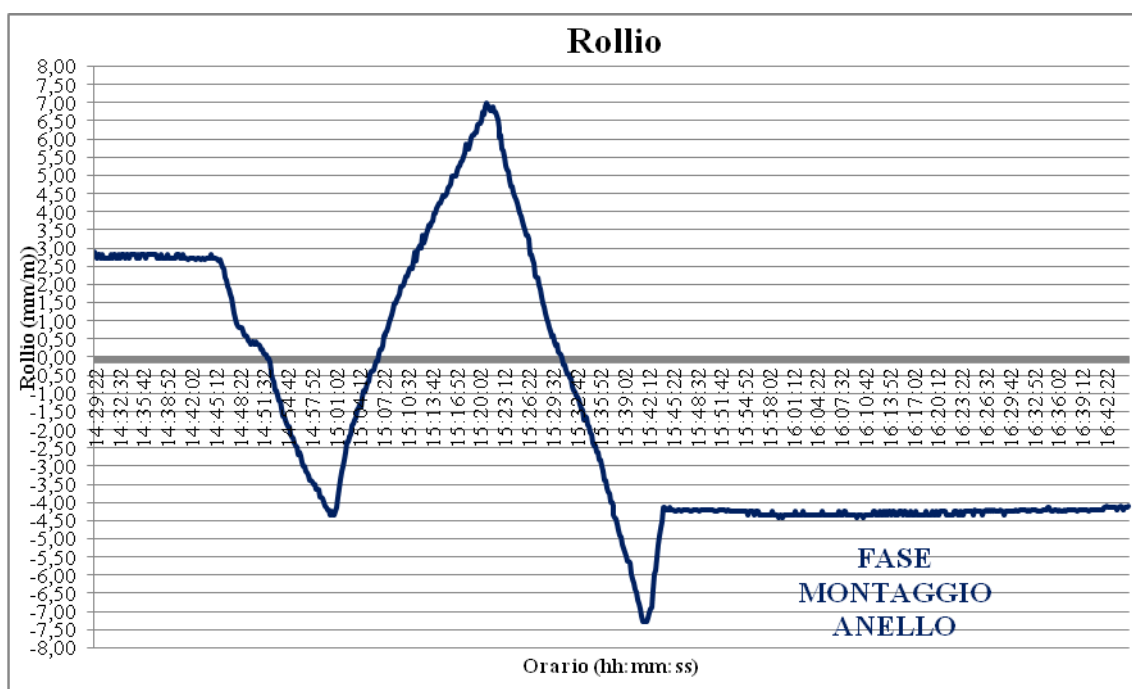


Grafico 6.53A Andamento del rollio (mm/m) per l'anello n° 110

Il confronto seguente è necessario per verificare che le pressioni mantenute nelle linee di iniezione della malta sono state sufficienti per eseguire correttamente il riempimento a tergo dei conci.

Possiamo verificare che lo scostamento di 1 bar previsto, rispetto al valore medio delle pressioni di terra, è stato tutto sommato rispettato, fatta eccezione per la prima fase di scavo, in quanto le linee delle malte iniziano ad iniettare successivamente alla realizzazione di 10 cm di avanzamento, motivo per il quale le pressioni di iniezione risultano essere più basse di quelle dei sensori di terra.

Il picco finale, prima dell'abbassamento drastico, nella fase di montaggio, ricordiamo essere dovuto alla chiusura del flusso della malta.

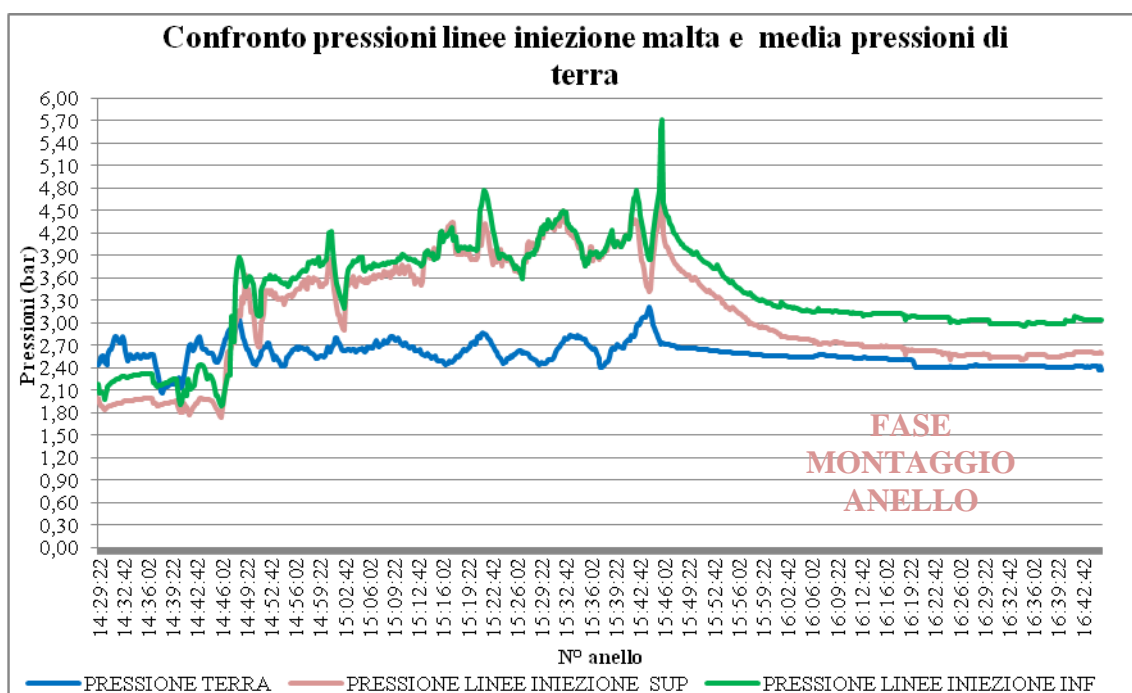


Grafico 6.54A Confronto fra le pressioni di iniezione della malta e la media dei sensori di pressione di terra per l'anello n°110

Riportiamo adesso i *range* ottenuti per questo anello e per gli altri, presi in esame ma di cui non abbiamo riportato l'elaborazione, confrontati con quelli previsti per la formazione in esame.

PARAMETRO	RANGE APA		RANGE 110		RANGE 172		RANGE 173		RANGE 171	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
AVANZAMENTO (mm/min)	15	25	25	35	25	35	25	35	25	35
FORZA DI SPINTA (kN)	50000	90000	50000	90000	50000	90000	50000	90000	50000	90000
PENETRAZIONE (mm/rot)	15	30	15	35	15	35	15	35	15	35
PRESSIONE IN CALOTTA (bar)	1,6	2	1,4	2,4	1,4	2,4	1,4	2,4	1,4	2,4
MATERIALE SMARINATO (ton)	900-1000		800-900		900-1000		900-1000		900-1000	
PRESSIONE BICOMPONENTE (bar)	2,5	4	2,6	4	2,6	5	2,6	6	2,6	5
VOLUME BICOMPONENTE (m ³)	29,5		29,5		29,5		29,5		29,5	
FIR (%)	80	120	80	120	80	120	80	120	80	120
FER (1:x)	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8
MALTA A (m ³)	25	29	28		25		25		28	
ACCELERANTE B (m ³)	0	2	2		2		2		2	
POLIMERO (SERB 1) (m ³)	0	1,5	1		1		1		1	
POLIMERO (SERB 2) (m ³)	0	0,5	0		0		0		0	
POLIMERO AP (m ³)	0	0,5	0		0		0		0	
ACQUA SCHIUME (m ³)	30	130	43		48		45		47	
ACQUA STATORE (m ³)	90	170	133		113		106		112	
GRASSO GR 30 EP2 (kg)	10	35	15		18		19		18	
GRASSO CONDAT HBW (kg)	30	70	24		20		21		20	
GRASSO CONDAT W89 (kg)	350	700	552		382		423		329	
ENERGIA ELETTRICA (kWh)	5000	20000	5742		6020		5791		5823	

Tabella 6.16A Range individuati per gli anelli n°110, 172,173,171

PARAMETRO	RANGE 108		RANGE 179		RANGE 187		RANGE 109		RANGE 96	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
AVANZAMENTO (mm/min)	21	30	25	35	25	35	25	35	25	35
FORZA DI SPINTA (kN)	50000	90000	50000	90000	50000	90000	50000	90000	50000	90000
PENETRAZIONE (mm/rot)	15	35	15	35	22	35	15	35	15	35
PRESSIONE IN CALOTTA (bar)	1,4	2,4	1,4	2,4	1,5	2	1,4	2,4	1,3	2
MATERIALE SMARINATO (ton)	900-1000		900-1000		900-1000		900-1000		900-1000	
PRESSIONE BICOMPONENTE (bar)	2,6	4	2,6	5	2,2	4	2,6	4	2,6	4
VOLUME BICOMPONENTE (m ³)	29,5		29,5		29,5		29,5		29,5	
FIR (%)	80	120	80	120	80	120	80	120	80	120
FER (1:x)	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8
MALTA A (m ³)	28		26		24		27		26	
ACCELERANTE B (m ³)	2		2		2		2		2	
POLIMERO (SERB 1) (m ³)	1		1		2		1		1	
POLIMERO (SERB 2) (m ³)	0		0		0		0		0	
POLIMERO AP (m ³)	0		0		0		0		0	
ACQUA SCHIUME (m ³)	43		46		53		46		47	
ACQUA STATORE (m ³)	148		123		116		150		142	
GRASSO GR 30 EP2 (kg)	15		22		17		16		25	
GRASSO CONDAT HBW (kg)	28		26		21		28		38	
GRASSO CONDAT W89 (kg)	278		589		417		273		665	
ENERGIA ELETTRICA (kWh)	7009		7157		7309		6946		6724	

Tabella 6.17A Range individuati per gli anelli n°108, 179,187,109, 96

La Tab. 6.18A mostra se sono state presenti delle problematiche, che avrebbero potuto inficiare sull'efficienza della macchina, per gli avanzamenti esaminati e riportata l'indicazione della squadra che ha provveduto al montaggio di questi.

TIPO DI PROBLEMA	ANELLO								
	N°110	N°172	N°173	N°171	N°108	N°179	N°187	N°109	N°96
NASTRO TRASPORTATORE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
PRODUZIONE CONCI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TRASPORTO CONCI IN GALLERIA	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PRESENZA DI GAS METANO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SQUADRA	P5-P1	P5	P2	P5	P5	P5	P5	P5	P5

Tabella 6.18A Problematiche che hanno caratterizzato gli avanzamenti esaminati

Le tabelle precedenti mettono in evidenza che , senza considerare velocità di avanzamento e penetrazione, che sono i parametri sulla base abbiamo scelto gli anelli sopra analizzati, i *range* che differiscono da quelli proposti per la formazione delle Argille a Palombini sono:

- pressione in calotta, che presenta generalmente entrambi i limiti leggermente spostati per tutti gli anelli analizzati;
- pressione di iniezione della miscela bi componente, non tutti gli anelli si scostano dall'intervallo di valori proposti; quelli che lo fanno presentano il limite superiore incrementato a sottolineare che sono presenti fenomeni di convergenza accentuati e che, per realizzare un corretto riempimento a tergo del rivestimento, è necessaria una pressione elevata.

Inoltre, bisogna evidenziare che, gli anelli con le migliori *performance*, sono stati completati, fatta eccezione per il n°173, dalla squadra n°5, sintomo di una maggiore efficienza e una maggiore esperienza dei suoi componenti.

Riportiamo di seguito (Tab. 6.19A-6.20A) anche le tempistiche che hanno caratterizzato gli anelli precedentemente analizzati, evidenziando che la maggior parte di questi non ha superato le 3 ore complessive di avanzamento e montaggio del rivestimento, segnale che problematiche di rilievo non si sono verificate.

TEMPISTICHE		N°110	N°172	N°173	N°171	N°108
AVANZAMENTO	(hh:mm:ss)	00:59:55	01:04:42	01:03:22	01:04:26	01:08:29
MONTAGGIO ANELLO	(hh:mm:ss)	00:57:01	01:01:43	00:53:56	00:56:29	01:16:21
FERMO	(hh:mm:ss)	00:19:25	00:42:55	00:03:15	00:03:06	00:26:28
TOTALE	(hh:mm:ss)	02:16:12	02:49:20	02:00:30	02:04:02	02:51:11

TEMPISTICHE		N°179	N°187	N°109	N°96
AVANZAMENTO	(hh:mm:ss)	01:03:45	01:08:58	01:08:18	01:07:31
MONTAGGIO ANELLO	(hh:mm:ss)	01:58:21	02:27:53	01:47:51	01:17:04
FERMO	(hh:mm:ss)	00:56:46	00:01:19	00:33:09	00:19:38
TOTALE	(hh:mm:ss)	03:58:51	03:38:12	03:29:12	02:44:12

Tabella 6.19A-6.20A Tempistiche relative agli avanzamenti esaminati

Riportiamo anche gli anelli che hanno presentato delle *performance*, a nostro avviso, scadenti e relativi intervalli per i parametri esaminati.

Salta subito all'occhio che molti *range* non corrispondono a quanto previsto mediamente per la formazione in esame, sia per quanto riguarda i parametri di avanzamento della TBM, sia per quanto riguarda i consumi.

Possiamo motivare questo comportamento come segue:

- gli anelli n° 21, 22, 26, 34 sono immediatamente successivi ai primissimi, che abbiamo preventivamente deciso di non esaminare, in quanto avrebbero alterato l'intera analisi, perciò è possibile che questi risentano ancora delle fasi iniziali dello scavo in cui, il materiale non era caratterizzato dalle sole Argille a Palombini e la macchina era in fase di rodaggio;
- l'anello n°86 è il primo dopo un lungo periodo di fermo quindi è probabile che risentisse delle problematiche legate alla ripartenza della macchina;
- per gli altri anelli, possiamo associare queste scadenti prestazioni a problemi nell'avanzamento, problemi meccanici e di manutenzione, evidenziati anche dalle tempistiche elevate che li hanno caratterizzati;
- per alcuni di questi avanzamenti si sono presentati anche problemi di rollio, che possono aver influito sulle prestazioni realizzate;
- in ultimo è necessario evidenziare che queste cattive prestazioni non sono imputabili ad una sola squadra, ma sono stati equamente distribuiti fra quelle presenti.

PARAMETRO	RANGE APA		RANGE 22		RANGE 79		RANGE 21		RANGE 86	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
AVANZAMENTO (mm/min)	15	25	10	20	10	20	12	22	10	18
FORZA DI SPINTA (kN)	50000	90000	50000	90000	50000	90000	50000	90000	50000	90000
PENETRAZIONE (mm/rot)	15	30	8	15	10	20	8	15	8	15
PRESSIONE IN CALOTTA (bar)	1,6	2	0,8	1,6	0,5	2,4	1	1,5	1,3	2,2
MATERIALE SMARINATO (ton)	900-1000		800-900		800-900		800-900		1400-1500	
PRESSIONE BICOMPONENTE (bar)	2,6	4	0,4	2,4	1,6	4	0,4	2,4	0,8	2,4
VOLUME BICOMPONENTE (m ³)	29,5		33		29,5		33		29,5	
FIR (%)	80	120	60	80	20	70	230	360	120	220
FER (1:x)	4	8	0	1	1	4	3	10	15	30
MALTA A (m ³)	25	29	32		28		32		30	
ACCELERANTE B (m ³)	0	2	2		2		2		2	
POLIMERO (SERB 1) (m ³)	0	1,5	2		1		0		1	
POLIMERO (SERB 2) (m ³)	0	0,5	2		1		0		0	
POLIMERO AP (m ³)	0	0,5	0		0		0		0	
ACQUA SCHIUME (m ³)	30	130	19993		106		19991		33	
ACQUA STATORE (m ³)	90	170	0		0		0		190	
GRASSO GR 30 EP2 (kg)	10	35	73		30		13		338	
GRASSO CONDAT HBW (kg)	30	70	140		74		75		532	
GRASSO CONDAT W89 (kg)	350	700	640		885		379		388	
ENERGIA ELETTRICA (kWh)	5000	20000	24794		19690		15136		53328	

Tabella 6.21A Range individuati per gli anelli n°22, 79,21,86

PARAMETRO	RANGE 55		RANGE 142		RANGE 26		RANGE 137		RANGE 34	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
AVANZAMENTO (mm/min)	18	20	8	20	12	24	10	22	12	22
FORZA DI SPINTA (kN)	50000	90000	50000	90000	50000	90000	50000	90000	50000	90000
PENETRAZIONE (mm/rot)	8	15	13	23	12	20	8	23	12	20
PRESSIONE IN CALOTTA (bar)	0,5	2,4	1,4	2,4	1	1,6	1,3	2,2	1	2
MATERIALE SMARINATO (ton)	800-900		900-1000		800-900		900-1000		900-1000	
PRESSIONE BICOMPONENTE (bar)	0,8	1,8	2,6	4	0,4	2,4	2,6	4	1,6	3,6
VOLUME BICOMPONENTE (m ³)	29,5		29,5		33		29,5		29,5	
FIR (%)	160	220	100	160	160	300	100	140	100	160
FER (1:x)	6	12	6	9	1	4	6	9	3	6
MALTA A (m ³)	28		26		31		25		25	
ACCELERANTE B (m ³)	2		2		2		2		2	
POLIMERO (SERB 1) (m ³)	1		1		1		1		0	
POLIMERO (SERB 2) (m ³)	0		0		1		0		0	
POLIMERO AP (m ³)	0		0		0		0		0	
ACQUA SCHIUME (m ³)	122		51		19991		47		128	
ACQUA STATORE (m ³)	0		133		0		127		0	
GRASSO GR 30 EP2 (kg)	33		33		40		40		42	
GRASSO CONDAT HBW (kg)	71		37		67		2		72	
GRASSO CONDAT W89 (kg)	589		624		597		418		561	
ENERGIA ELETTRICA (kWh)	22392		9062		15037		8433		16892	

Tabella 6.22A Range individuati per gli anelli n°55, 142,26,137,34

La Tab. 6.23A mostra se si sono presentate delle problematiche, che avrebbero potuto inficiare sull'efficienza della macchina: in generale la maggior parte dei fermi è stata imputata a malfunzionamenti del nastro, pulizia delle linee della schiuma e delle malte, estensione dell'impianto di ventilazione e malfunzionamento del sistema di trasporto dei concii.

La presenza di metano, indicato in tabella, è associata all'ingresso in camera di scavo per verifiche e sostituzione di eventuali sensori difettosi, quindi in situazioni in cui la macchina era già ferma.

TIPO DI PROBLEMA	ANELLO								
	N° 22	N°79	N°21	N°86	N°55	N°142	N°26	N°137	N°34
NASTRO TRASPORTATORE	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
PRODUZIONE CONCI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TRASPORTO CONCI IN GALLERIA	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
PRESENZA DI GAS METANO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SQUADRA	P5	P1	P5	P2	P5	P2	P1	P2	P2

Tabella 6.23A Problematiche che hanno caratterizzato gli avanzamenti esaminati

Riportiamo di seguito (Tab. 6.24A-6.25A) anche le tempistiche che hanno caratterizzato gli anelli precedentemente analizzati, evidenziando che, la maggior parte di questi, ha superato abbondantemente le 3 ore, considerate un tempo ragionevole per lo scavo e il montaggio del rivestimento, segnale che, per questi avanzamenti, si sono presentate delle problematiche che hanno inficiato sulle prestazioni della macchina.

TEMPISTICHE		22	79	21	86	55
AVANZAMENTO	(hh:mm:ss)	02:34:26	02:53:12	02:07:54	02:12:38	02:11:40
MONTAGGIO ANELLO	(hh:mm:ss)	04:00:21	03:27:00	02:10:35	06:03:20	01:23:31
FERMO	(hh:mm:ss)	12:35:04	08:02:24	11:56:27	75:59:01	16:08:14
TOTALE	(hh:mm:ss)	19:09:21	14:22:23	16:14:51	84:14:28	19:43:10

TEMPISTICHE		142	26	137	34
AVANZAMENTO	(hh:mm:ss)	02:01:14	01:49:45	01:54:23	01:54:11
MONTAGGIO ANELLO	(hh:mm:ss)	01:07:57	08:01:35	01:14:47	03:07:31
FERMO	(hh:mm:ss)	00:40:52	02:28:54	01:28:22	01:49:02
TOTALE	(hh:mm:ss)	03:50:00	12:20:00	04:37:31	06:50:34

Tabella 6.24A-6.25A Tempistiche relative agli avanzamenti esaminati

6.3.3 Conclusioni per la formazione delle Argille a Palombini

Per quanto concerne il confronto con i valori di progetto, per la formazione delle Argille a Palombini:

- la velocità di avanzamento è risultato maggiore rispetto a quanto mediamente previsto, raggiungendo, talvolta, anche valori di 33 mm/min;
- la penetrazione ha raggiunto valori superiori al 25 mm/rot, indicato come limite superiore, segnale di una maggiore efficienza in relazione alle previsioni fatte;
- la forza di spinta ha rispettato i *range* pronosticati, mantenendosi mediamente sui 70000 kN;
- la pressione in calotta ha raggiunto valori maggiori di quelli indicati, specialmente nella prima tratta, motivo per il quale l'estremo superiore è stato modificato con il valore 2 bar;
- la pressione di iniezione della malta è un parametro di difficile gestione e per il quale, mediamente, si sono raggiunti valori superiori ai previsti;
- il condizionamento è stato eseguito come previsto per quanto riguarda il F.I.R., vale a dire la diluizione del materiale nella schiuma, mentre per il Fattore di Espansione F.E.R. , il quantitativo di schiuma che si forma a partire da un'unità di volume liquido, si sono osservati valori più bassi.

Analizzando, invece, gli avanzamenti con le migliori/peggiori *performance*, se ne è dedotto che:

- per gli anelli migliori, i *range* che difficilmente sono stati rispettati sono stati la pressione in calotta e la pressione di iniezione della malta;
- per gli anelli peggiori, i *range* che difficilmente sono stati rispettati sono stati la pressione in calotta, la pressione di iniezione della malta, i volumi iniettati di miscela bi componente e i parametri di condizionamento;
- i consumi rimangono entro la media, per gli anelli considerati migliori, mentre, per gli anelli caratterizzati da *performance* peggiori, sono presenti dei valori anomali;
- dall'analisi effettuata, le tempistiche che garantiscono avanzamenti soddisfacenti, sono comprese fra le 2-3 ore, comprensive di fase di scavo e fase di montaggio del rivestimento, che, nel caso degli avanzamenti più scadenti, non sono state rispettate;
- la squadra che ha montato il maggior numero di anelli, fra i quali la maggior parte di quelli considerati migliori in termini prestazionali, è quella associata al pilota P5, che è anche quella che in percentuale ha lavorato un numero di ore inferiore rispetto alle altre, mentre quella che ne ha montati il numero minore è quella associata al pilota P3;

- per gli anelli migliori, raramente, si sono riscontrate problematiche con il nastro trasportatore, mentre sono assenti problemi relativi ai segmenti del rivestimento così come per il gas; per quanto riguarda gli anelli peggiori, si sono verificati fermi e problematiche sia a causa del nastro, sia a causa del trasporto dei conci in galleria, sia per ulteriori malfunzionamenti e manutenzioni.

Da queste considerazioni si evince che la complessità di questa formazione influenza fortemente l'avanzamento e questo trova riscontro:

- in valori elevati per la forza di spinta e per la forza di contatto, senza prestazioni considerevoli;
- valori elevati per le pressioni del fronte, rispetto all'andamento medio previsto per le argille;
- valori della fresabilità decisamente diversi fra la prima e la seconda porzione della formazione;
- parametri di condizionamento molto distanti da quanto preventivato, specialmente per la prima porzione della tratta.

Inoltre:

- buona parte delle prestazioni analizzate è stata fortemente influenzata dalla prima fase di scavo, in particolare fino all'anello n°85, in parte, perché è stata la tratta su cui la macchina è stata "rodata", in parte, perché si sono presentate delle complicazioni dovute alle caratteristiche molto complesse della formazione;
- le problematiche legate al nastro trasportatore hanno inciso in maniera consistente sull'avanzamento, a differenza del trasporto dei conci che ha avuto un'influenza minore;
- è stato rilevato metano in 2 sole occasioni e, per entrambe, tale rilievo non ha comportato ulteriori fermi della macchina.

Il confronto successivo, con la tratta arenacea, evidenzierà come la complessità di questa formazione abbia inciso sulle prestazioni della macchina.

Per la successiva tratta di Argille a Palombini, che verrà attraversata in prossimità dell'uscita della Canna Nord, e per la Canna Sud, consigliamo, quindi, di seguire i *range* proposti in conseguenza dell'analisi complessiva, in quanto la specifica ha evidenziato che, con i medesimi intervalli, possono essere raggiunte prestazioni elevate in termini di velocità di avanzamento e penetrazione nette, se non si verificano malfunzionamenti o complicazioni con il materiale che stiamo andando a scavare.

Inoltre è consigliabile tenere sotto osservazione parametri quali pressioni al fronte, forza di spinta e forza di contatto, che potrebbero essere indicative per prevedere varie problematiche, anche di natura significativa.

6.4 Passaggio di formazione da APA a SCB

Il passaggio di formazione, previsto per l'anello 192 e verificatosi per l'anello n°191, è stato constatato mediante diverse considerazioni e strumenti:

- l'impiego del BEAM, *Bore Tunnelling Electrical Ahead Monitoring*;
- l'osservazione diretta, dalla tramoggia e dei nastri, e indiretta, mediante le telecamere, del materiale trasportato dai mezzi di smarino della macchina, in particolare della granulometria del marino;
- andamento della forza di contatto, che rappresenta la vera e propria forza necessaria allo scavo, cioè quella di cui hanno bisogno gli utensili per disgregare il materiale con cui sono a contatto.

Il BEAM è una tecnica di previsione delle formazioni presenti, elettrica non intrusiva, che opera in continuo durante la perforazione di un tunnel con TBM. È basato sull'emissione di una debole corrente elettrica alternata, che permette il monitoraggio di un prisma di roccia fino a una profondità massima di circa 3 diametri in avanti rispetto al fronte.

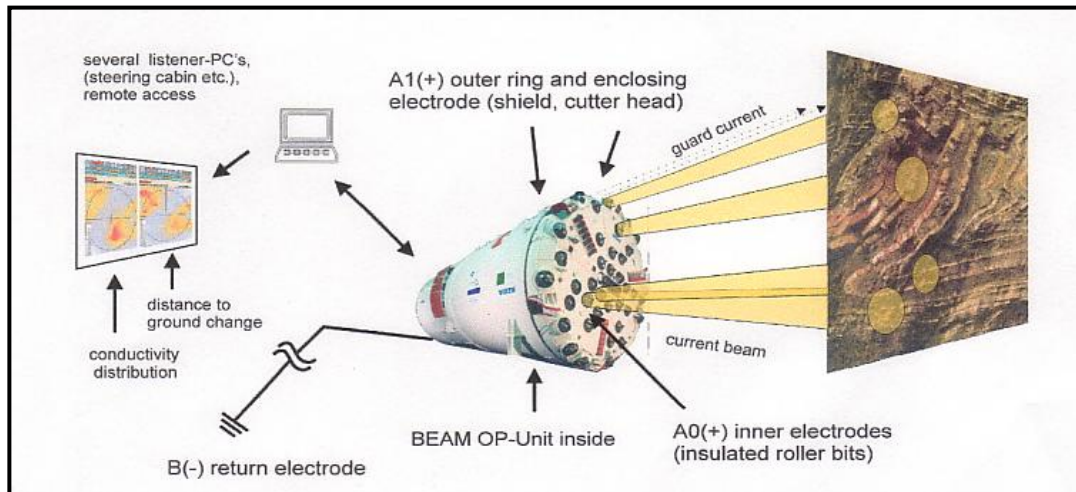


Figura 6.7 Schema di funzionamento del BEAM [5]

Le componenti principali del sistema di indagine sono:

- l'unità di misura, collocata nella cabina dell'operatore della TBM;
- strumenti di scavo speciali adattati che sono utilizzati come elettrodi.

L'unità è collegata al sistema di guida e riceve il segnale di perforazione che permette l'acquisizione, in maniera completamente automatica, e la visualizzazione, su un monitor integrato, in tempo reale, dei dati. Le strutture di comunicazione trasferiscono poi i risultati di previsioni a ogni computer accreditato.

Il monitoraggio è eseguito mediante il controllo di due parametri:

- PFE (%) = Effetto di Frequenza Percentuale, che rappresenta la capacità dell'ammasso roccioso di immagazzinare l'energia elettrica ed è correlata alla porosità della roccia; i valori nulli e negativi sono indicativi di sezioni di roccia con elevata fratturazione e porosità;
- R (ohm) = Resistività, che rappresenta l'attitudine di un materiale ad opporre resistenza al passaggio di corrente, fornisce informazioni aggiuntive sulla presenza di fratture e cavità sotterranee (in cui possono essere presenti gas/acqua o aria), nonché sulla geologia del materiale attraversato dalla corrente.

Sulla base dei dati di misura del PFE e la resistività R, un software di valutazione avanzato esegue l'interpretazione e la classificazione geoelettrica-geologica / idrogeologica. Dal 2000, il sistema geofisico di predizione ha soddisfatto le esigenze pratiche in varie condizioni di perforazione con TBM, fornendo risultati affidabili in roccia così come in terreno. Avvertendo in tempo reale dei cambiamenti di suolo significativi durante l'avanzamento, questo sistema risulta essere estremamente vantaggioso per ridurre dei rischi pericolosi.

A condizione che le operazioni di scavo e montaggio del rivestimento non vengano ostruiti, dall'acquisizione dei dati, previsioni di questo genere, senza bisogno di perforazioni, sono molto richieste.

D'altra parte conoscere le condizioni del terreno davanti alla testa rende lo scavo più rapido, con conseguenti elevati tassi di produzione, e contribuisce a proteggere il personale e l'apparecchiatura.



Figura 6.8 Interfaccia del BEAM in cabina [48]

Benché possenga delle ottime potenzialità, come ogni strumento, che fornisce una misura indiretta, necessita di essere associato ad una buona conoscenza delle caratteristiche del terreno/roccia che andiamo a perforare: in mancanza di queste, l'interpretazione dei dati sarebbe difficile, se non, addirittura, impossibile, in quanto, la registrazione di un picco o di una variazione di uno dei 2 parametri, potrebbe essere associata ad un passaggio di formazione così come alla presenza di una frattura, magari riempita di acqua.

Senza la conoscenza della geologia che ci aspettiamo di incontrare, non saremmo in grado di interpretare le informazioni che il BEAM ci fornisce.

Nel caso in esame, questo strumento è risultato efficace nel riconoscere il passaggio di formazione, da Argille a Palombini ad Arenarie tipo Scabiazza, in quanto, in prossimità di tale transizione, si possono rilevare delle variazioni nei parametri, come messo bene in evidenza dalla Fig. 6.9.

Il profilo geologico della galleria Sparvo con il raffronto della sintesi dei dati raccolti dal BEAM evidenziano la stretta correlazione tra gli abbassamenti del valore di PFE con le zone di passaggio tettonico (APA-MOH, APA-SCB e probabile faglia interna a SCB). Si può rilevare inoltre un aumento progressivo della resistività con il progredire degli scavi in corrispondenza degli stessi passaggi tettonici sopra menzionati.

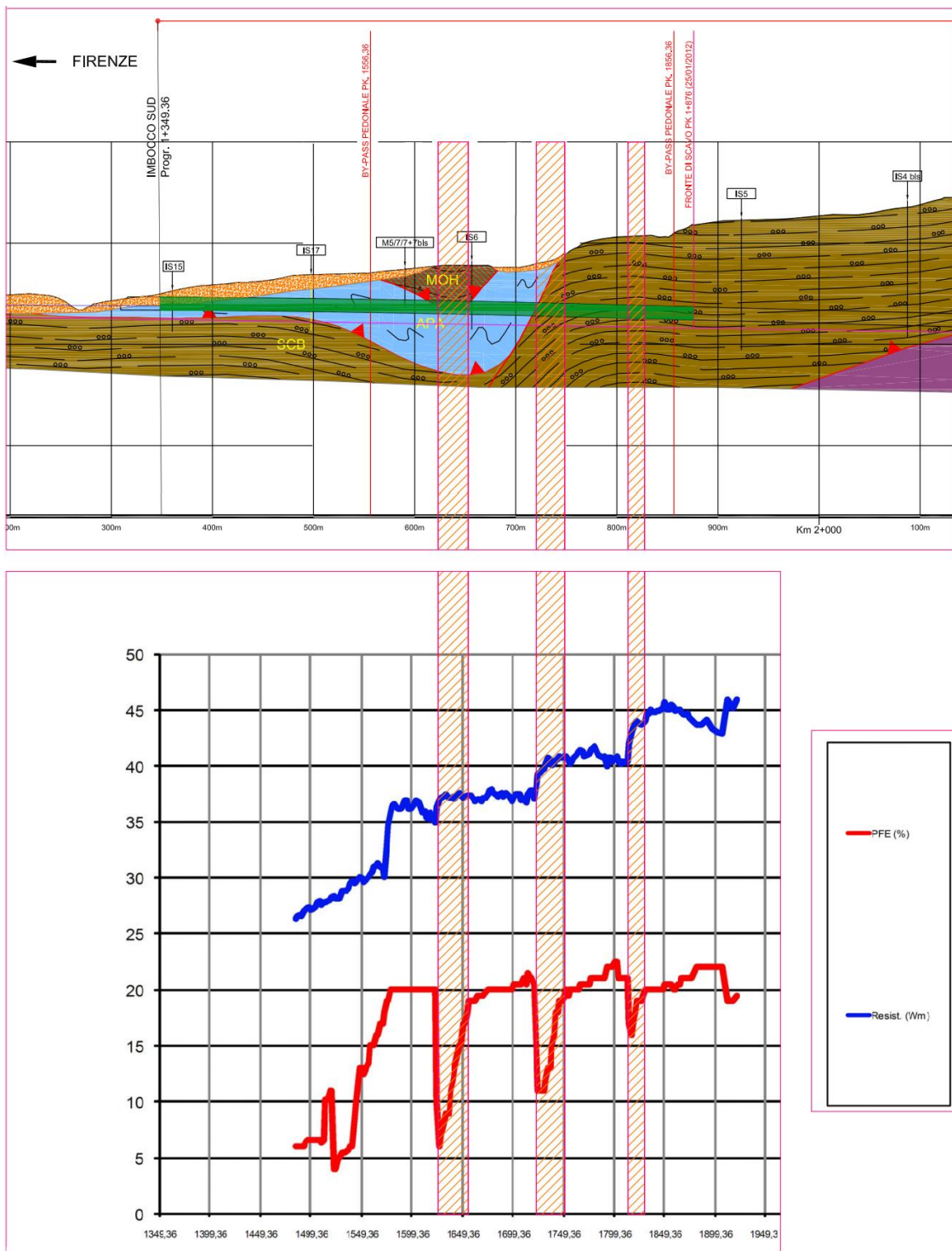


Figura 6.9 Ricostruzione dell'andamento del PFE (%) e della resistività in funzione del profilo geologico della tratta fino ad oggi realizzata [29]

Assieme al BEAM, per confermare il passaggio di formazione, è stata necessaria l'osservazione del materiale trasportato dal nastro: in generale Argille ed Arenarie presentano, visivamente, delle caratteristiche differenti, in termini di colore e granulometria. Mediante le telecamere e l'osservazione diretta del nastro trasversale e parte di quello in galleria, è stato possibile verificare che, il materiale scavato e trasportato, era cambiato: in particolare, nelle prime fasi di avanzamento all'interno della formazione arenacea, sono stati individuati materiali di grossa pezzatura, che avrebbero anche potuto comportare delle problematiche in prossimità delle tramogge.

Per ridurre dimensionalmente questi blocchi si è proceduto a condizionare maggiormente il materiale, facendo sì che, quello che si andava ad estrarre, avesse una consistenza più fangosa, senza presentare elementi problematici.

La forza di contatto è la vera e propria forza che si instaura fra testa e materiale al fronte, in quanto è la forza fornita agli utensili affinché il materiale venga disgregato: è uno dei pochi parametri, se non il solo, che ci può evidenziare che la formazione che stiamo scavando è cambiata, in quanto, aumenta, in relazione ad un materiale più resistente e con maggiore frazione quarzosa, e, diminuisce, nel caso opposto.

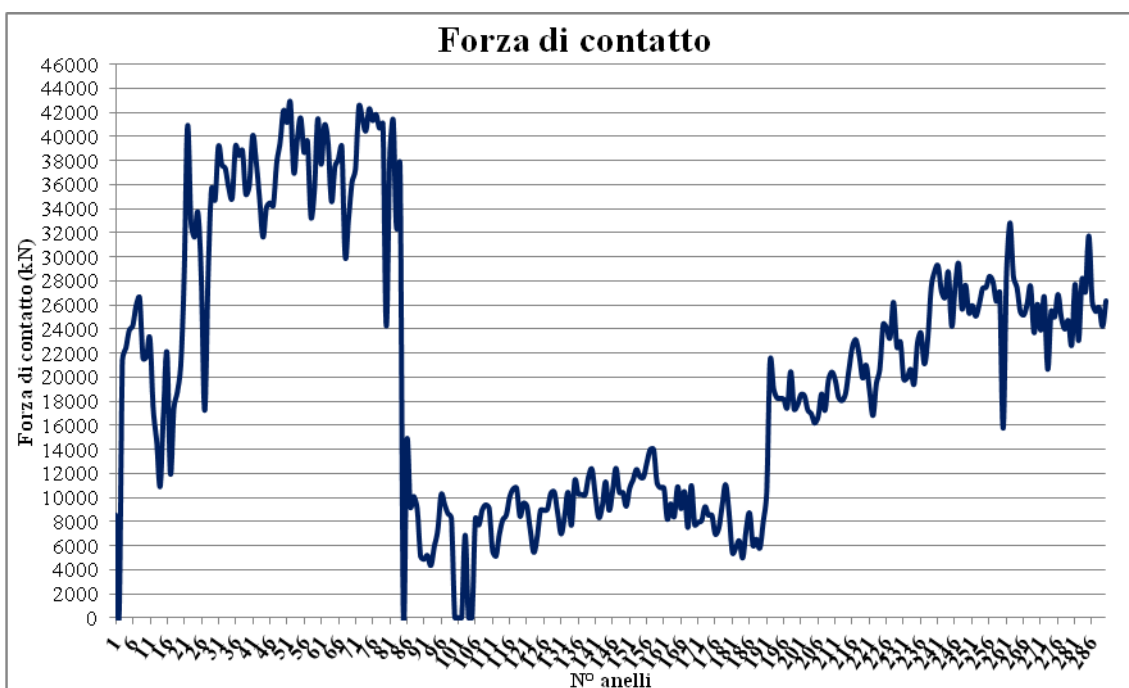


Grafico 6.1 Andamento della forza di contatto nell'ambito della tratta scavata fino alla data 18 febbraio 2011

In generale, anche se è un parametro soggetto a variazioni notevoli anche fra anello ed anello, sono evidenti dei salti in corrispondenza:

- dell'anello n°85, prima del lungo periodo di fermo;
- dell'anello n°191, in cui si è verificato il passaggio di formazione da Argille ad Arenaria.

L'insieme di queste grandezze e osservazioni, ha consentito di identificare il cambiamento di formazione; sottolineiamo ancora una volta, che senza delle informazioni di base, circa la geologia dell'area in cui si opera, le indicazioni fornite dal BEAM, dal materiale sul nastro e dal parametro forza di contatto, potevano essere associate ad altro piuttosto che ad un vero e proprio cambiamento di formazione.

6.5 Analisi della formazione delle Arenarie tipo Scabiazza

6.5.1 Range individuati per la Formazione delle Arenarie tipo Scabiazza

La formazione delle Arenarie tipo Scabiazza si estende per circa 500 metri, successivamente alla formazione delle Argille a Palombini e comprende gli anelli dal 192 al 420 (come previsto da progetto).

Per mancanza di tempo, la nostra analisi si estenderà fino all'anello n° 290, superando la metà della tratta che stiamo per prendere in esame.

Il tempo totale impiegato per lo scavo della porzione esaminata, senza considerare i prolungati periodi di fermo, è pari a 22 giorni (inizio dello scavo in data 12 Gennaio 2012 e fine raccolta dei dati da analizzare 18 Febbraio 2012).

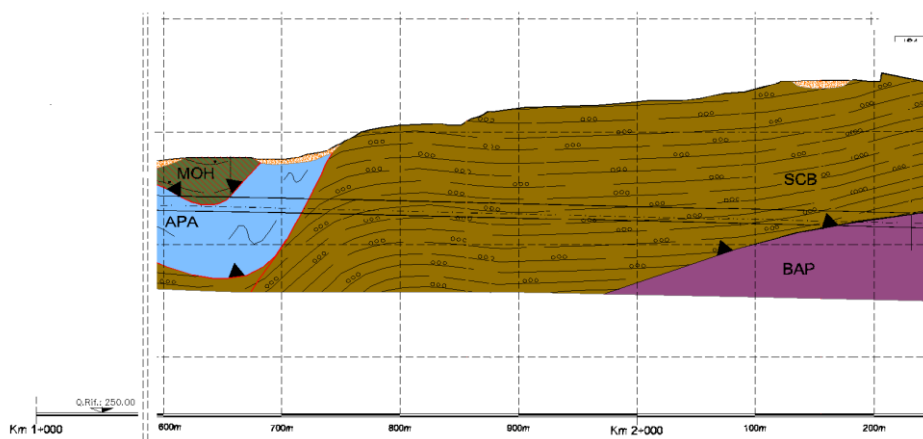


Figura 6.10 Formazione delle Arenarie tipo Scabiazza - SCB per la quale è stata realizzata l'analisi [29]

La Tab. 6.1S riassume le caratteristiche della tratta esaminata.

SCB - ARENARIE TIPO SCABIAZZA	
LUNGHEZZA TRATTA (m)	198
NUMERO ANELLI (n°)	99
TEMPO EFFETTIVO SCAVO (gg)	22

Tabella 6.1S Caratteristiche della formazione delle Arenarie tipo Scabiazza

In Allegato B sono riportati i dati che ci hanno consentito di realizzare i grafici che verranno riportati di seguito, necessari per verificare l'andamento complessivo realizzato dalla macchina all'interno di questa formazione.

Lo scavo nell'Arenaria tipo Scabiazza è stata meno problematica rispetto alla precedente, specie dal punto di vista dell'omogeneità del materiale, ma con presenza di gas, veicolato dalle fratture frequenti all'interno di questa formazione, e fenomeni di rollio più accentuati, proprio perché non abbiamo convergenze del materiale attorno allo scavo.

Come è possibile notare, da un'analisi complessiva delle tempistiche, la macchina è stata caratterizzata in percentuale da un'equa distribuzione dei tempi di avanzamento, di costruzione dell'anello e fermo. Come già detto, non sono stati considerati i periodi prolungati di fermo, che avrebbero del tutto falsato l'analisi che di seguito proponiamo.

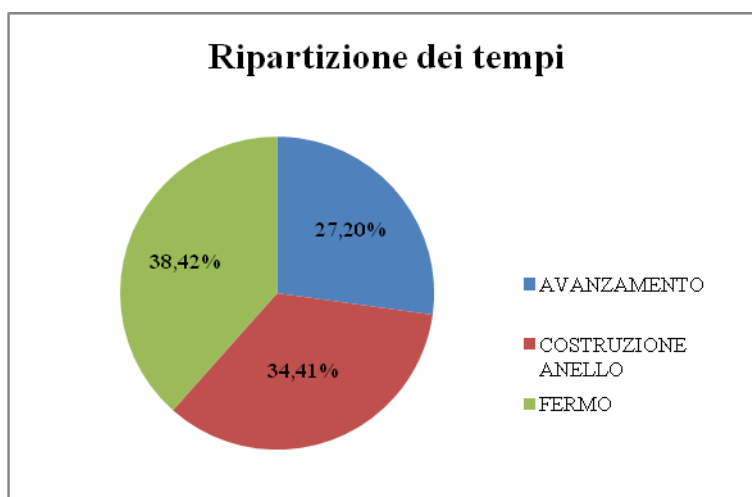


Grafico 6.1S Ripartizione delle tempistiche nella formazione SCB

Per quanto riguarda l'avanzamento, valutato in anelli/ giorno montati, si è mantenuto abbastanza stabile fra i 5 e 7, riducendosi nella parte finale della tratta da noi esaminata. In sede progettuale, si era parlato di una media di 6 anelli al giorno per questo tipo di formazione, previsione che è stata soddisfatta per la maggior parte nella tratta che abbiamo preso in esame.

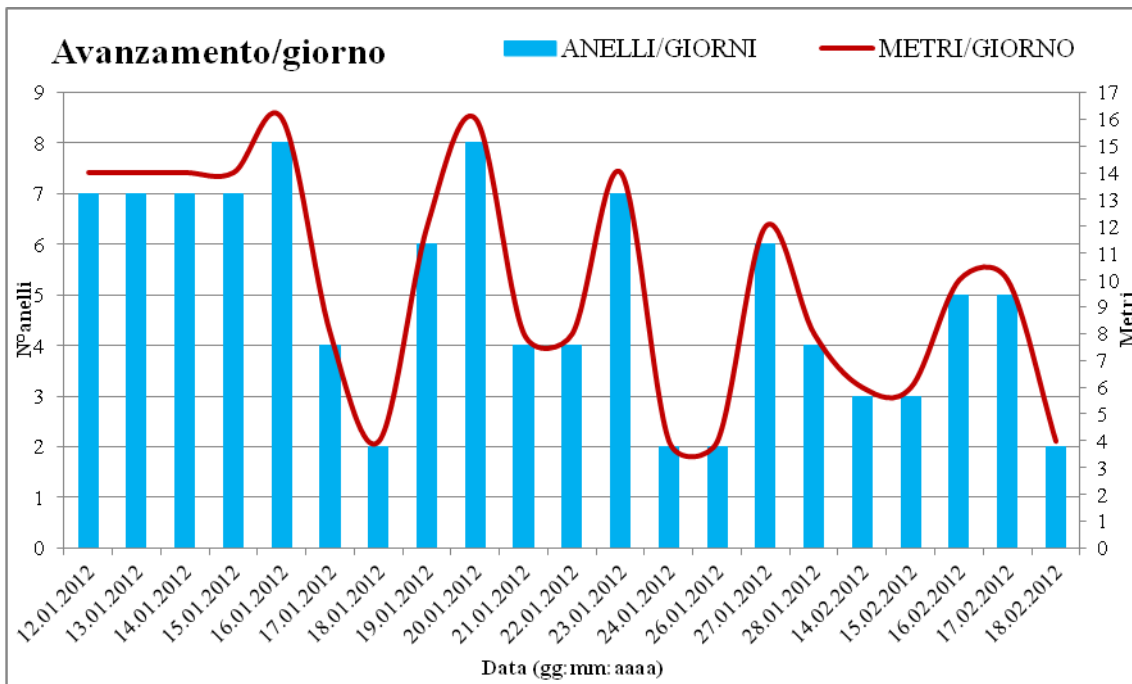


Grafico 6.2S Avanzamento in anelli/giorno e metri/giorno per la formazione SCB

Le grandezze che esamineremo di seguito, fatta eccezione per i consumi e i quantitativi totali di materiale smarinato, sono derivanti direttamente del *file average* della macchina, vale a dire sono al netto dei tempi di fermo, come se la macchina avesse scavato di continuo e non considerassimo il montaggio dell'anello. In questo modo è possibile individuare quali problematiche in effetti sono associate al tipo di materiale che stiamo perforando.

I primi grafici riportano l'andamento dei parametri che esprimono le prestazioni raggiunte dalla macchina in questa formazione: penetrazione (mm/rot) e velocità di avanzamento (mm/min), grandezze già citate nell'ambito delle previsioni delle *performance* di TBM e posseggono un andamento simile, in quanto fra esse legate mediante il numero di giri effettuato dalla testa (rpm).

Nel caso della penetrazione sono stati riportati anche i valori minimo e massimo previsti in fase progettuale, che consentono visivamente di capire se le *performance* della macchina, nelle Arenarie tipo Scabiazza, sono state soddisfacenti o meno: in corrispondenza dei primi anelli di questa formazione, il valore della penetrazione è rimasto al di sopra delle previsioni, per poi decrescere in prossimità dell'anello n° 226 e al di sotto del *range* proposto, a causa del materiale con caratteristiche scadenti che ci siamo trovati a perforare e per cui è stata necessaria una maggiore attenzione nel condizionamento.

Analoghe considerazioni possono essere fatte per la velocità di avanzamento, per cui era stato indicato solo un valore medio, corrispondente a 25 mm/min.

In entrambi i grafici (6.3S- 6.4S) è presente un valore nullo in prossimità dell'anello n° 272, per il quale si è verificato un periodo di fermo prolungato e, come abbiamo già sottolineato in precedenza, abbiamo deciso di non inserirlo all'interno dell'analisi.

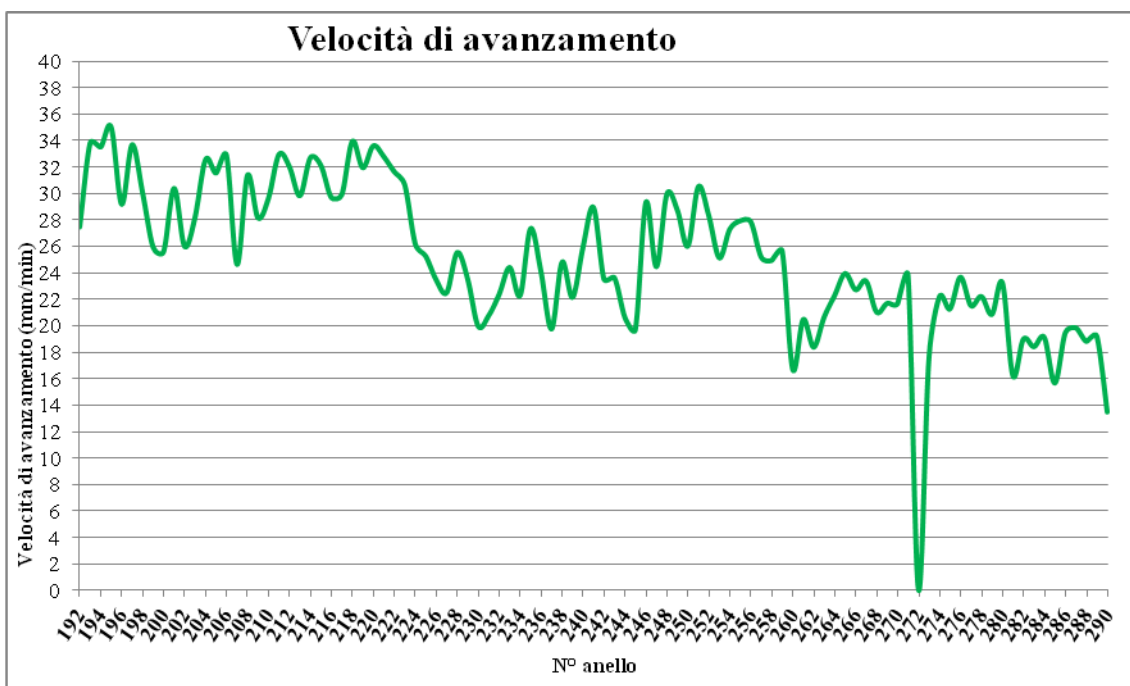


Grafico 6.3S Velocità di avanzamento (mm/min) realizzato dalla macchina nella formazione SCB

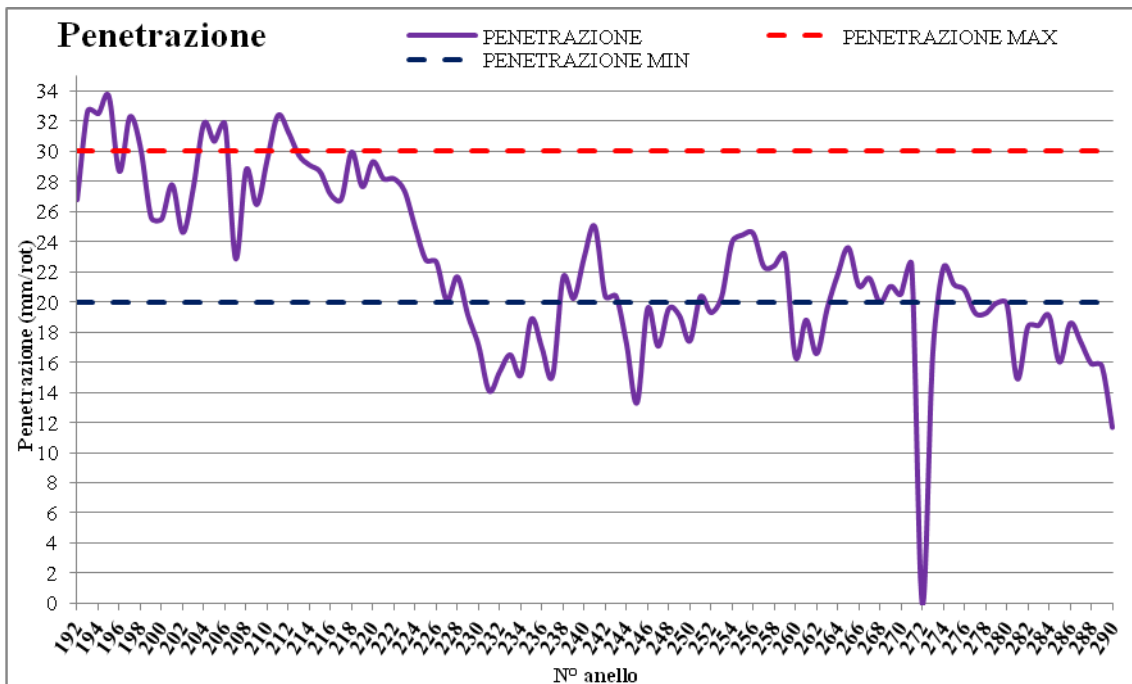


Grafico 6.4S Andamento della penetrazione (mm/rot) nell'ambito della formazione SCB

Un altro parametro che riteniamo di grande importanza è la forza di spinta, o anche detta forza di avanzamento, che rappresenta la forza che i martinetti riescono complessivamente a sviluppare e consente avanzamento della macchina, con a carico il peso del *back-up*, sostegno del fronte e superamento dei vari attriti. Tanto è maggiore, tanto più la macchina avanzerà velocemente e solitamente è fortemente dipendente della resistenza del materiale, in quanto, è vero che deve aumentare in corrispondenza di una formazione più dura, ma è anche vero che in questa condizione il fronte si auto sostiene. Per la formazione in esame, caratterizzata da resistenza e stabilità del fronte maggiore, l'andamento è andato a decrescere al di sotto dei valori proposti in sede progettuale, raggiungendo valori più bassi successivamente all'anello n°226, per il peggioramento delle caratteristiche del materiale arenaceo. Mediamente, benché la resistenza della formazione da scavare sia andata ad aumentare, un corrispettivo aumento della stabilità di questo ha consentito, mediamente, di raggiungere buone prestazioni in avanzamento, per l'intera tratta esaminata, anche con valori non elevatissimi di forza.

Il *range* fornito è stato "aggiustato" in relazione ai valori registrati durante l'avanzamento.

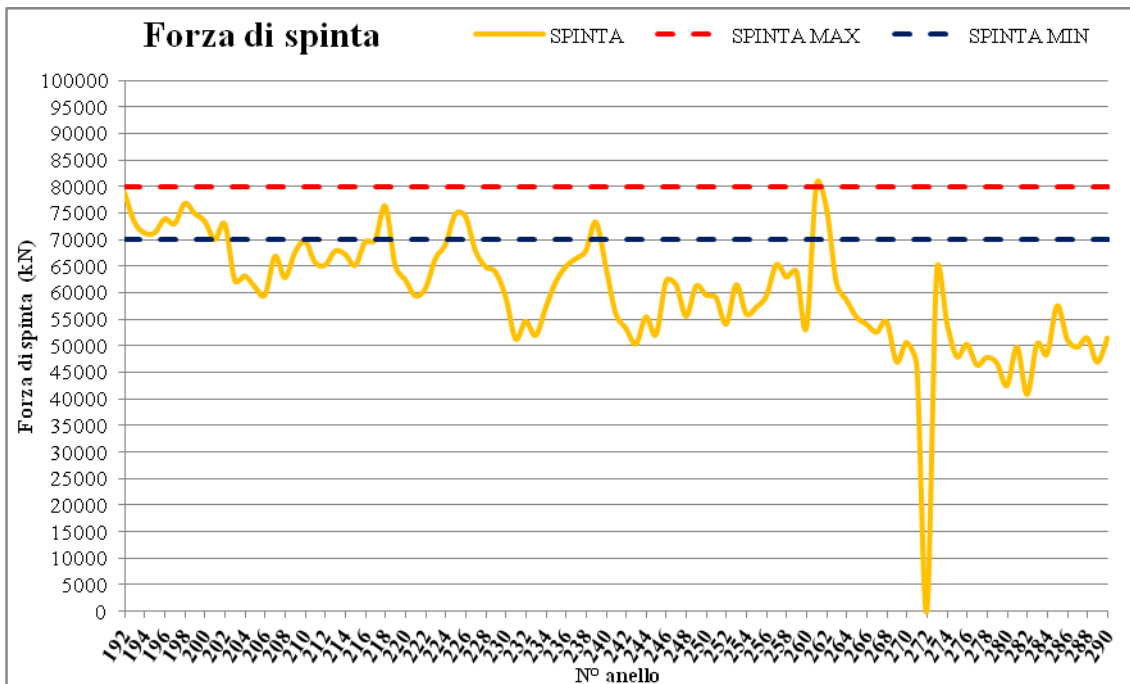


Grafico 6.5S Andamento della forza di spinta (kN) nell'ambito della formazione SCB

La forza di contatto, che rappresenta la vera e propria forza necessaria allo scavo, cioè quella di cui hanno bisogno gli utensili per disgregare il materiale con cui sono a contatto, ci fornisce indicazioni sulla facilità o meno che la macchina possiede per scavare quel certo tipo di formazione. Come detto, è una grandezza caratterizzata da forti oscillazioni quindi non sempre è di facile interpretazione.

Il Grafico 6.6S ci mostra come questa grandezza si sia assestata entro un *range* compreso fra 20000-30000 kN: tale comportamento ce lo aspettavamo in quanto la formazione arenacea presenta una durezza maggiore rispetto a quella argillosa. Il valore della forza di contatto è andato incrementandosi, , successivamente all'anello n°226, avanzamento per il quale le caratteristiche della formazione arenacea sono andate peggiorando in termini di resistenza.

Non viene mai superato il valore 35000 kN, valore di allarme, come precedentemente detto, a differenza della prima tratta della formazione argillosa, in cui questo è accaduto di frequente.

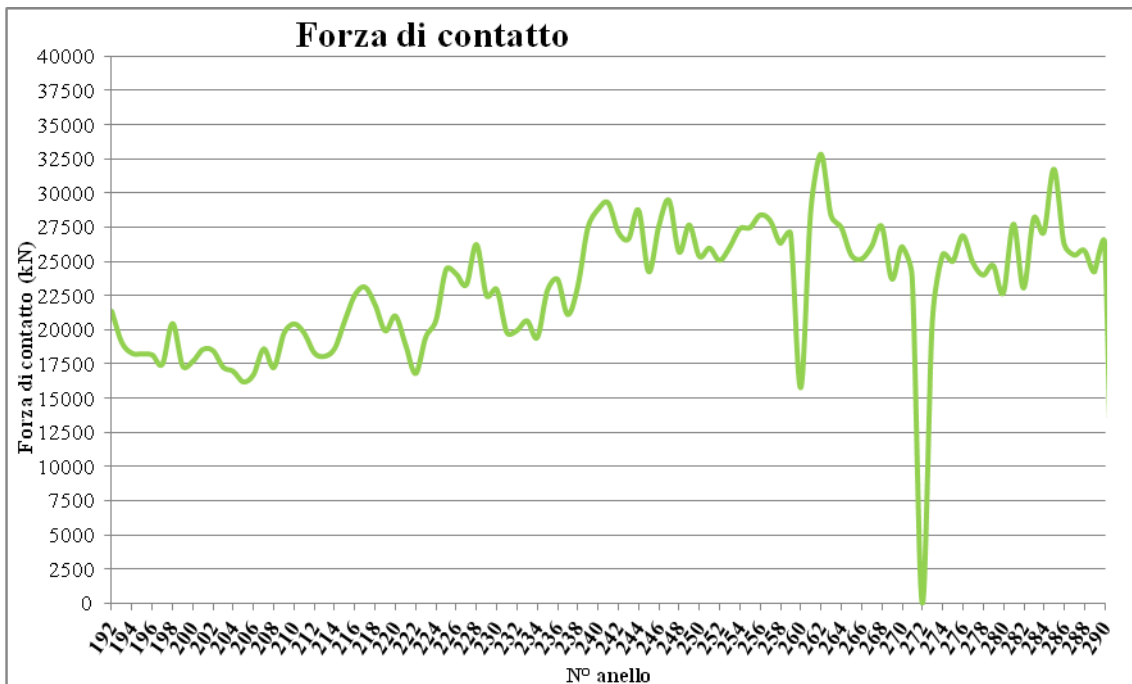


Grafico 6.6S Andamento della forza di contatto (kN) nell'ambito della formazione SCB

L'andamento della pressione della camera di scavo, misurata in bar, in corrispondenza della calotta della macchina (*average top pressure*), ha rispetto il *range* di valori che era stato fornito in sede progettuale, con l'eccezione di alcuni picchi, che raggiungono valori di 1,6 bar, mantenendosi mediamente bassa, sottolineando ancora una buona stabilità del materiale.

Per questo parametro proporremo un aggiustamento del *range*, in relazione a quello che abbiamo appena verificato graficamente (Grafico 6.7S).

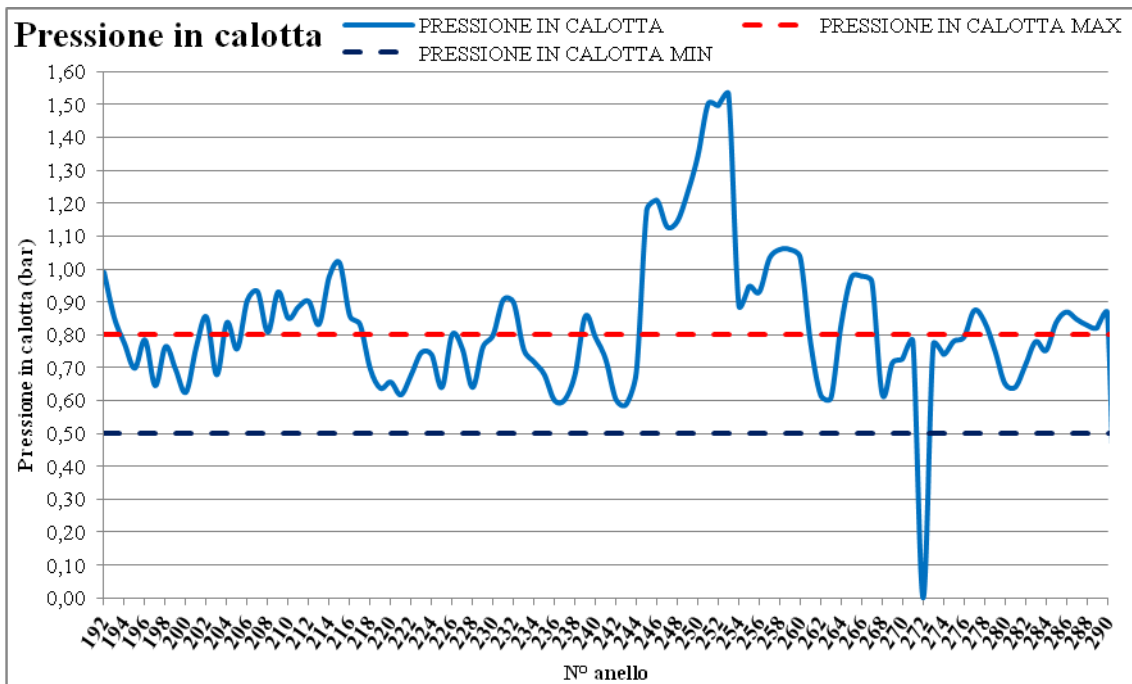


Grafico 6.7S Andamento della pressione in calotta (bar) nell'ambito della formazione SCB

A partire dal volume di materiale scavato durante ogni *step* di avanzamento, può essere valutato l'eventuale prodursi di sovrascavi o vuoti al contorno del profilo di scavo, così da predisporre il corretto quantitativo di malta cementizia per le iniezioni a tergo del rivestimento.

La verifica del peso del materiale scavato avviene, come precedentemente detto, mediante un sistema a due bilance, poste sul nastro trasportatore, più l'ausilio di una terza bilancia, posta nella parte esterna del nastro, in prossimità della discarica provvisoria, che nell'ambito di questa analisi non impiegheremo.

Il Grafico 6.8S mostra il peso massimo di materiale smarinato per ogni anello, presente nella tratta da noi analizzata della formazione delle Arenarie tipo Scabiazza: è presente un unico valore che differisce dall'andamento medio, che indica un'estrazione inferiore di materiale. Per questa tratta il peso previsto è compreso fra 900-1000 t, non considerando il peso dovuto all'acqua presente nel materiale estratto ed è, in generale, quello che si è sempre verificato.

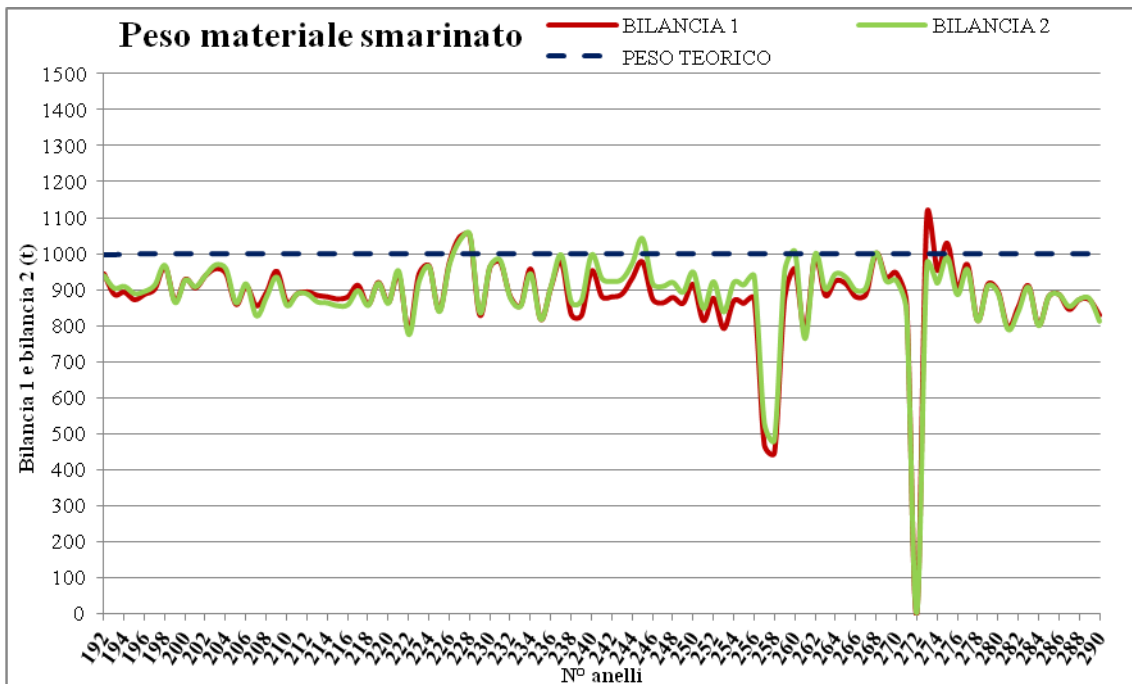


Grafico 6.8S Peso del materiale smarinato (comprensivo di acqua) nell'ambito della formazione SCB

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.

Nel nostro caso, anziché esaminare la pressione per ogni iniettore, abbiamo analizzato la pressione di iniezione della miscela cementizia per le linee superiori (1-4 e 9-12) e per le linee inferiori (solo le linee 5 e 8 perché le linee 6-7 sono spente, essendo quelle presenti nella parte inferiore della macchina).

Viene fornito un unico *range* di valori per la pressione di iniezione della miscela cementizia che, come è possibile verificare dal seguente grafico, non è stato quasi mai rispettato, in quanto i valori oscillano attorno al valore massimo.

La pulizia delle linee della malta e dell'accelerante è previsto che avvenga dopo ogni fase di scavo, per evitare fenomeni di intasamento che, come visibile dal Grafico 6.9S, sono piuttosto frequenti.

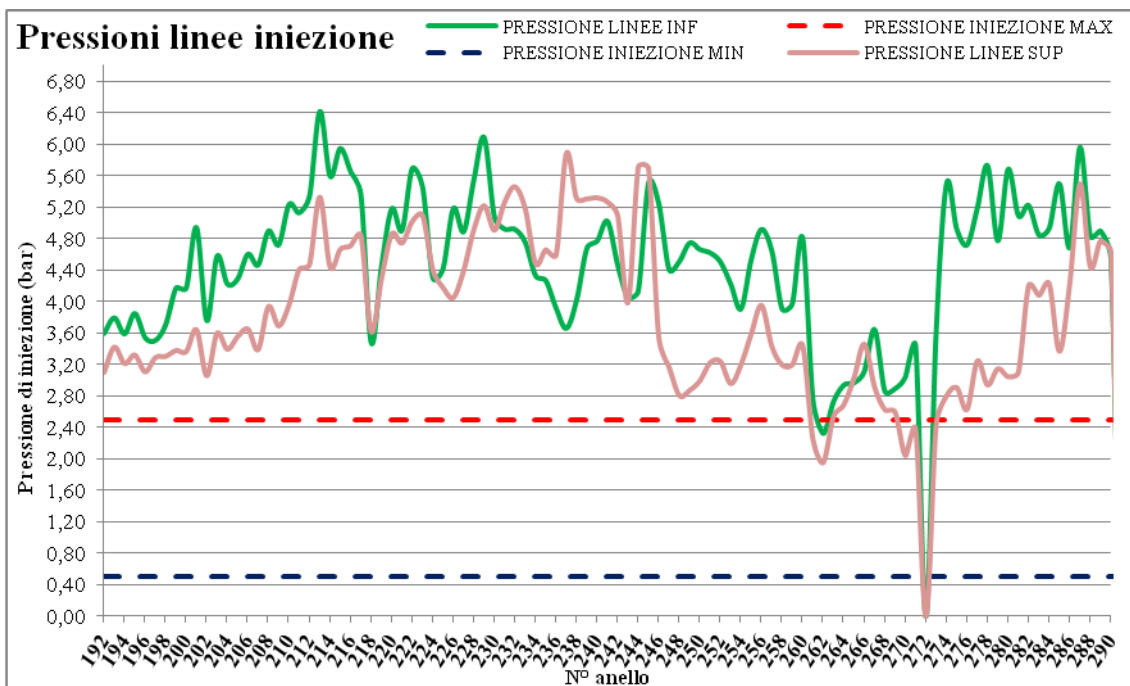


Grafico 6.9S Andamento della pressione delle linee di iniezione della miscela cementizia (bar) superiori ed inferiori nell'ambito della formazione SCB

Gli andamenti del F.I.R., Fattore di Iniezione, che indica la diluizione della schiuma all'interno del materiale scavato e F.E.R., Fattore di Espansione, volume di schiuma che si ottiene da una unità di volume di liquido (acqua + tensioattivo), ci forniscono un'indicazione sul condizionamento del materiale.

Come detto, anche per la formazione delle Argille a Palombini, per queste grandezze sono stati forniti dei *range* del tutto indicativi, in sede di progetto, in quanto è evidente la difficoltà di stimarli a priori. È necessario però sottolineare, come si può notare dai grafici, che il numero dei picchi e il valore che li caratterizza è decisamente minore rispetto a quanto verificato per le argille, indicazione che le Arenarie tipo Scabiazza sono un materiale più gestibile e meno complicato dal punto di vista del condizionamento.

Tutto sommato abbiamo deciso di mantenere il *range* per il FIR, benché talvolta le registrazioni siano discordanti, perché l'andamento medio risulta abbastanza coerente, mentre quello del FER sarà leggermente aggiustato.

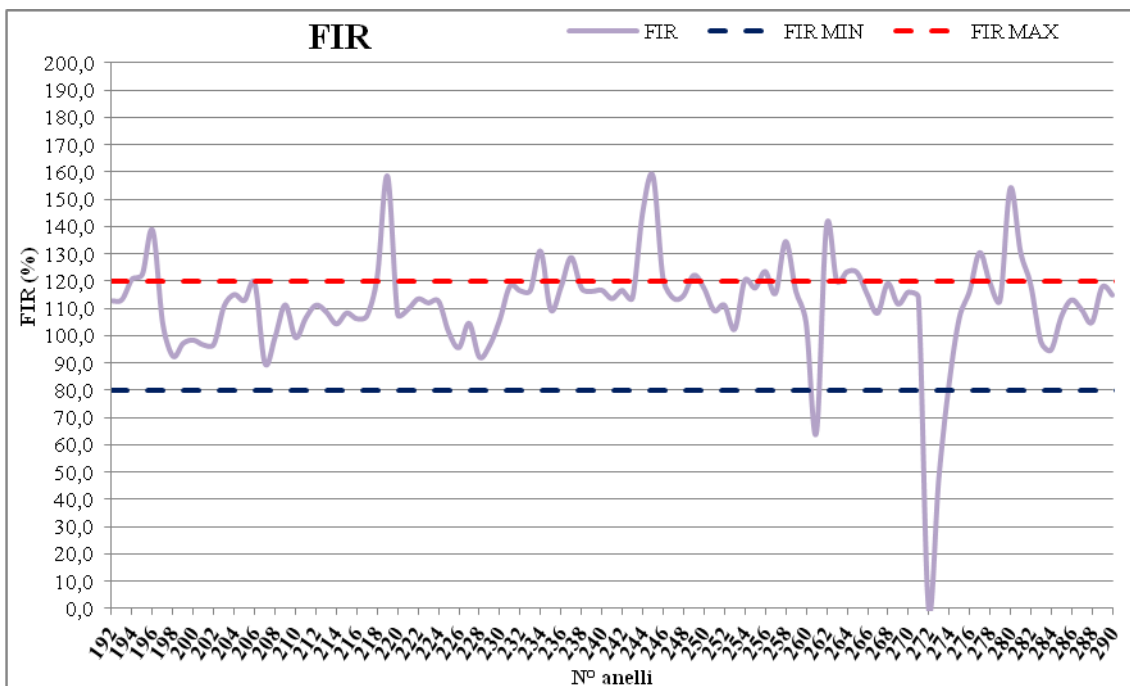


Grafico 6.10S Andamento del FIR (%), Foam Injection Rate, nell'ambito della formazione SCB

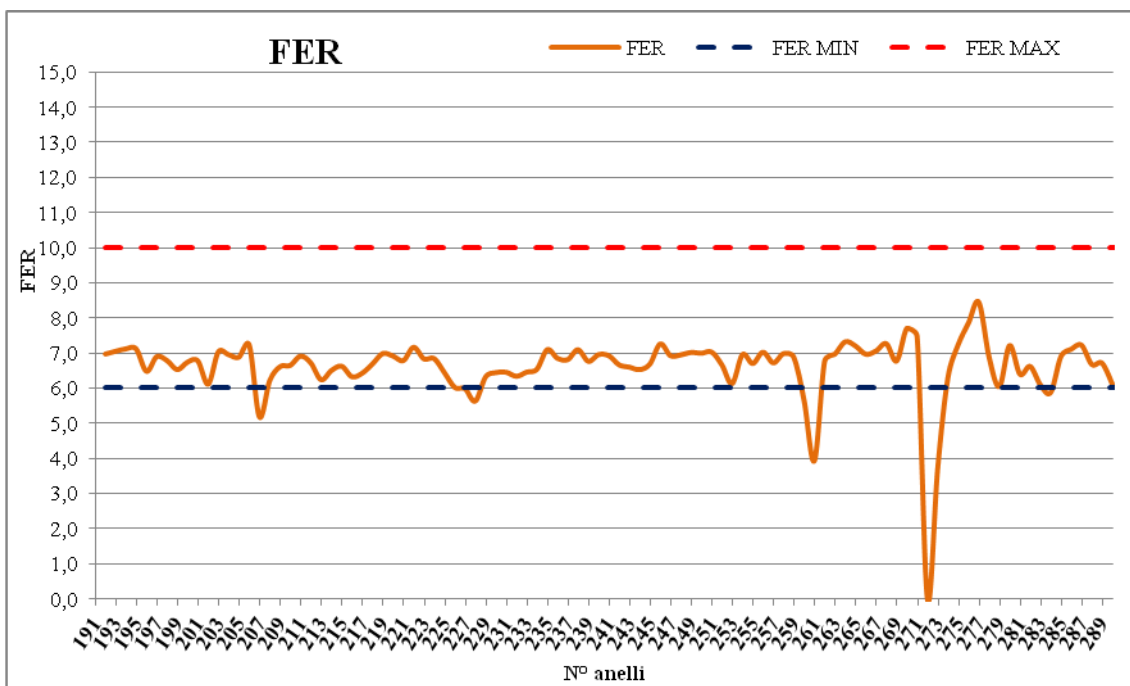


Grafico 6.11S Andamento del FER (1:x), Foam Expansion Ratio, nell'ambito della formazione SCB

I grafici seguenti riportano, invece, i consumi che hanno caratterizzato lo scavo nella formazione delle Arenarie tipo Scabiazza.

I primi grafici (Grafico 6.14S- 6.13S-6.12S) esaminano il consumo di miscela bicomponente che viene iniettata a tergo dei conci, caratterizzata in prevalenza da malta e, con un dosaggio medio del 6,5%, di accelerante. Il volume teorico di miscela da iniettare ricordiamo essere pari a 29,5 m³ (Eq. 5.6).

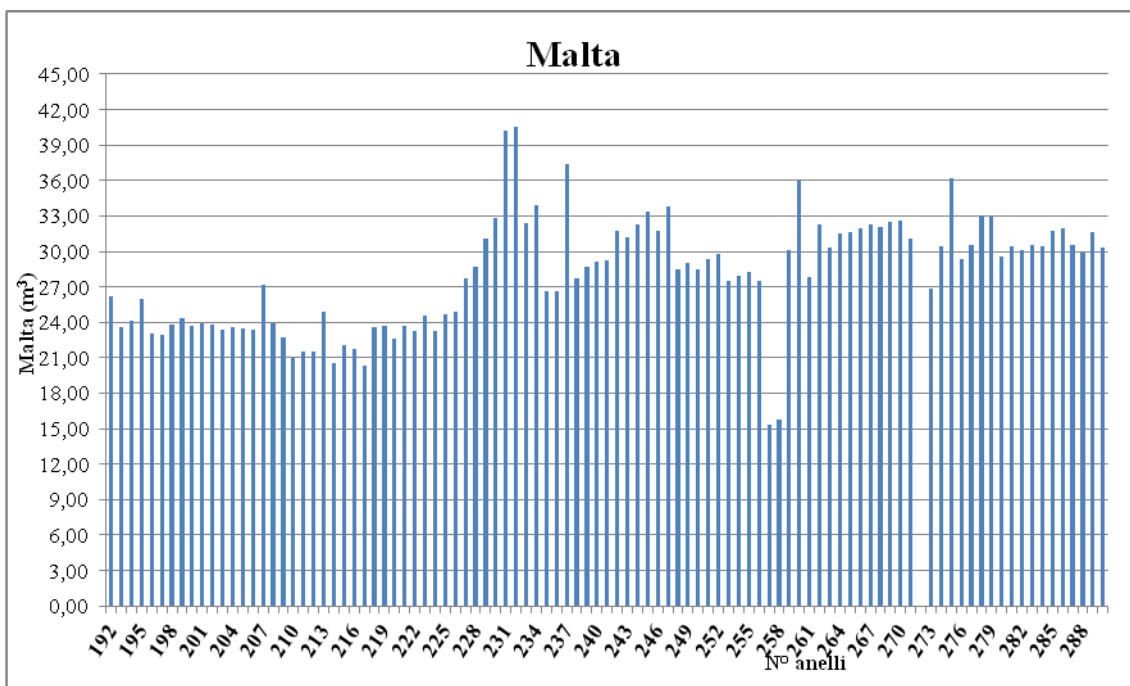


Grafico 6.12S Quantitativo di malta iniettata nell'ambito della formazione SCB

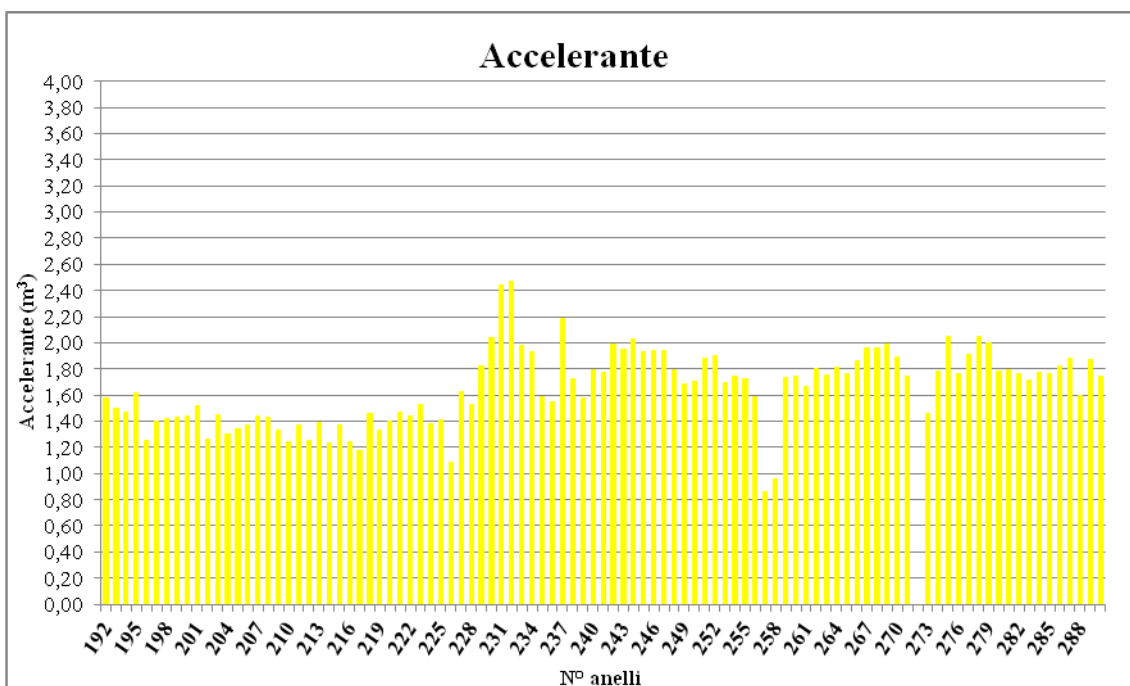


Grafico 6.13S Quantitativo di accelerante iniettato nell'ambito della formazione SCB

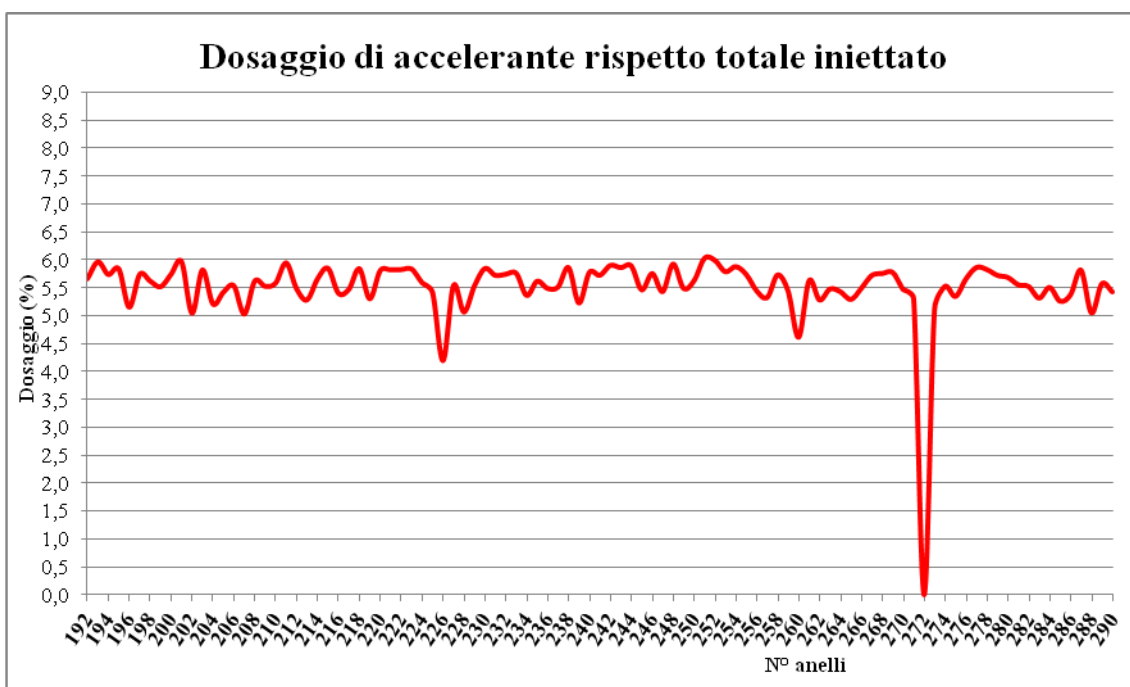


Grafico 6.14S Dosaggio di accelerante iniettato rispetto al totale della miscela bi componente nell'ambito della formazione SCB

I valori di picco nel valore totale di miscela bi componente iniettata, visibili nel grafico seguente, possono essere associati ad eventuali sovrascavi che si sono venuti a formare all'introno dello scavo o all'eventuale presenza di fratture nel materiale, possibilità consistente in quanto le Arenarie tipo Scabiazza presentano elevata fratturazione.

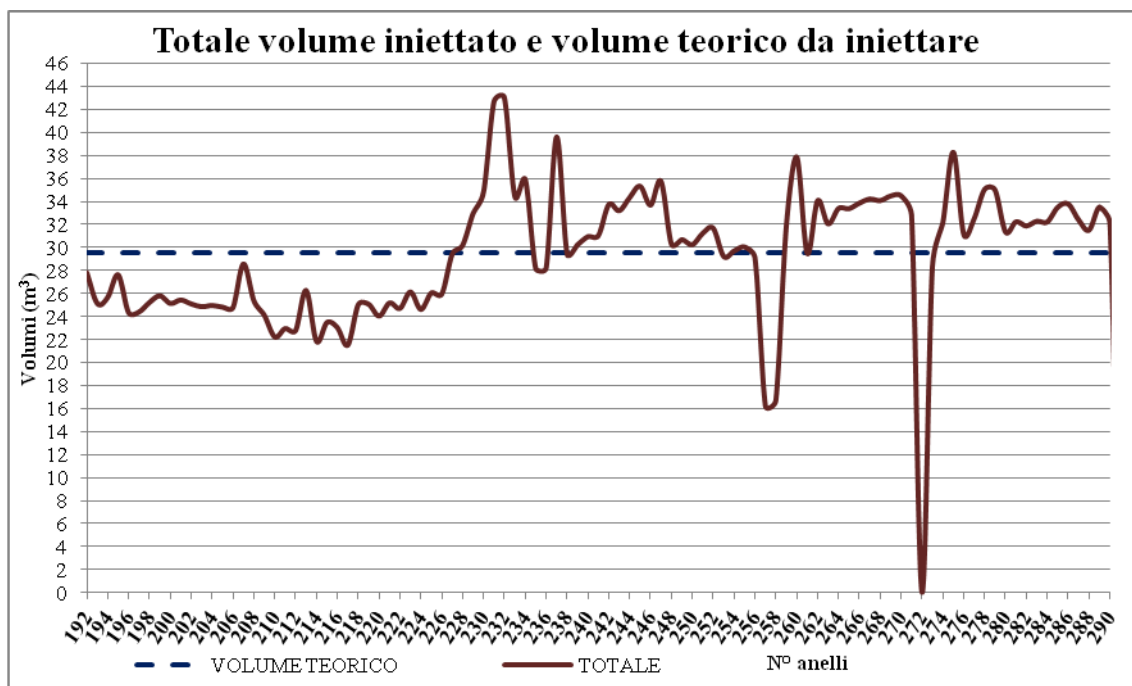


Grafico 6.15S Confronto volume totale miscela bi componente iniettata e volume teorico da iniettare nell'ambito della formazione SCB

Per quanto riguarda i consumi necessari al condizionamento del materiale, abbiamo deciso di riportare, in grafici separati, i quantitativi di tensioattivo (proveniente dal serbatoio 1 e 2) e polimero ad alta pressione, dai consumi totali di acqua (quella addizionata alla schiuma e quella fornita allo statore).

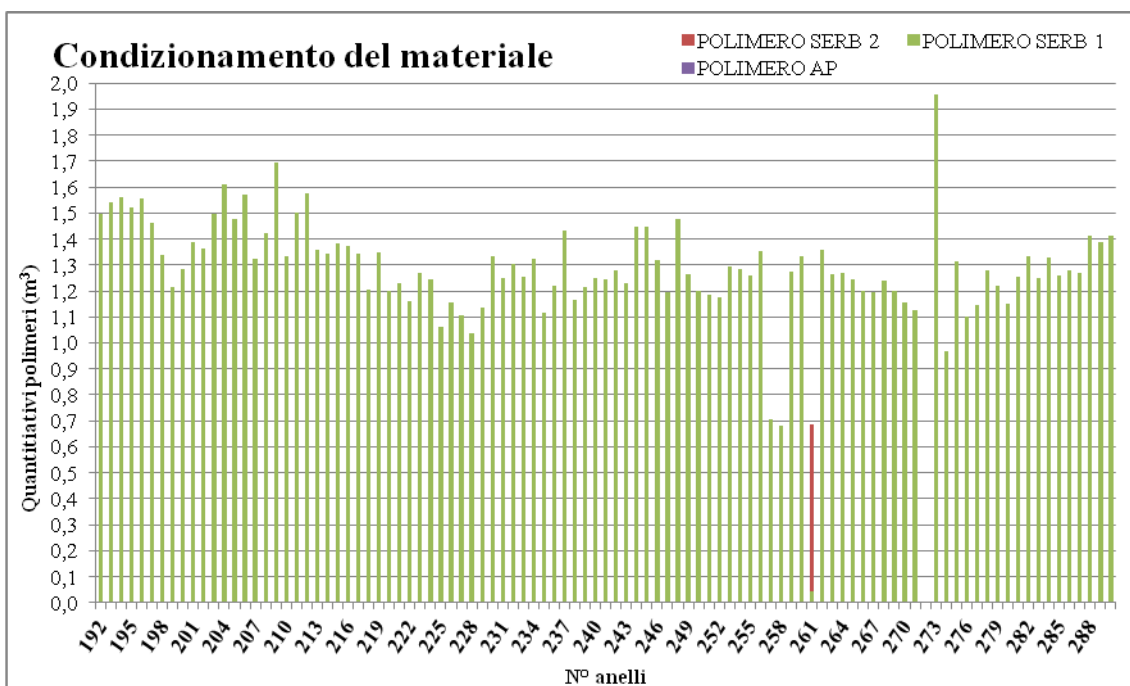


Grafico 6.16S Quantitativi di tensioattivo e polimero ad alta pressione iniettato nell'ambito della formazione SCB

Poiché il polimero ad alta pressione ha la funzione di disgregante, a differenza del polimero proveniente dai serbatoi 1 e 2, che rappresenta le vere e proprie schiume, questo viene iniettato solo in alcuni casi per lubrificare la parte centrale dell'area di scavo, onde evitare che il materiale tenda ad impaccarsi al centro della testa. Nel caso della formazione delle Arenarie tipo Scabiazza non ne è mai stato fatto uso.

Per quanto riguarda il tensioattivo, la percentuale maggiore arriva direttamente dal serbatoio 1, in quanto il serbatoio 2 non viene impiegato, se non in caso di necessità di maggior quantitativo di liquido o nel caso di mancato funzionamento del serbatoio 1. Osserviamo (Grafico 6.16S) che questa opzione si è verificata un'unica volta, con il prevalente uso del serbatoio 1 per tutti gli altri avanzamenti.

L'acqua addizionata alle schiume è quella che viene miscelata assieme al tensioattivo e al polimero ad alta pressione e iniettata direttamente in testa, mentre l'acqua dello statore viene iniettata in camera di scavo per agevolare l'estrazione del materiale attraverso la coclea: i quantitativi delle 2 grandezze sono decisamente diversi, come si evince dal grafico.

L'acqua delle schiume si assesta attorno a valori compresi fra 40-60 m³, mentre l'acqua fornita allo statore raggiunge dei valori compresi fra 80-130 m³.

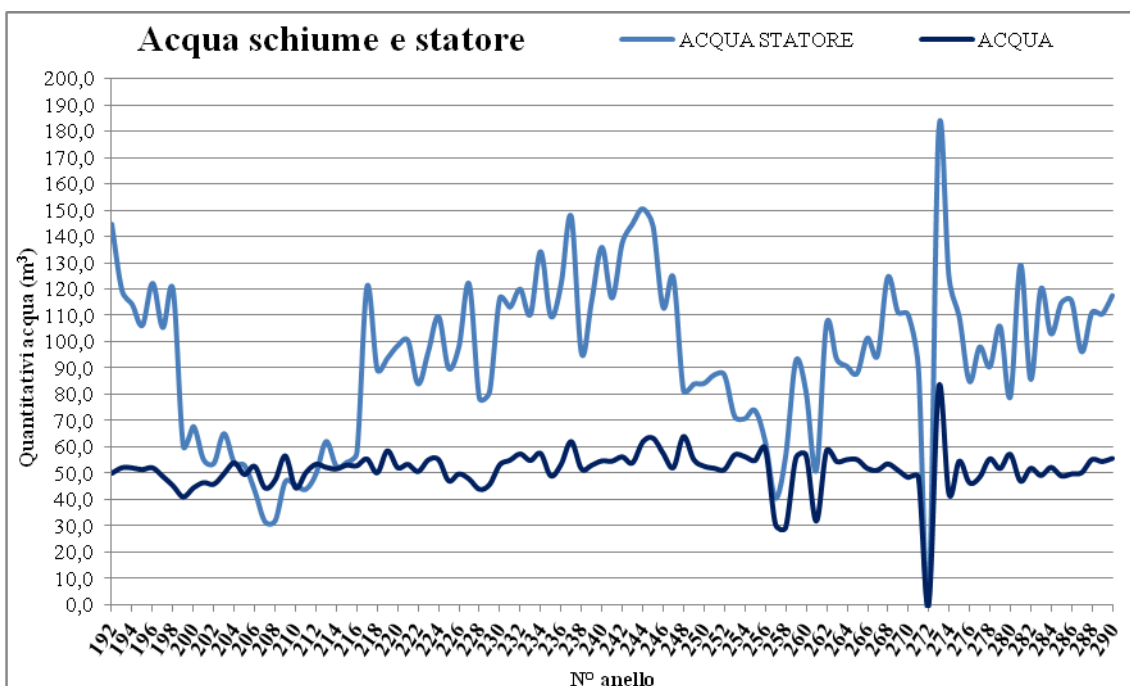


Grafico 6.17S Quantitativi di acqua addizionata alle schiume e iniettata nello statore nell'ambito della formazione SCB

I consumi di grasso sono riportati di seguito, prima, complessivamente e, poi, per ogni tipologia impiegata (Grafici 6.18S -6.19S -6.20S -6.21S).

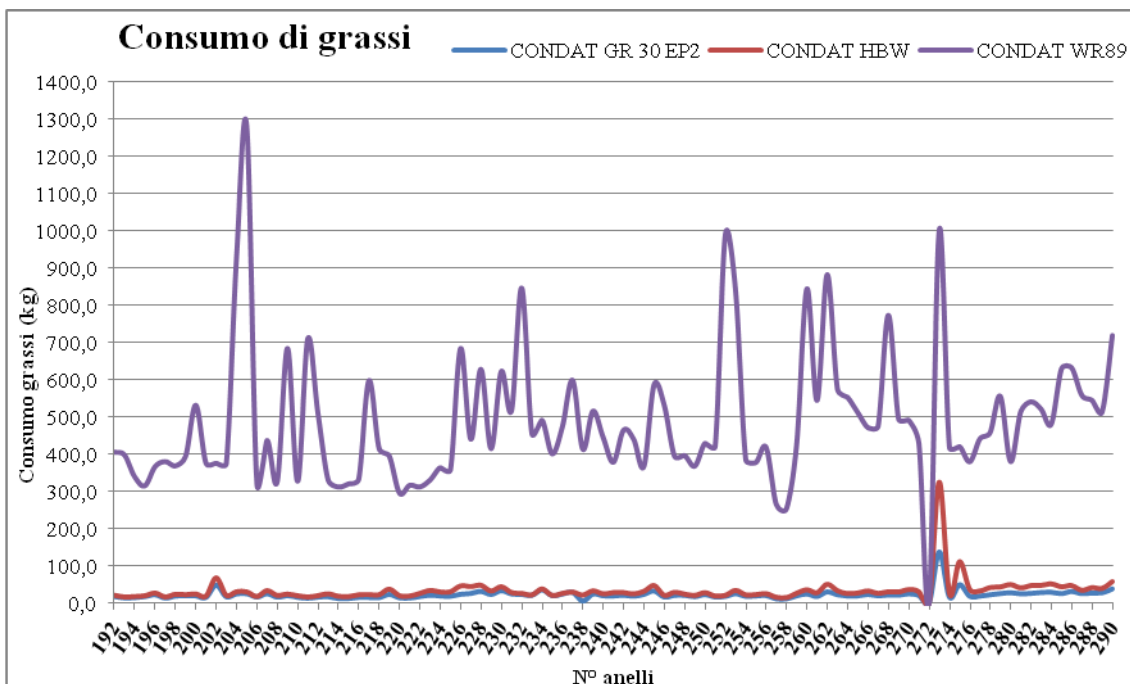


Grafico 6.18S Quantitativi di grasso consumati nell'ambito della formazione SCB

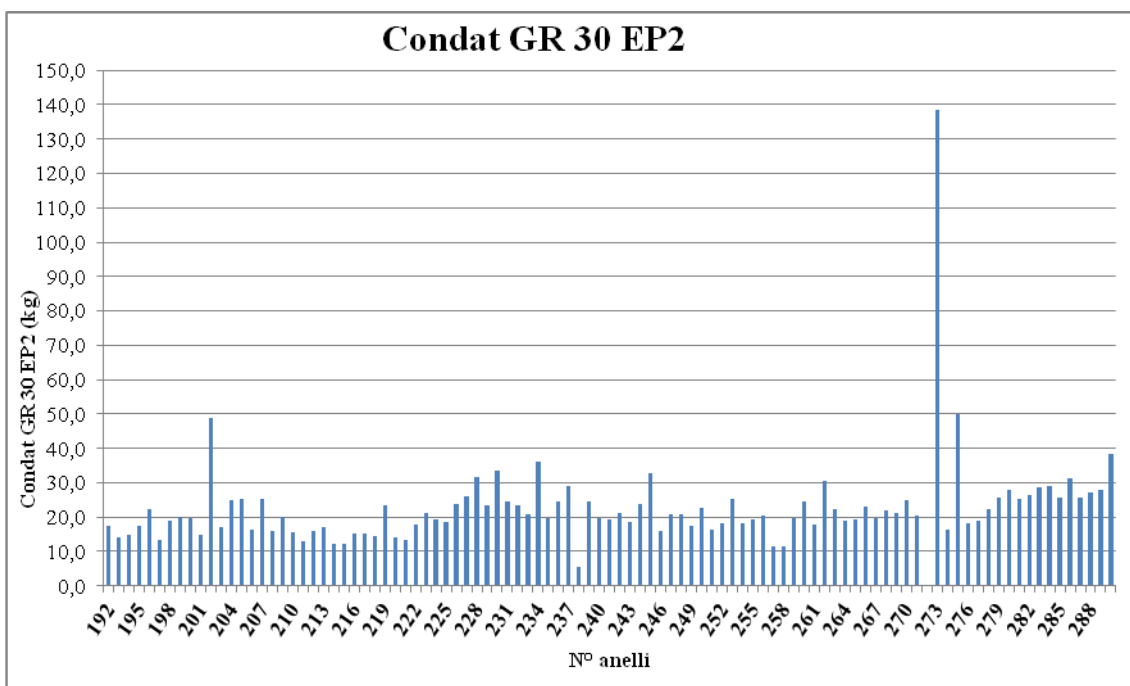


Grafico 6.19S Quantitativi di Condat GR 30 EP2 consumato nell'ambito della formazione SCB

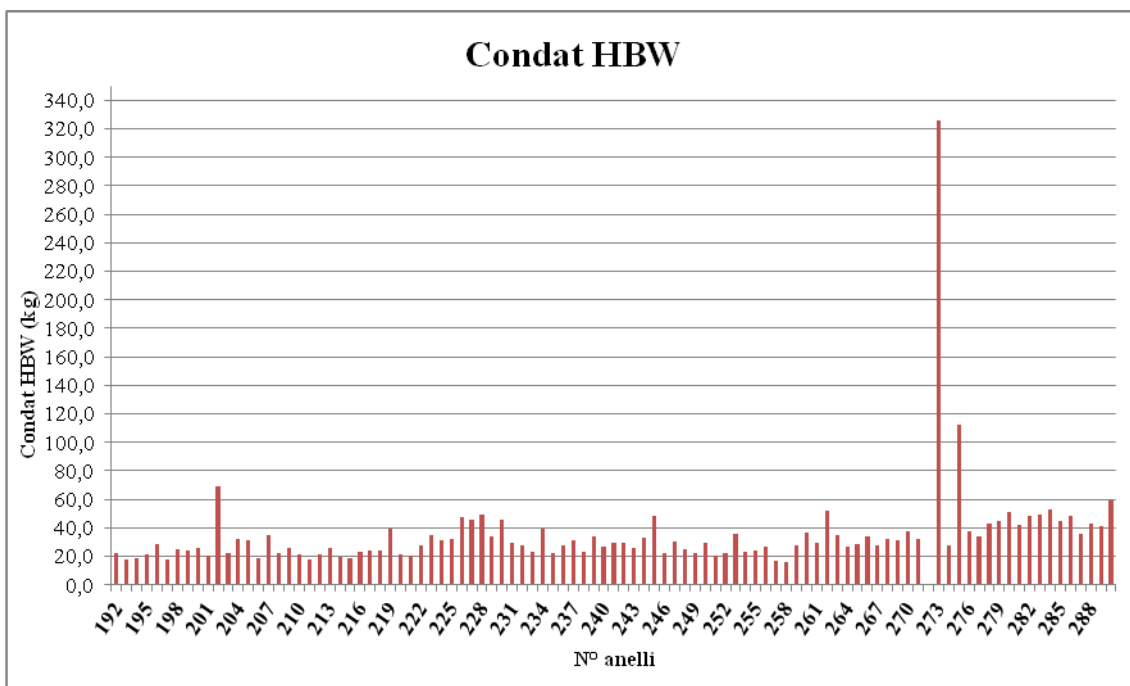


Grafico 6.20S Quantitativi di Condat HBW consumato nell'ambito della formazione SCB

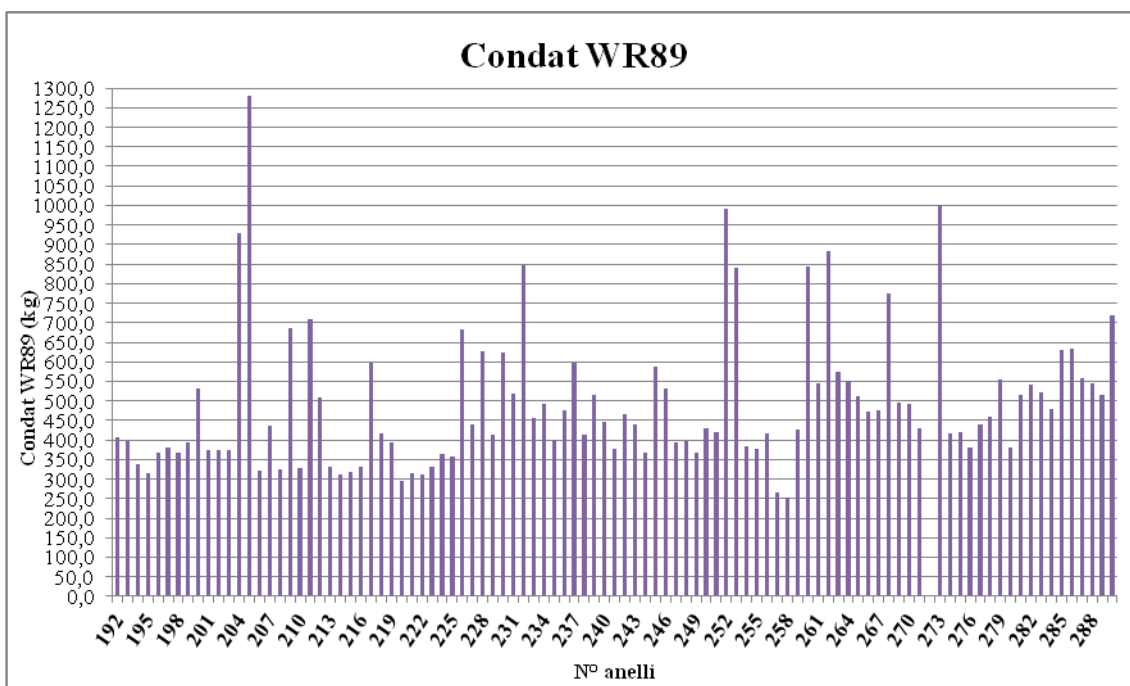


Grafico 6.21S Quantitativi di Condat WR89 consumato nell'ambito della formazione SCB

È evidente che il quantitativo maggiore di grasso consumato è associato al CONDAT WR89, impiegato per sigillare le 3 camere che le file di spazzole di coda creano e renderle così impermeabili al passaggio di metano, mentre per le altre tipologie il consumo si è assestato su un ordine di grandezza inferiore.

Annoverata fra i consumi troviamo anche l'energia elettrica spesa per azionare tutte le componenti della macchina.

Il Grafico 6.22S ne riporta l'andamento medio, in quanto non consideriamo i picchi di partenza, che talvolta si sono verificati, e che, per correttezza, riportiamo in tabella, dato che in un'analisi economica dovrebbero essere conteggiati.

PICCHI ELETTRICITA' SCB	
N° ANELLO	VALORE (kWh)
192	2972627,39
196	2996469,61
205	3065888,45
231	3282264,16
236	3330330,75
241	3382240,16
252	3498031,94
272	3734907,48
287	4012640,44

Tabella 6.2S Anelli per i quali si sono verificati i picchi di elettricità in partenza

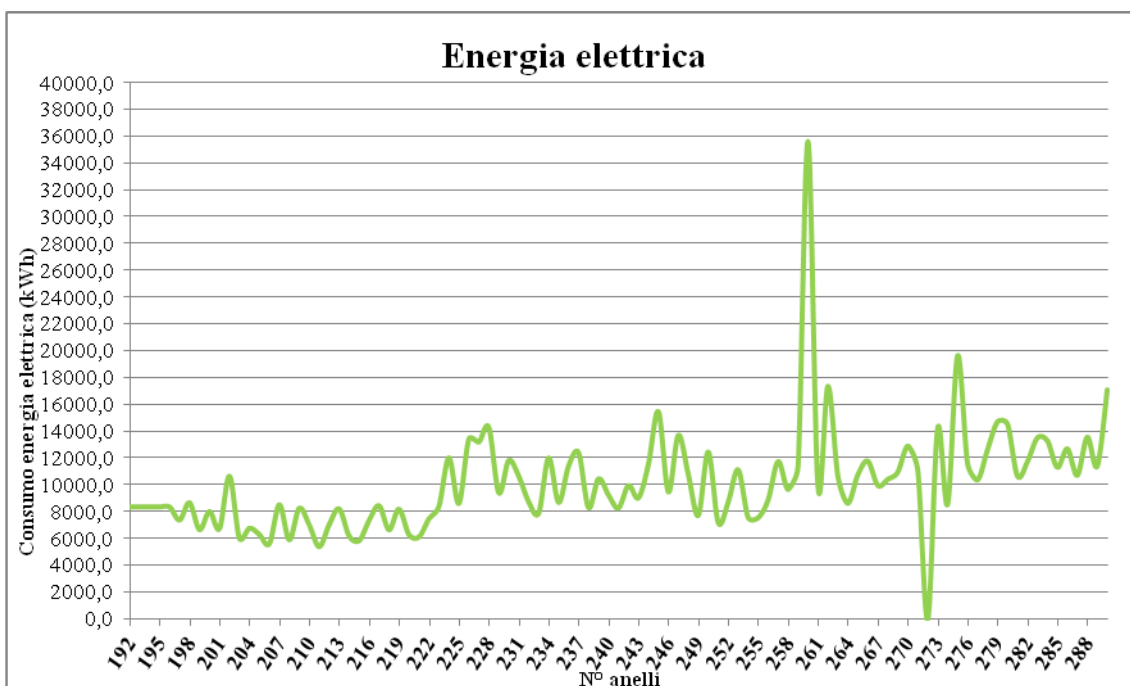


Grafico 6.22S Consumo di energia elettrica nell'ambito della formazione SCB

Per quanto concerne il consumo degli utensili, per quanto riguarda la formazione delle Arenarie tipo Scabiazza, possiamo indicare un'unica sostituzione degli elementi di scavo eseguita nelle date e con le modalità indicate in Tab. 6.3S.

SOSTITUZIONE UTENSILI SCB	
DATA	dal 22/02/2012 al 25/2012
NUMERO CUTTER SINGOLI	12
NUMERO CUTTER DOPPI	28
NUMERO DI RIPPER	-

Tabella 6.3S Modalità con cui si è svolta la sostituzione degli utensili nelle APA

L'operazione di sostituzione degli utensili, ha comportato perdita di tempo nell'avanzamento della macchina, perché è stato necessario fermare la macchina, svuotare la camera di scavo e attendere fino a che il livello del gas metano si fosse abbassato.

Cutter/dischi sostituiti e ancora da sostituire:

22/02/2012 – 25/02/2012

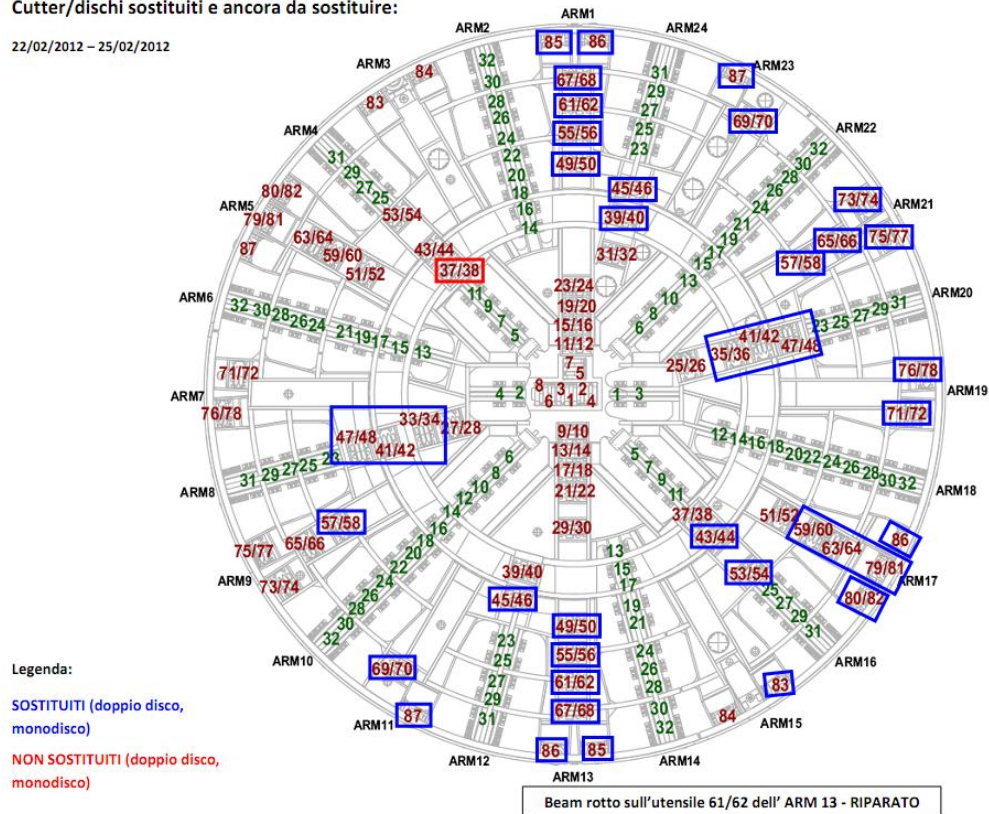


Figura 6.11 Layout degli utensili sulla testa con indicazione di quelli sostituiti e non [14]

Riportiamo di seguito il totale dei consumi che hanno caratterizzato la formazione delle Arenarie tipo Scabiazza per quanto riguarda liquidi condizionanti, miscela bi componente, grassi, bentonite ed energia elettrica.

SCB	LIQUIDO CONDIZIONANTE				
	POLIMERO 1 (m ³)	POLIMERO 2 (m ³)	POLIMERO AP (m ³)	ACQUA SCHIUME (m ³)	ACQUA STATORE (m ³)
TOTALE	126	1	0	5106	9273

SCB	MISCELA BICOMPONENTE	
	MALTA (m ³)	ACCELERANTE (m ³)
TOTALE	2745	162

SCB	ENERGIA ELETTRICA (kWh)
TOTALE	1003908

SCB	GRASSI (kg)		
	CONDAT GR 30 EP2 (kg)	CONDAT HBW (kg)	CONDAT WR89 (kg)
TOTALE	2230,08	3432,10	48266,52

SCB	BENTONITE (m³)
TOTALE	0,31

Tabella 6.4S-6.5S-6.6S-6.7S-6.8S Indicazione dei consumi per la tratta esaminata delle SCB

I valori registrati dalla macchina, precedentemente esposti nei grafici, e i valori previsti in sede progettuale sono stati confrontati, ottenendo così dei *range* per i parametri considerati, per la formazione delle Arenarie tipo Scabiazza, che riportiamo nella Tab. 6.9S.

Tali valori verranno impiegati nella seconda parte dell'elaborazione, quando analizzeremo gli anelli migliori/peggiori per verificare se gli andamenti medi, appena valutati, sono stati rispettati oppure sono presenti dei valori anomali che ci consentano di motivare le elevate/basse prestazioni stabilite.

PARAMETRO		RANGE SCB	
		MIN	MAX
PARAMETRI AVANZAMENTO	VELOCITA' DI AVANZAMENTO (mm/min)	20	30
	FORZA DI SPINTA (kN)	50000	70000
	PENETRAZIONE (mm/rot)	20	25
	PRESSIONE IN CALOTTA (bar)	0,6	1
	MATERIALE SMARINATO (t)	900-1000	
BICOMPONENTE	PRESSIONE BICOMPONENTE (bar)	2,5	4
	VOLUME BICOMPONENTE (m³)	29,5	
CONDIZIONAMENTO	FIR (%)	80	120
	FER (1:x)	4	8
CONSUMI	MALTA A (m³)	20	28
	ACCELERANTE B (m³)	0,0	2,0
	POLIMERO (SERB 1) (m³)	0,0	1,3
	POLIMERO (SERB 2) (m³)	0,0	0,1
	POLIMERO AP (m³)	0,0	0,1
	ACQUA SCHIUME (m³)	40	60
	ACQUA STATORE (m³)	100	130
	GRASSO GR 30 EP2 (kg)	10	30
	GRASSO CONDAT HBW (kg)	15	35
	GRASSO CONDAT W89 (kg)	300	600
	ENERGIA ELETTRICA (kWh)	7000	12000

Tabella 6.9S Range individuati per la formazione delle Arenarie tipo Scabiazza

Alcuni intervalli, previsti in sede progettuale, sono stati “aggiustati” osservando le prestazioni realizzate dalla macchina; in particolare:

- abbiamo proposto un *range* di valori per la velocità di avanzamento, per cui preventivamente era stato solo indicato un valore medio;
- abbiamo ridotto il valore massimo previsto per la penetrazione, in quanto, mediamente, si raggiungono valori più bassi del 30 mm/rot, proposto in sede progettuale;
- l'intervallo di valori proposto per la forza di spinta è stato ridotto rispetto a quanto preventivato;
- i limiti del *range* della pressione in calotta sono stati aggiustati, alzandone leggermente il valore, perché così ci sembrava che calzasse meglio la registrazione dei dati;
- abbiamo indicato un nuovo intervallo di valori per la pressione di iniezione della miscela bi componente;
- è stato fornito un nuovo *range* per il FER, in quanto abbiamo osservato che i valori erano decisamente più bassi rispetto a quelli previsti; il FIR, per quanto l'intervallo proposto, non sia sempre stato rispettato, in quanto sono presenti dei picchi notevoli, ci sono sembrati associati a problematiche di altro genere e, quindi, abbiamo deciso di mantenerlo uguale a quello preventivato.

Poiché la nostra analisi prevede anche di stimare quanto la macchina sia stata efficiente a meno di problematiche legate al nastro trasportare, alla produzione dei conci necessari per il rivestimento definitivo e alla eventuale presenza di gas metano, nella Tab. 6.10S vengono riportati gli anelli in cui si sono verificate delle anomalie in tali ambiti.

PROBLEMATICHE SCB	
TIPO DI PROBLEMA	N° ANELLI
NASTRO TRASPORTATORE	198;202-204-206-207-209;213-216-219;221-223-224-225;da 227 a 232;234-237-239;240-241-244-246-247-248-249;252-258-259;261-262-264-265-269;270-272-274-277-278;281-282-283-287-288-289-290
PRODUZIONE CONCI	-
TRASPORTO CONCI IN GALLERIA	192-193-194-195-196-197-198-205-209-274-277-289
PRESENZA DI GAS METANO	260 e 290

Tabella 6.10S Problematiche rilevate per la formazione delle SCB

Per quanto concerne la presenza di metano, dobbiamo sottolineare che la registrazione di valori significativi, in questo caso, sono associati all'ingresso in camera di scavo per la sostituzione degli utensili: per il primo anello non è stato possibile procedere con l'operazione a causa della presenza persistente del gas, mentre per il secondo le operazioni sono procedute come previsto. Entrambi gli episodi hanno comportato il fermo della macchina e conseguente perdita di tempo nell'avanzamento della TBM.

Per la tratta delle Arenarie tipo Scabiazza, non si sono verificate venute di acqua e, conseguentemente, non abbiamo avuto ritardi nell'avanzamento della macchine e, quindi, per quanto concerne i consumi, non è stato necessario l'impiego di bentonite.

Per considerare il fattore umano, mediante l'ausilio dei rapportini di scavo, è stato valutato il tempo lavorato, in ore, e il numero di anelli montati da ciascuna squadra. Sono presenti 5 squadre che abbiamo indicato con le sigle P1, P2, P3, P4 e P5, riferite al pilota che è presente per la stessa.

Nei Grafici 6.23S-6.24S riportiamo in percentuale le ore lavorate e gli anelli montati da ciascuna squadra, indicando anche la percentuale in cui non abbiamo alcuna indicazione (P), nei periodi di fermo prolungato.

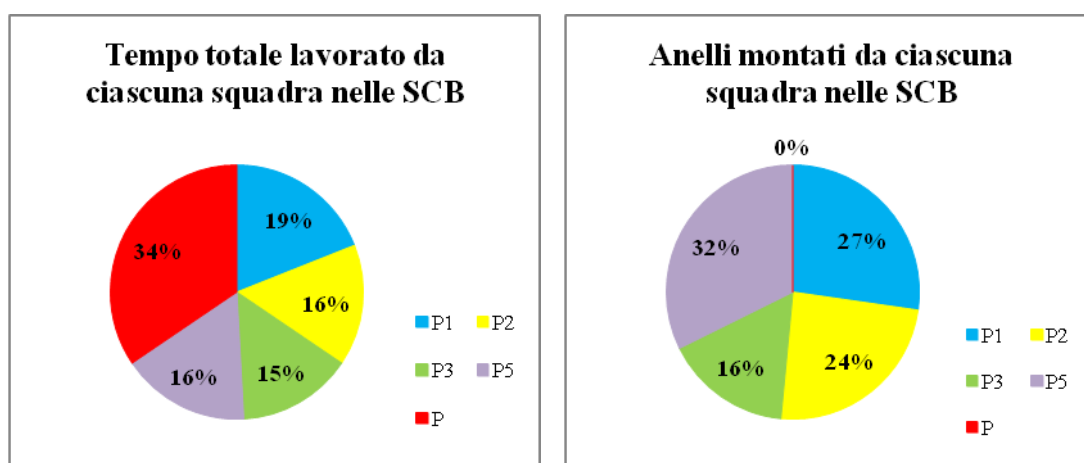


Grafico 6.23S-6.24S Tempo lavorato (ore) e anelli montati nelle SCB da ciascuna squadra

Benché la squadra P5 sia stata quella a lavorare un numero di ore ridotto rispetto ad altre, è quella che ha realizzato il maggior numero di anelli montati.

Riportiamo di seguito l'andamento dei parametri elaborati, che non ci interessano al fine di individuare i *range* dei parametri sopra citati, ma ci forniscono un'idea ulteriore sulle caratteristiche della formazione Arenarie tipo Scabiazza.

Il Grafico 6.25S mostra l'andamento della fresabilità, definita come velocità di penetrazione (mm per giro della testa) che la TBM riesce a sviluppare in rapporto alla spinta, e indica la difficoltà che la macchina ha avuto nell'avanzare all'interno della formazione in relazione al tipo di scavo eseguito: l'andamento presenta un abbassamento, successivamente all'anello n°226, motivato dalle caratteristiche del materiale che si sono fatte più avverse per lo scavo.

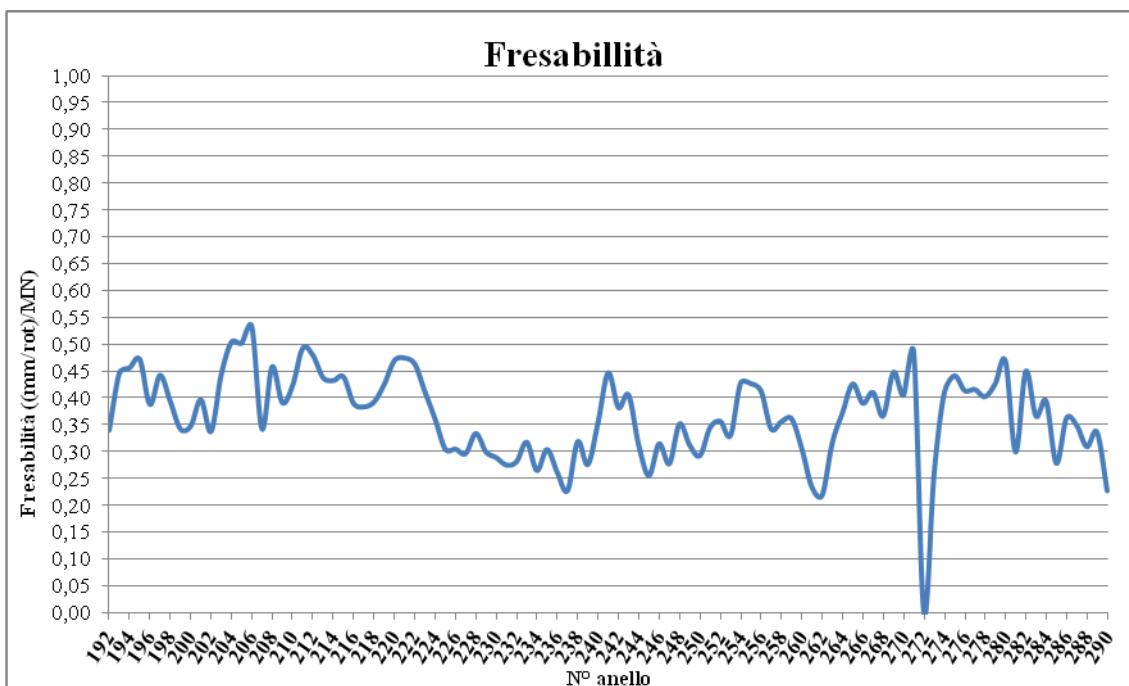


Grafico 6.25S Andamento della fresabilità nell'ambito della SCB

Di seguito sono graficati il livello di sistematicità dell'avanzamento, rappresentato dal rapporto tra il tempo di scavo e di posa dell'anello di rivestimento, e il livello di efficienza del sistema, rappresentato dal rapporto tra fermi e ciclo di avanzamento.

Per il primo, tanto più questo ha un valore vicino ad 1, più significa che tempo di scavo e tempo di posa dell'anello coincidono, che significa ottimizzazione delle attività principali che caratterizzano ogni *step* di avanzamento. Se il valore tende ad aumentare si evince che sto impiegando più tempo per la realizzazione del vero e proprio scavo, a discapito del tempo che impiego per montare l'anello. Viceversa, se il valore diminuisce, impiego un tempo maggiore per il montaggio del rivestimento che, salvo problematiche all'ereuttore o malfunzionamenti specifici, è fortemente dipendente dalle capacità dell'ereuttore.

Il Livello di avanzamento fluttua attorno al valore 1, presentando, generalmente, valori più alti, sintomo che, per gli anelli della tratte delle Arenarie tipo Scabiazza, è stato necessario più

tempo per lo scavo, piuttosto che per il montaggio del rivestimento. I picchi più elevati sono stati registrati successivamente all'avanzamento n°226.

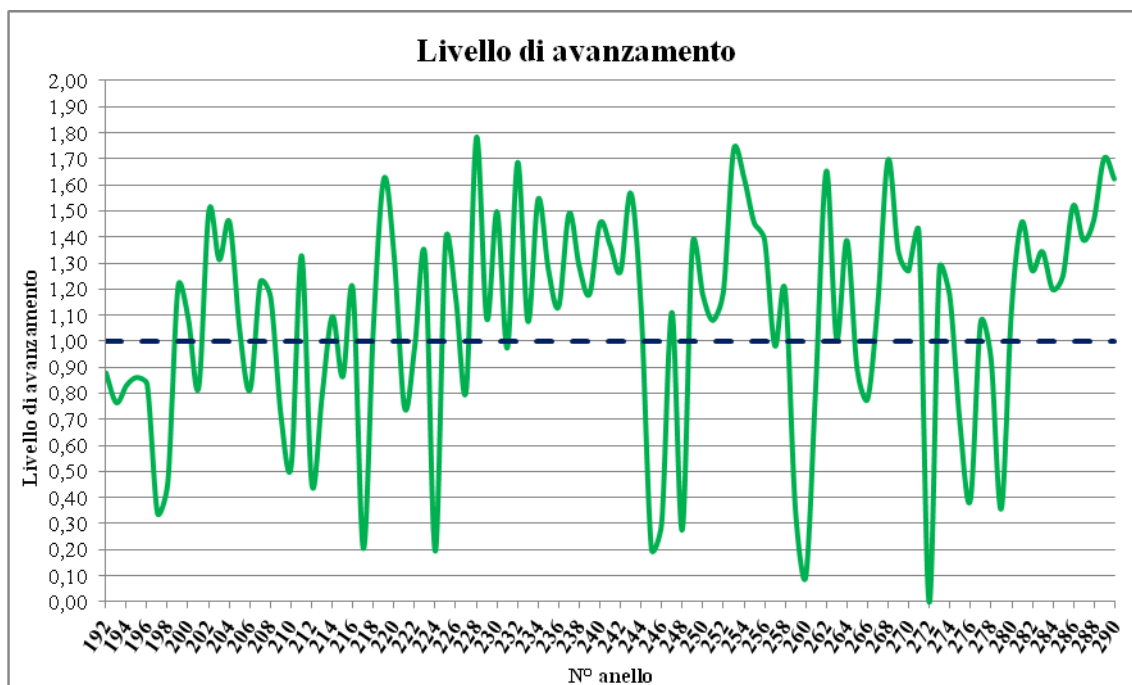


Grafico 6.26S Andamento del livello di avanzamento nell'ambito della SCB

Per il Livello di efficienza, tanto più il valore è basso tanto più significa che, rispetto al tempo totale di ogni avanzamento, i tempi di fermo incidono poco. Per tempi di fermo, torniamo a ribadire, intendiamo effettivamente tutti quei momenti in cui la macchina non sta avanzando, quindi, non soltanto, in presenza di malfunzionamenti e problematiche varie, ma anche durante il montaggio del rivestimento.

Se il valore si assesta attorno ad 1, significa che i tempi di fermo hanno inciso per la totalità nel tempo, mentre, per le tempistiche relative a questa macchina, se il valore si assesta attorno allo 0,5, significa che i tempi di fermo che incidono sono solo quelli relativi al montaggio dei conci. Mediamente, per la formazione delle Arenarie tipo Scabiazza, i fermi incidono per circa il 65%, vale a dire più della metà del tempo totale impiegato per lo scavo della tratta fin qui esaminata.

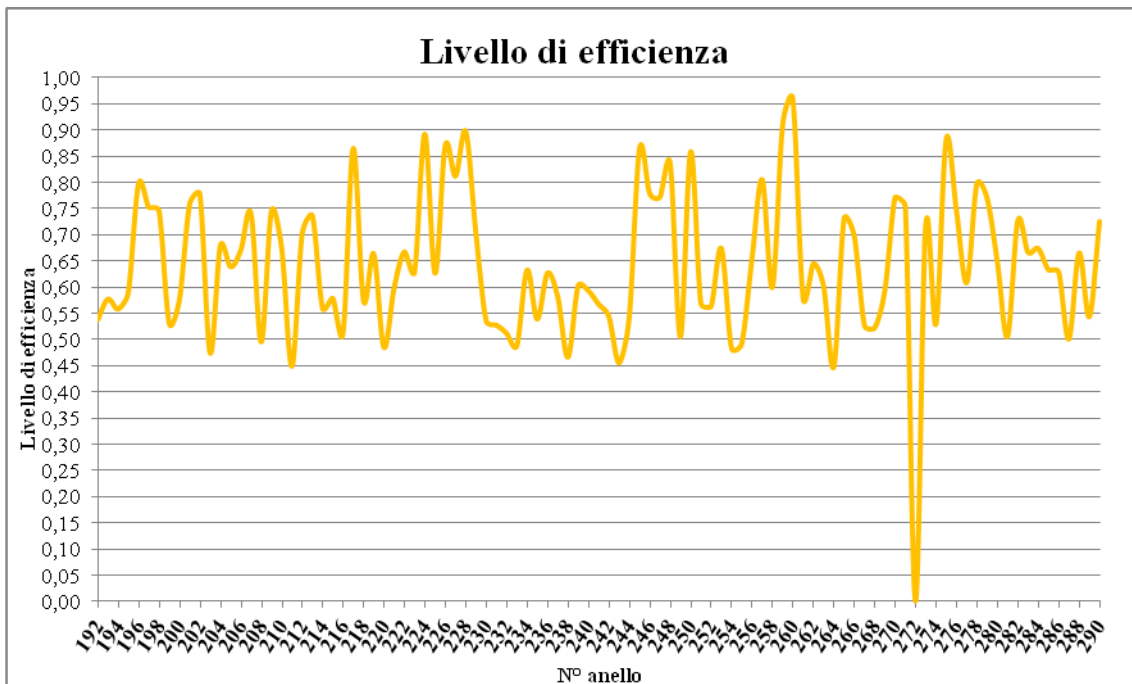


Grafico 6.27S Andamento del livello di avanzamento nell'ambito della SCB

Il parametro complementare al precedente è il Coefficiente di utilizzazione, dato dal rapporto tra il tempo di scavo vero e proprio e il tempo totale lavorato: per questa grandezza, analogamente a quanto visto per il livello di efficienza, considerando la nostra macchina e le tempistiche medie che la caratterizzano, il valore ottimale è circa 50%, in quanto, in assenza di fermi prolungati e montaggio dell'anello senza problematiche, la fase di avanzamento incide per la metà nel tempo totale associato a ciascuno *step*.

Il Grafico 6.28S ci mostra che, per le Arenarie tipo Scabiazza, tale parametro si assesta attorno al 30 – 50%, sottolineando che, non sempre, vengono ottimizzate le tempistiche di scavo e montaggio dell'anello, come evidenziato dal Grafico 6.26S.

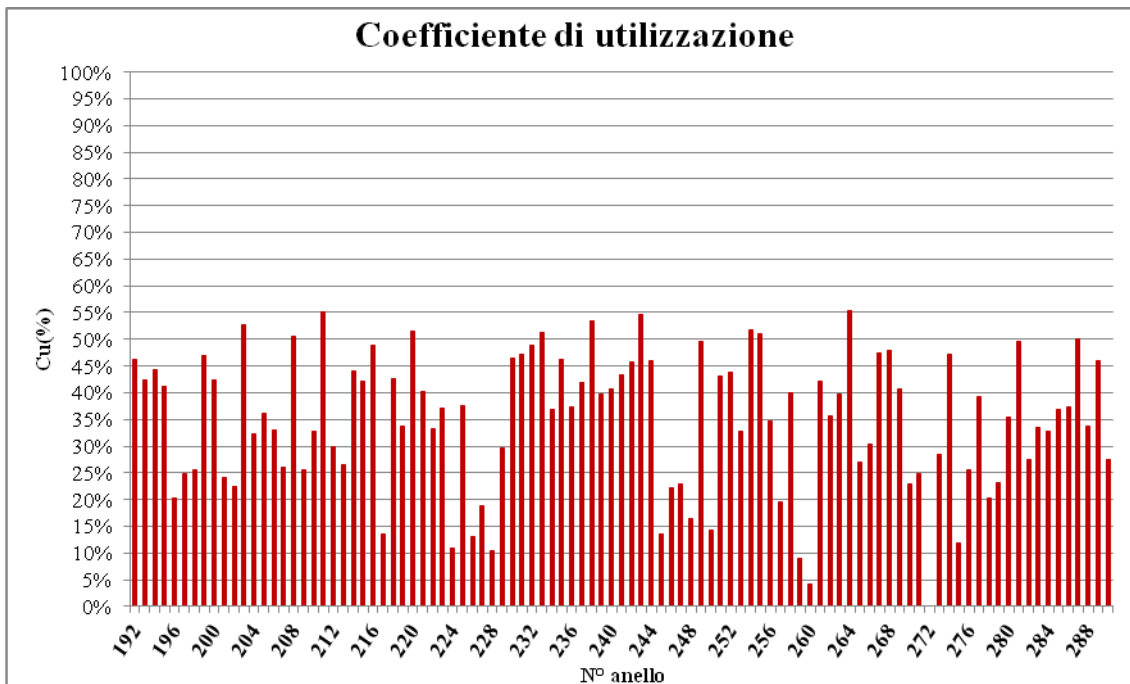


Grafico 6.28S Andamento del coefficiente di utilizzazione (%) nell'ambito della SCB

Il confronto seguente, fra pressione di iniezione della malta e valore medio registrato dai sensori di terra, è necessario per verificare che le pressioni mantenute dagli iniettori della malta sono state sufficienti per eseguire correttamente il riempimento a tergo dei conci. Generalmente lo scostamento dovrebbe assestarsi attorno ad 1 bar, ma, non essendo presente in cabina il valore medio dei sensori in camera di scavo, non sempre è possibile seguire questa linea guida.

Possiamo vedere (Grafico 6.29S) come mediamente questo gap sia stato mantenuto ben al di sopra di quanto preventivato, nella prima parte della tratta in esame, per poi ridursi, successivamente all'anello n° 260, per un breve lasso di tempo.

Torniamo a ribadire che, tale confronto, dovrebbe fornirci l'informazione se il riempimento a tergo dei segmenti del rivestimento è stato eseguito correttamente; in realtà senza un vero e proprio campionamento e mediante la sola analisi dei parametri operativi, questa certezza non ce l'avremo mai.

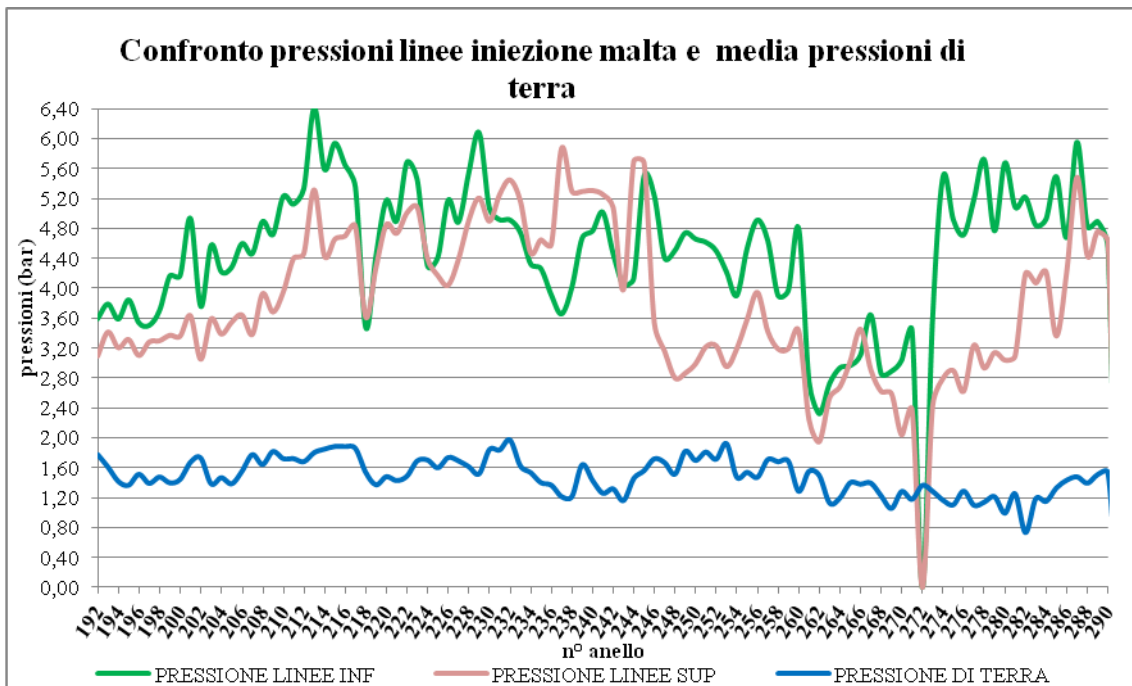


Grafico 6.29S Confronto fra le pressioni di iniezione della malta e la media dei sensori di pressione di terra nell'ambito della SCB

6.5.2 Performance ottimali individuate per la Formazione delle Arenarie tipo Scabiazza

Nella tabella seguente sono riportati gli anelli che, per la formazione delle Arenarie tipo Scabiazza, in termini di velocità di avanzamento (mm/min) e penetrazione (mm/rot), al netto dei tempi di fermo, hanno presentato le migliori *performance*.

SCB - ARENARIE TIPO SCABIAZZA		
ANELLO N°	PENETRAZIONE (mm/rot)	VELOCITA' DI AVANZAMENTO (mm/min)
195	33,64	35,00
193	32,68	33,81
194	32,49	33,50
211	32,37	32,93
197	32,29	33,67
204	31,84	32,55
206	31,77	32,85
212	31,26	32,01
205	30,66	31,53

Tabella 6.11S Anelli che hanno presentato le migliori performance nella tratta SCB

I Grafici 6.30S e 6.31S mostrano quali sono gli anelli, riportati nella tabella precedente, che esamineremo.

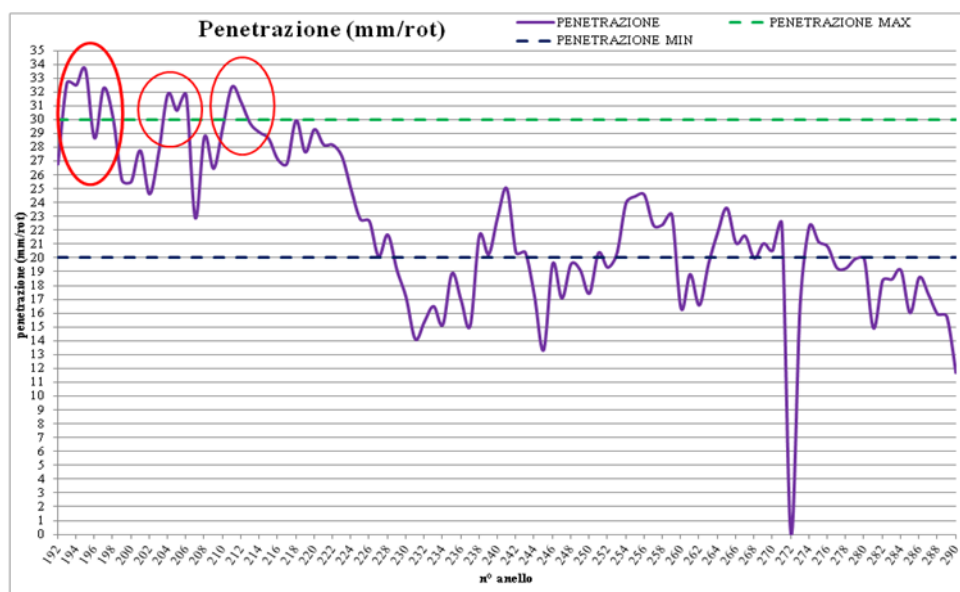


Grafico 6.30S Indicazione degli anelli che hanno presentato le migliori prestazioni in termini di penetrazione netta

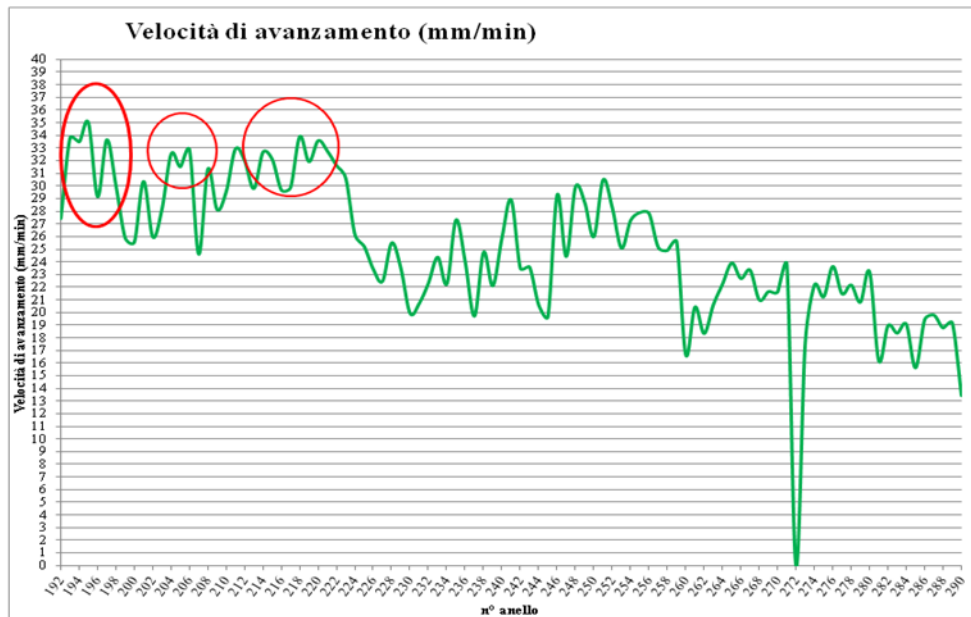


Grafico 6.31S Indicazione degli anelli che hanno presentato le migliori prestazioni in termini di avanzamento netto

Riportiamo anche la dislocazione degli anelli analizzati nell'ambito della tratta Arenarie tipo Scabiazza, nella Fig. 6.12S.

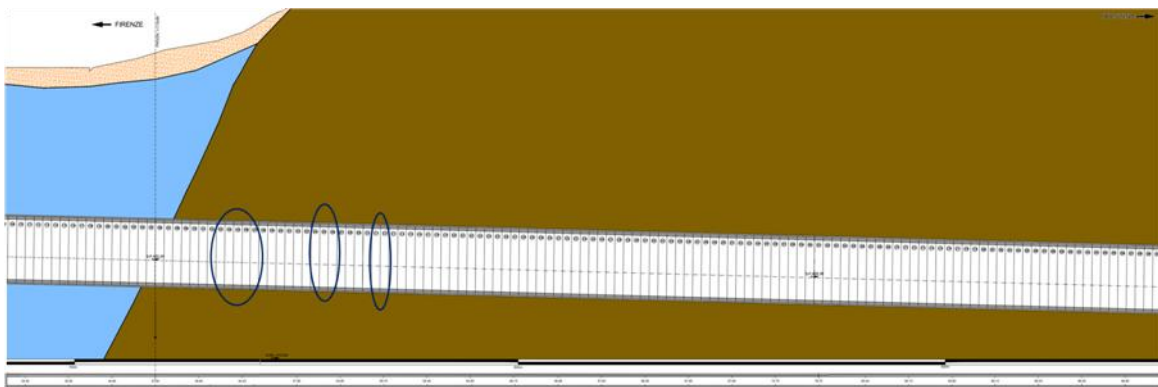


Figura 6.12 Posizione degli anelli migliori analizzati nell'ambito della formazione SCB [29]

Per ragioni di spazio non riporteremo l'analisi eseguita per ciascuno degli anelli sopra elencati, ma, a titolo esemplificativo, riporteremo quella dell'anello n° 195, perché caratterizzato dai valori migliori di tutta la tratta. Per gli altri ci limiteremo a riportare i risultati, in termini di *range* ottenuti, e relativo commento.

ANELLO N°195

L'anello n°195, si trova circa all'inizio della tratta in esame e la sua posizione è indicata nella Fig. 6.13.

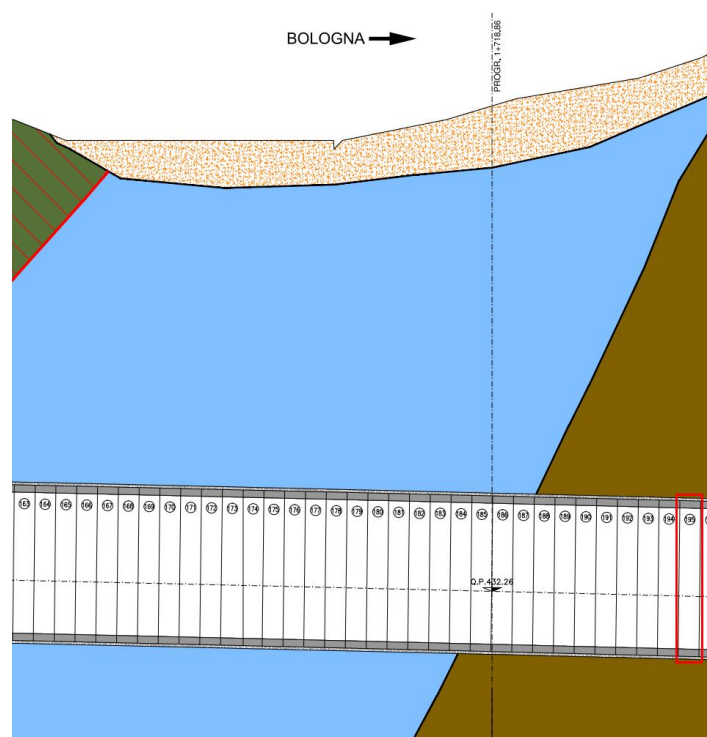


Figura 6.13 Posizione dell'anello n° 195 nell'ambito della formazione SCB [29]

A causa della gran mole di dati relativi all'anello in esame, e anche agli altri anelli analizzati, questi non sono disponibili in allegato. Basti pensare che per l'avanzamento n°195 il numero dei dati è dell'ordine dei 777000.

Il tempo totale impiegato per lo scavo di questi 2 metri è pari a 2 ore e 18 minuti, come riportato in Tab. 6.12S.

ANELLO N°195	
LUNGHEZZA (m)	2
TEMPO TOTALE IMPIEGATO (min)	138

Tabella 6.12S Caratteristiche dell'anello n°195

Da un'analisi complessiva delle tempistiche, la macchina è stata caratterizzata da ridotti momenti di fermo, imputabili all'attesa dei conci di rivestimento all'interno della galleria,

mentre prevalentemente si è realizzato l'avanzamento e il montaggio vero e proprio del rivestimento.

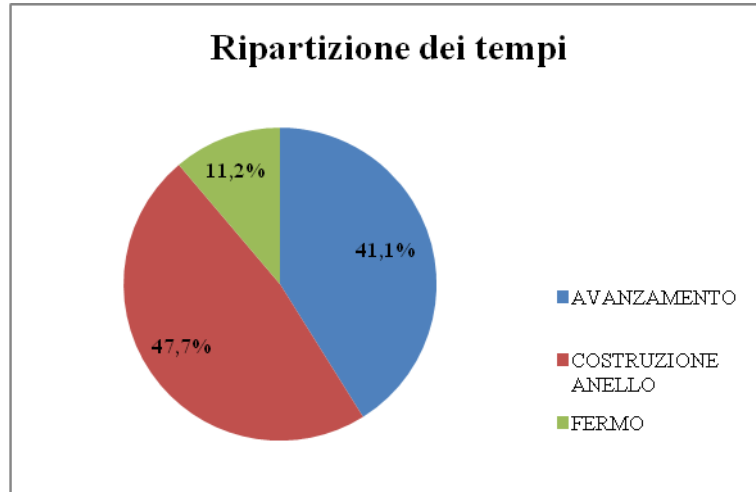


Grafico 6.32S Ripartizione delle tempistiche per l'anello n°195

Riportiamo adesso le due grandezze che ci hanno consentito di evidenziare questo anello come uno di quelli in cui si sono realizzate le prestazioni migliori: velocità di avanzamento e penetrazione.

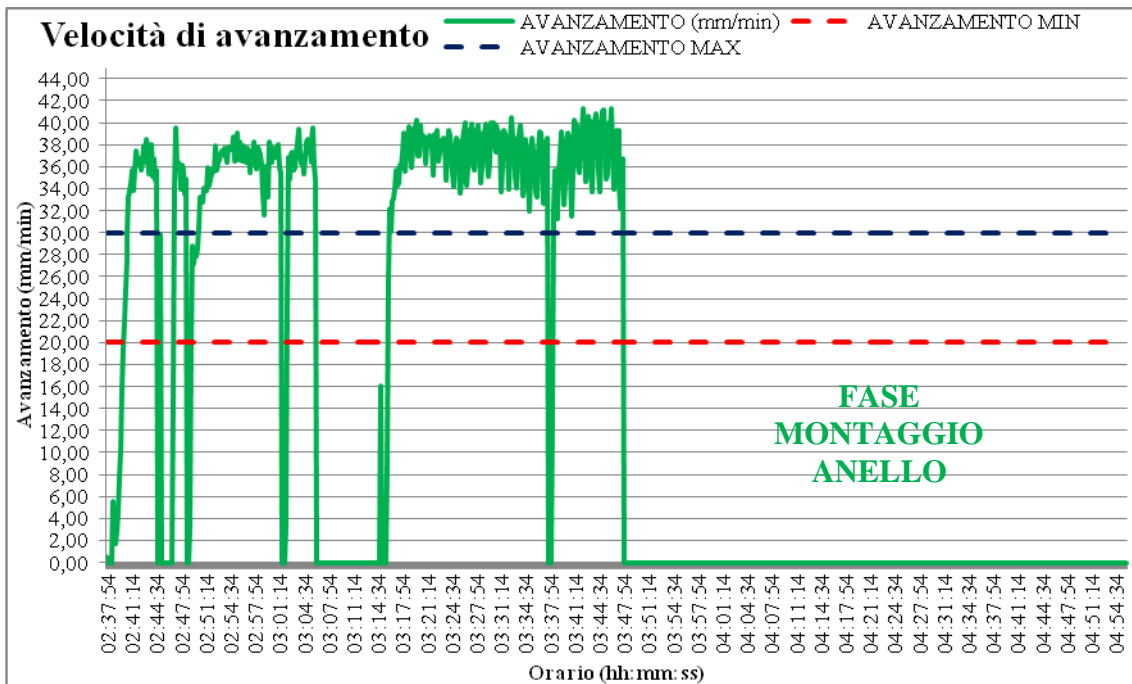


Grafico 6.33S Velocità di avanzamento (mm/min) realizzato dalla macchina per l'anello n°195

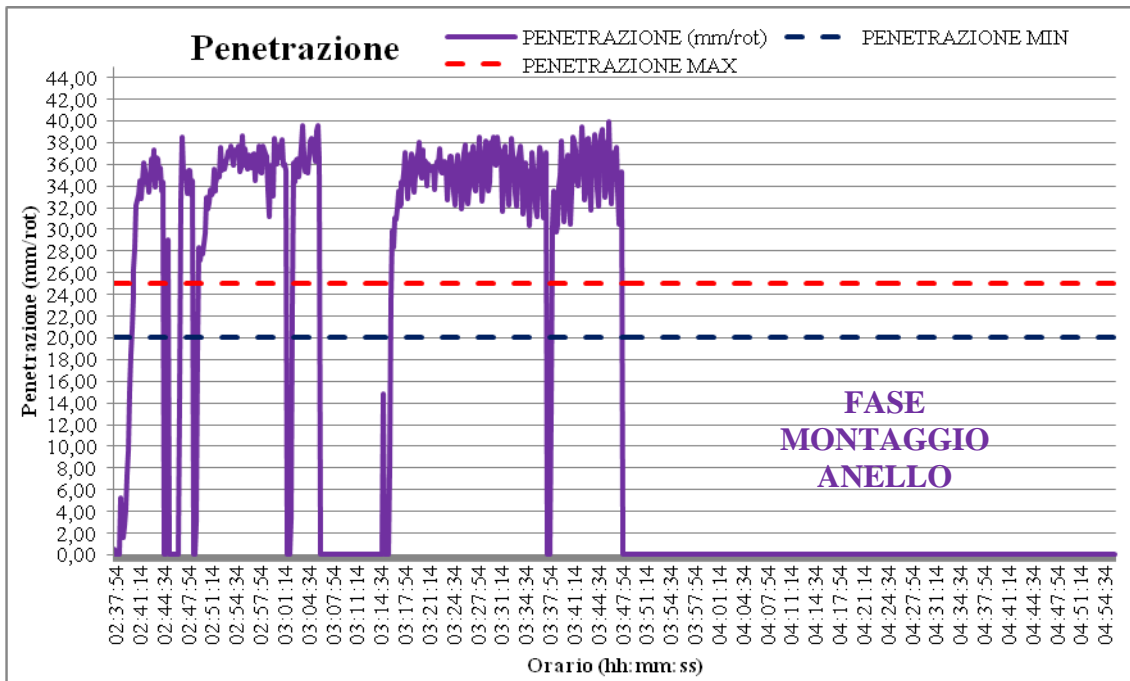


Grafico 6.34S Penetrazione (mm/rot) realizzato dalla macchina per l'anello n°195

È evidente che le *performance* della macchina, per l'anello n°195, sono state decisamente superiori rispetto alla media della formazione Arenarie tipo Scabiazza, indicata come valori minimo e massimo per entrambe le grandezze.

Per la velocità di avanzamento sono stati raggiunti anche valori di 42 mm/min, mentre per la penetrazione sono stati registrati valori che raggiungono i 39 mm/rot.

I valori nulli presenti nei grafici sono associati:

- momentanee situazioni in cui è stato necessario arrestare la macchina, una di queste a causa di problematiche legate al nastro;
- alla fase di montaggio del rivestimento.

Analizzando i grafici seguenti, vedremo di individuare la causa di queste prestazioni ottimali, sia in termini di parametri di avanzamento, sia, eventualmente, anche con riscontri sui consumi.

L'andamento della forza di spinta, rispetto a quanto osservato per l'intera formazione, rimane leggermente superiore all'intervallo proposto in precedenza, raggiungendo come valore massimo 82000 kN circa.

Anche in questo grafico (Grafico 6.35S), possiamo notare che, successivamente alla fase di avanzamento, la forza di spinta si mantiene entro un intervallo di valori di 45000-55000 kN, durante tutta la fase di montaggio dell'anello, necessario per sostenere il fronte.

Gli abbassamenti che possiamo rilevare nel grafico sono associati ai momenti di fermo della macchina, in cui è necessario spingere solo per garantire la stabilità del fronte e non per avanzare, e per i quali il valore si è assestato entro l'intervallo indicato pocanzi.

Questo andamento sottolinea che, per questo anello, è stato necessario spingere di più per riuscire a garantire delle prestazioni ottimali in avanzamento ed, in particolare, consentire la stabilità del fronte.

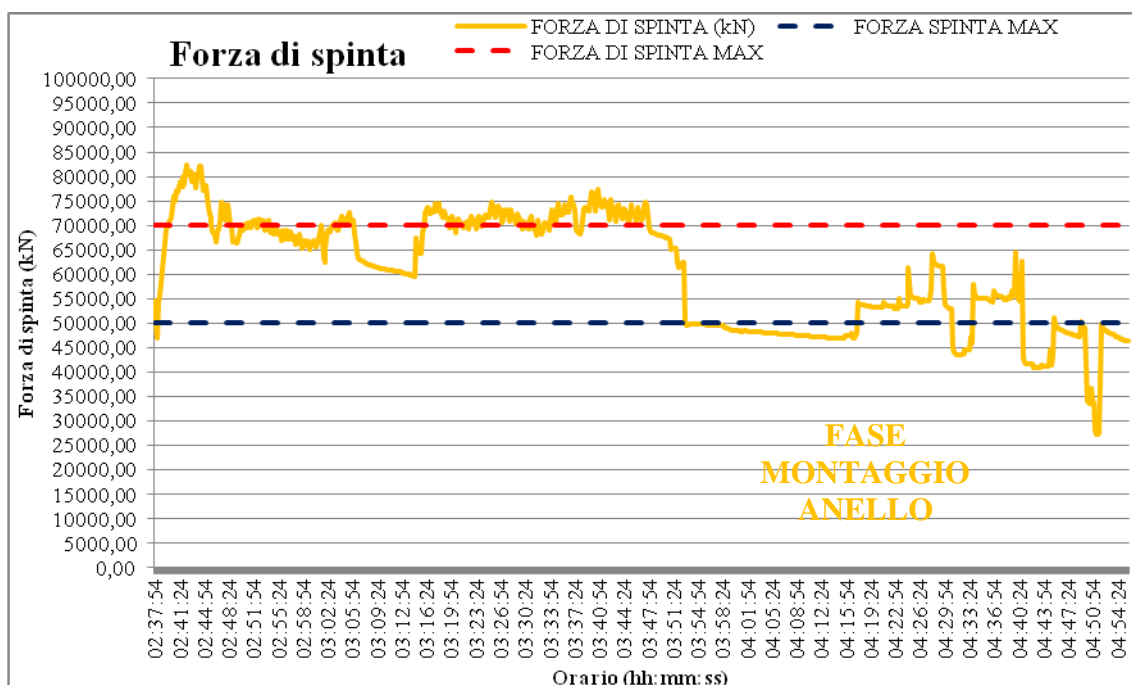


Grafico 6.35S Forza di spinta (kN) della macchina per l'anello n°195

La forza di contatto, che, ricordiamo, rappresenta la vera e propria forza di scavo, da fornire agli utensili affinché riescano a disgregare il materiale, è una grandezza che presenta forti oscillazioni, ma è il parametro che, fra i molti, ci fornisce un'indicazione diretta del materiale che stiamo scavando.

L'andamento è analogo a quello della forza di spinta, essendone direttamente legata, perchè quota parte: i valori più bassi sono relativi ai momenti di fermo della macchina, precedentemente motivati.

Mediamente si assesta su valori più bassi rispetto a quelli che si sono presentati nell'ambito della tratta delle Arenarie tipo Scabiazza, sottolineando che per questo anello, l'avanzamento è risultato più semplice a causa di un materiale meno resistente, ma anche meno stabile.

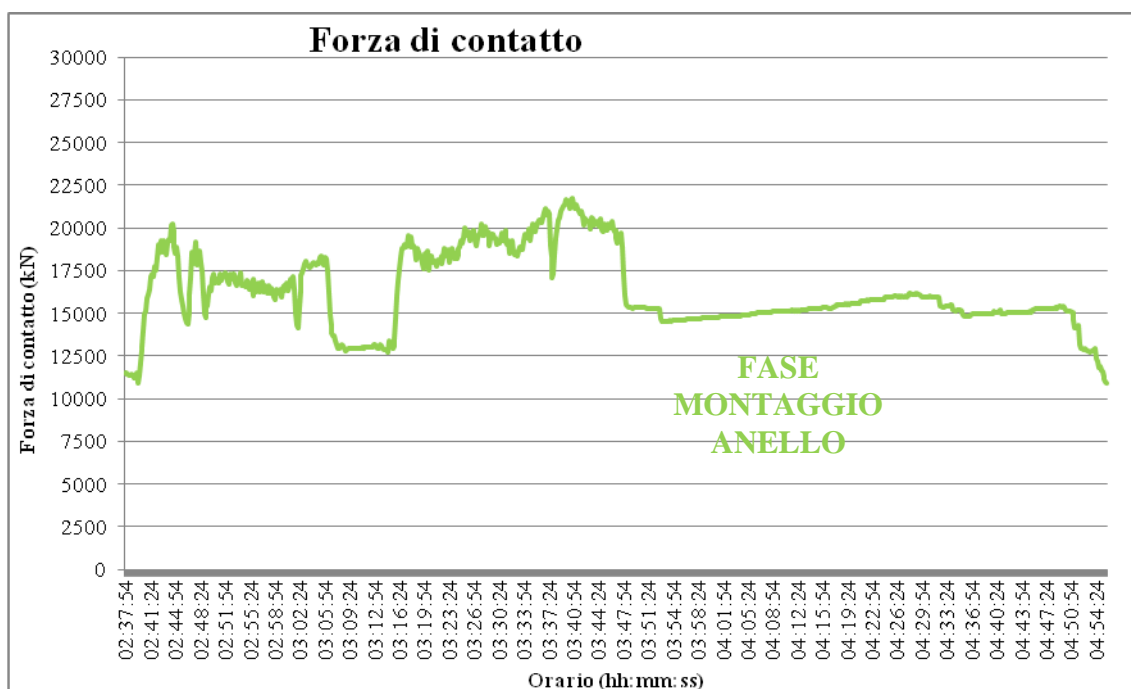


Grafico 6.36S Andamento della forza di contatto (kN) per l'anello n° 195

L'andamento della pressione in camera di scavo, misurata in bar, come visibile dal Grafico 6.37S, ha mantenuto tutto sommato l'andamento previsto per l'intera formazione, con valori mediamente elevati, anche nella fase di montaggio dell'anello. I problemi di insanabilità risultano, quindi, trovare conferma anche in questo andamento.

Riportiamo anche l'andamento delle pressioni per gli altri sensori (Grafico 6.38S): il sensore in calotta, n°3, è quello che presenta il valore più basso e mano a mano la pressione sale, giungendo al valore massimo in prossimità dei sensori al piede, n° 8 e n° 9.

Le problematiche identificate per i sensori n° 1 e n° 11, che avevamo indicato per la tratta precedente, sono stati risolti ed, infatti, l'andamento delle pressioni rispecchia ciò che ci aspettiamo.

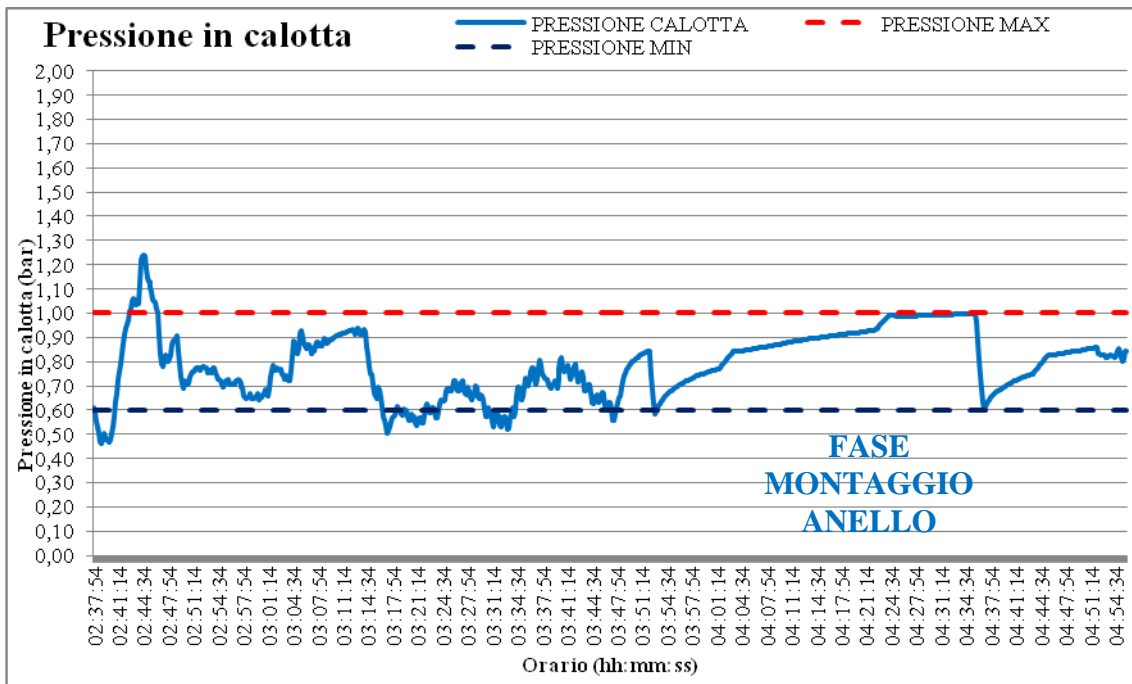


Grafico 6.37S Pressione in calotta (bar) per l'anello n°195

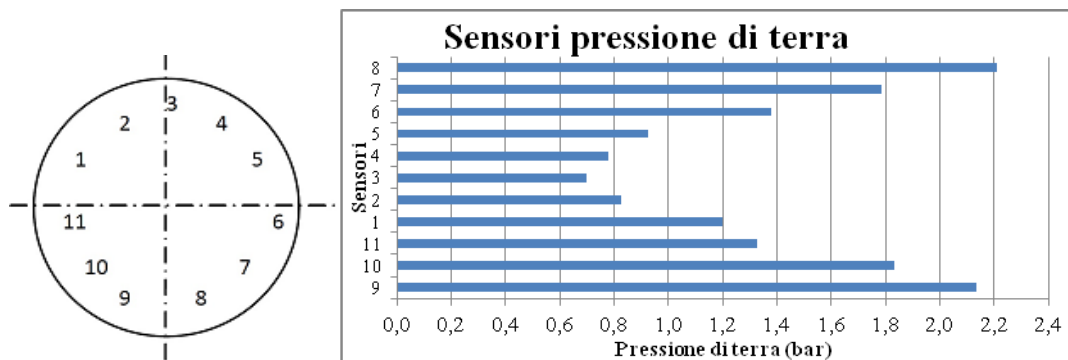


Grafico 6.38S Pressioni di terra (bar) registrate per l'anello n°195

La verifica del peso del materiale scavato avviene, come precedentemente detto, mediante un sistema a due bilance, poste sul nastro trasportatore, di cui vediamo i valori rappresentati nel grafico Grafico 6.39S.

Per questo anello il peso del materiale asportato, si è assestato intorno alle 1000 t, come previsto mediamente per l'intera formazione, che, ipoteticamente, indica che per questo anello non si sono verificati sovrascavi che avrebbero potuto incrementare notevolmente questa grandezza.

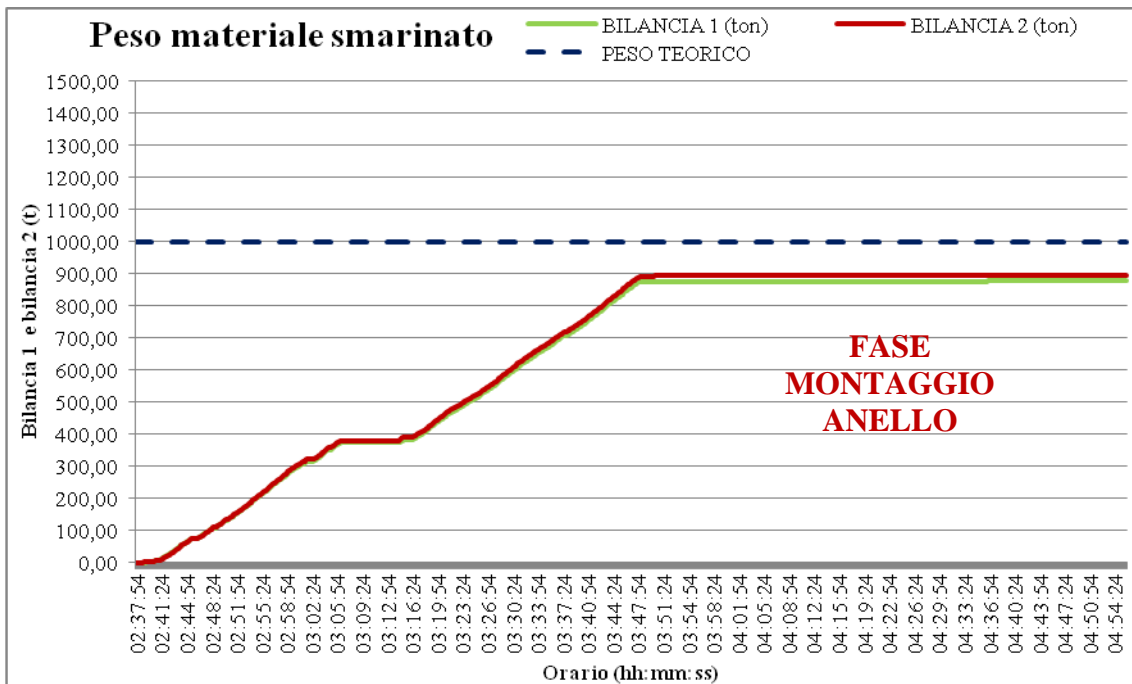


Grafico 6.39S Peso del materiale smarinato (comprensivo di acqua) per l'anello n°195

La pressione di iniezione della miscela bicomponente si assesta attorno al limite massimo proposto nell'analisi complessiva, presentando solo nella fase di inizio scavo valori inferiori, in quanto la malta viene iniettata solo dopo aver scavato 10 cm in avanzamento.

I valori di picco che si presentano complessivamente nell'andamento, invece, sono imputabili ad una chiusura del flusso, avvenuti in corrispondenza dei fermi della macchina.

L'abbassamento drastico, che rileviamo dal Grafico 6.40S, è dovuto alla fase di montaggio dell'anello, durante il quale non viene iniettata la malta.

Riportiamo anche l'andamento medio delle pressioni per ciascuna delle 12 linee di iniezione, evidenziando che le linee 6 e 7 non sono in funzione perché si ritiene non necessarie, essendo poste nella parte inferiore dello scudo e la malta, in questa zona, vi giunge per gravità.

Mediamente non si sono mai raggiunti valori superiori ai 4 bar, limite che ci si impone per evitare l'intasamento delle linee.

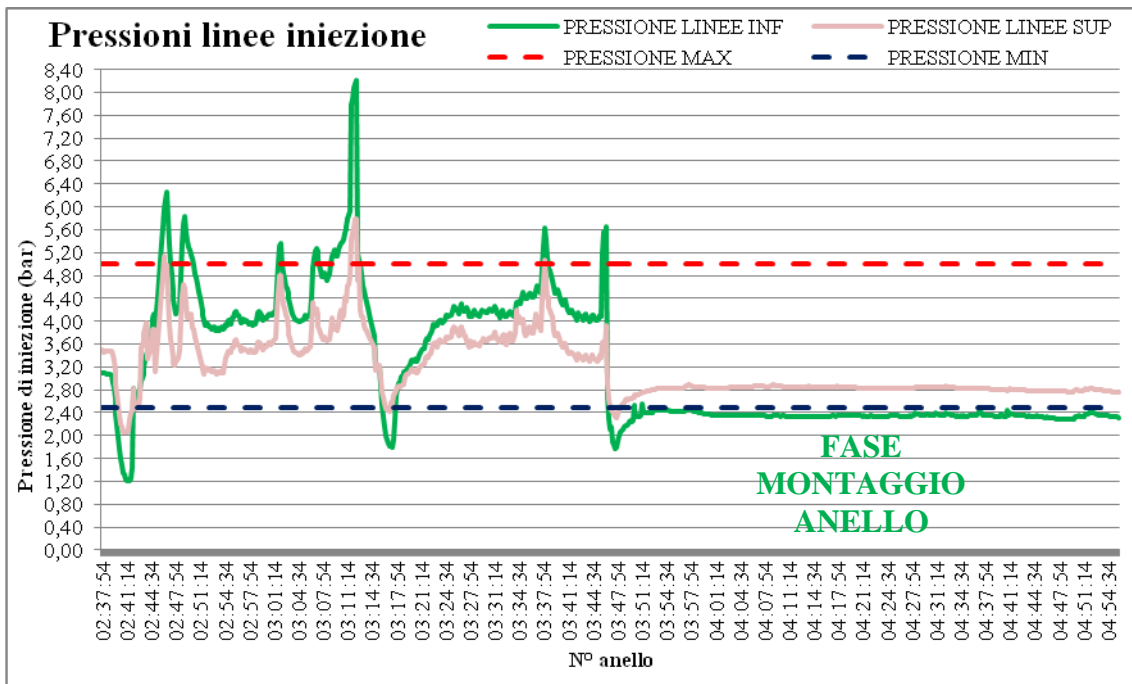


Grafico 6.40S Andamento della pressione delle linee di iniezione della malta (bar) inferiori e superiori per l'anello n°195

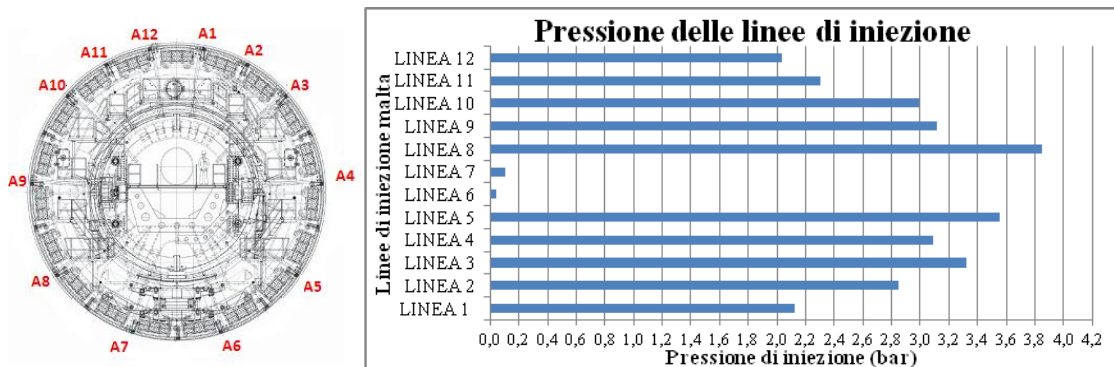


Grafico 6.41S Indicazione dei punti di iniezione della malta e andamento medio della pressione (bar) per ciascuna di esse per l'anello n°195

Gli andamenti del F.I.R., Fattore di Iniezione e F.E.R., Fattore di Espansione, ci forniscono un'indicazione sul condizionamento del materiale realizzato per l'anello n°195.

Come precedentemente detto, una delle motivazioni per cui si sono raggiunte delle prestazioni ottimali è il condizionamento del material, che favorisce e facilita la riuscita dello scavo.

I range forniti nell'analisi complessiva risultano abbastanza calzanti per quest'anello, vale a dire che il condizionamento è stato realizzato correttamente, rispetto a quanto previsto, fatta eccezione per alcuni picchi presenti per il FIR, nella fase iniziale di spinta.

Per il FIR generalmente i picchi si verificano prima del fermo della macchina e, una volta verificatosi, il valore scende a zero, in quanto non ho estrazione di materiale a cui questo parametro è direttamente associato.

Per il FER i picchi si verificano prima del fermo della macchina ma, non necessariamente il valore va a zero, durante lo *stop*: essendo legato al volume di schiuma che si genera a partire da una unità di liquido, specie se il fermo è di breve durata, il valore tende ad abbassarsi ma non ad azzerarsi.

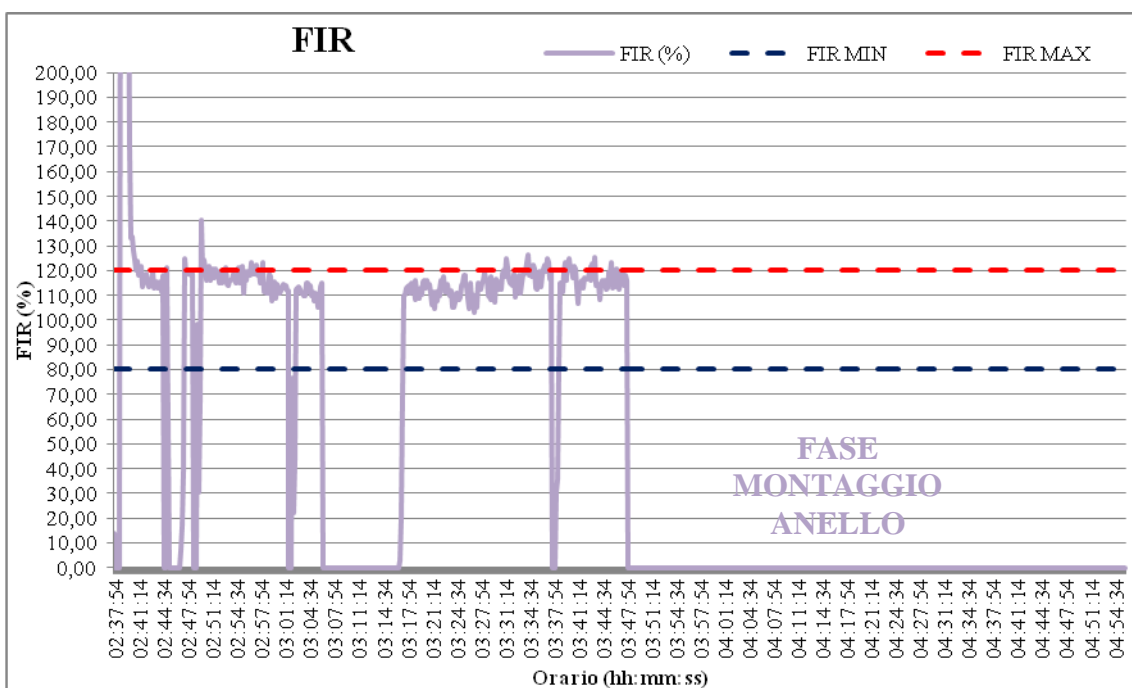


Grafico 6.42S Andamento del FIR per l'anello n°195

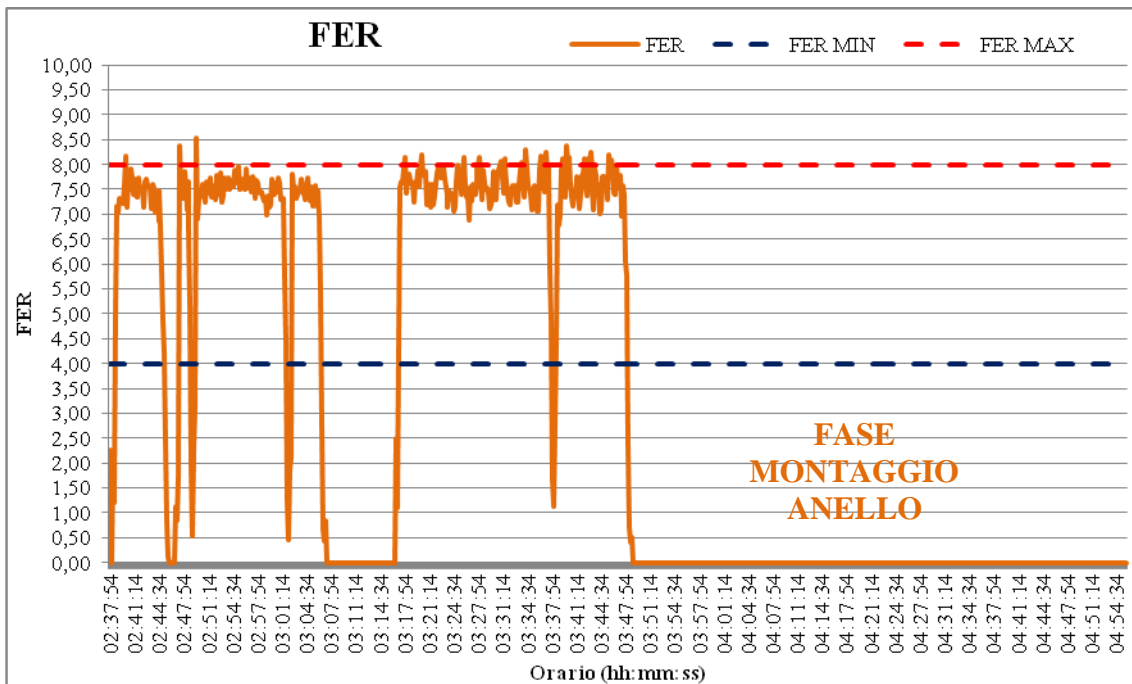


Grafico 6.43S Andamento del FER per l'anello n°195

I grafici seguenti riportano, invece, i consumi che hanno caratterizzato lo scavo nell'avanzamento n°195.

I primi grafici (6.44S- 6.45S) riguardano il consumo di malta e accelerante per le iniezioni a tergo dei conci.

Il dosaggio di accelerante rispetto al totale iniettato è pari al 6%, in media rispetto a quanto preventivato e il volume teorico di miscela da iniettare, pari a 29,5 m³, è stato rispettato in quanto il volume totale iniettato è stato 27,6 m³, di poco inferiore al valore teorico, sintomo che non ci sono stati richiami di malta da cavità o geometrie particolari all'intorno dello scavo.

Da sottolineare, che la miscela bi componente iniettata durante l'avanzamento in esame, non finisce a tergo del rivestimento montato, ma in corrispondenza del fine scudo, vale a dire 3- 4 anelli precedenti a quello analizzato.

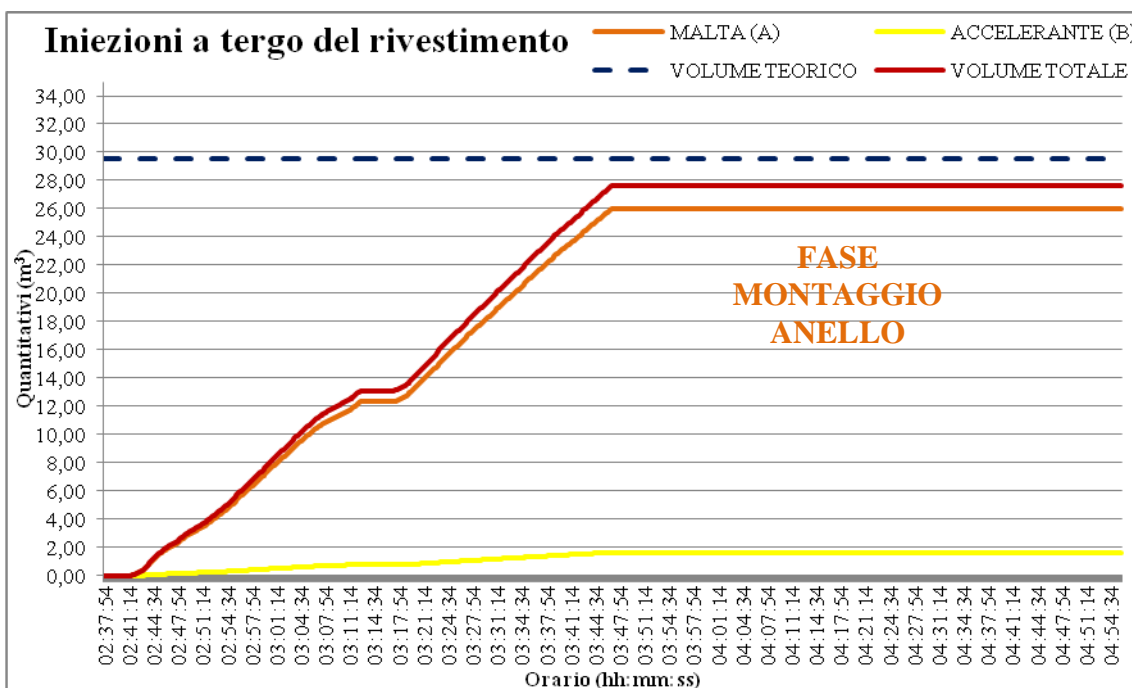


Grafico 6.44S Quantitativo di malta e accelerante iniettati, volume totale iniettato e indicazione del volume teorico da iniettare (m³) nell'ambito dell'anello n°195

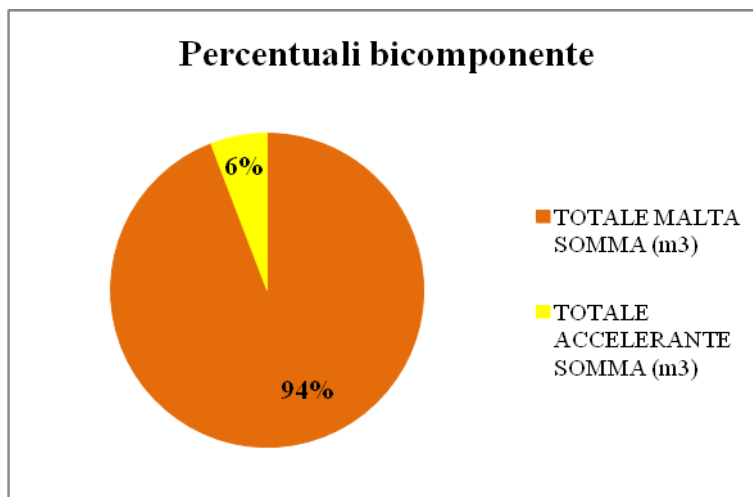


Grafico 6.45S Ripartizione dei quantitativi di malta e di accelerante nella miscela bicomponente dell'anello n°195

Per quanto riguarda i consumi necessari al condizionamento del materiale, abbiamo deciso di riportare, in grafici separati (Grafico 6.47S -6.48S), i quantitativi di tensioattivo (proveniente dal serbatoio 1 e 2) e polimero ad alta pressione, dai consumi totali di acqua (quella addizionata alla schiuma e quella fornita allo statore).

Per questo anello non è stato necessario impiegare il polimero ad alta pressione che, come precedentemente detto, ha la funzione di disgregante, a differenza del polimero proveniente dai serbatoi 1 e 2, che rappresenta le vere e proprie schiume.

È stato utilizzato solo il polimero proveniente dal serbatoio 1, poiché quello proveniente dal numero 2 non è stato necessario, come è visibile dal Grafico 6.46S.

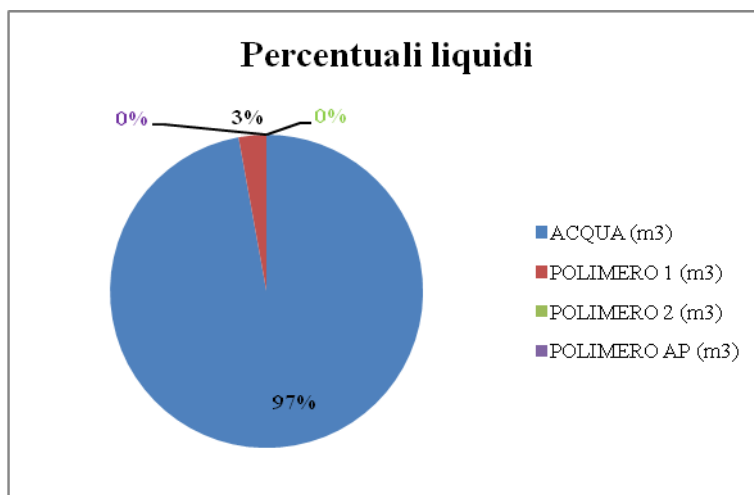


Grafico 6.46S Ripartizione dei quantitativi di liquidi per il condizionamento dell'anello n°195

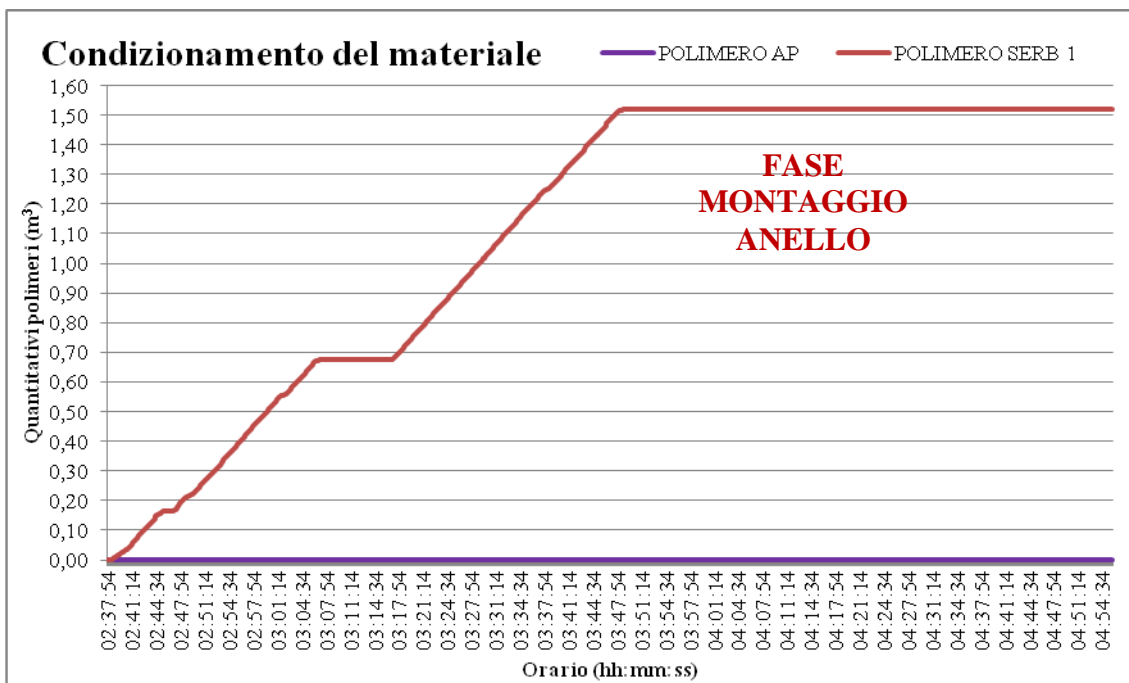


Grafico 6.47S Quantitativi di tensioattivo e polimero ad alta pressione iniettato nell'ambito dell'anello n°195

L'acqua delle schiume raggiunge un massimo di 51 m³, mentre il consumo dell'acqua per lo statore arriva ad un massimo di 106 m³: il primo quantitativo risulta sempre essere circa la metà del secondo, sottolineando una necessità consistente di liquido per facilitare l'estrazione meccanica del materiale mediante la coclea.

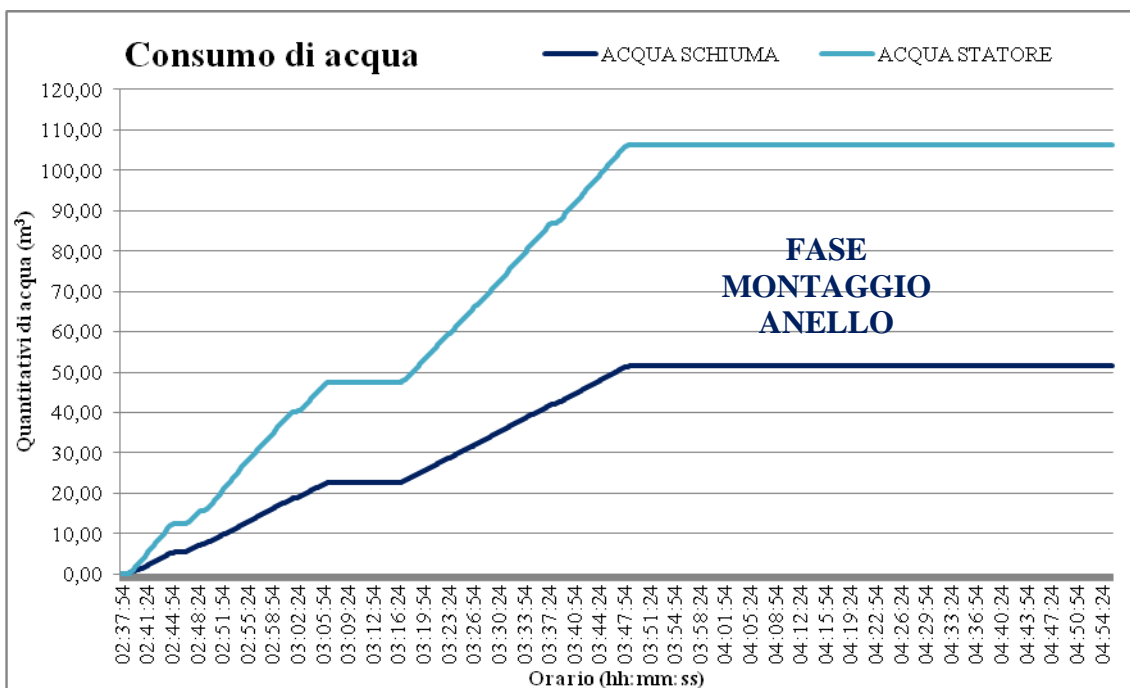


Gráfico 6.48S Quantitativi di acqua addizionata alle schiume e iniettata nello statore nell'ambito dell'anello n°195

I consumi di grasso sono riportati di seguito singolarmente per ogni tipologia: il quantitativo maggiore è associato al CONDAT WR89, impiegato per la tenuta delle spazzole.

Non sono presenti valori anomali rispetto al consumo medio previsto per la formazione delle Arenaria tipo Scabiazza.

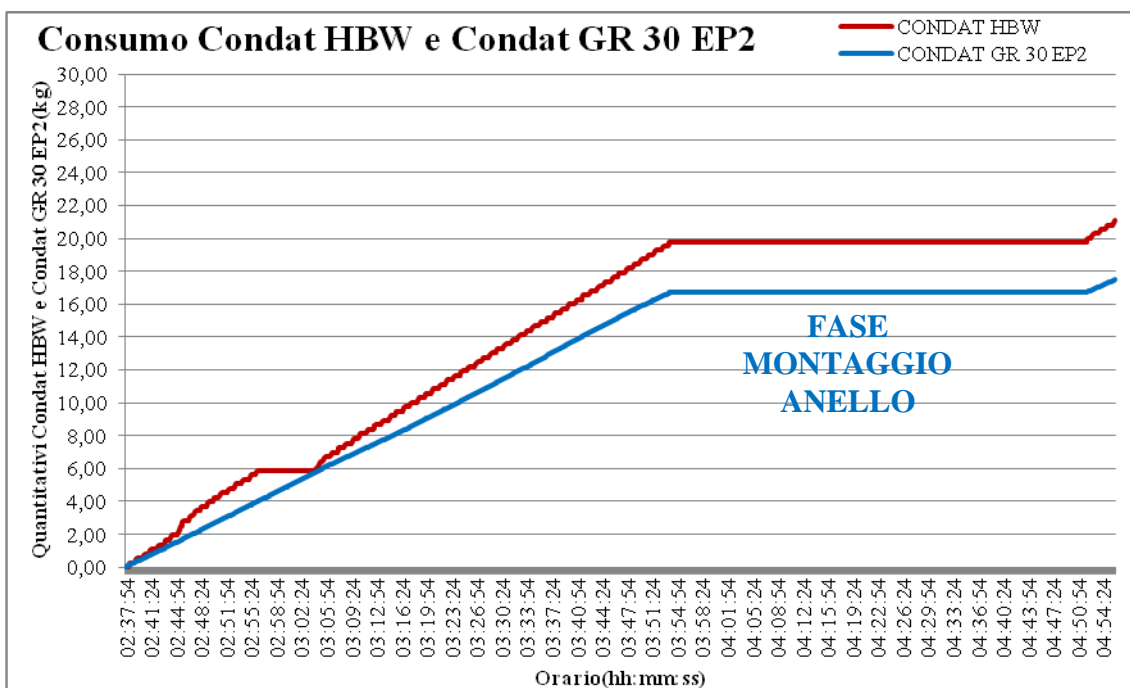


Grafico 6.49S Quantitativi di Condat HBW e Condat GR 30 EP2 consumato nell'ambito dell'anello n°195

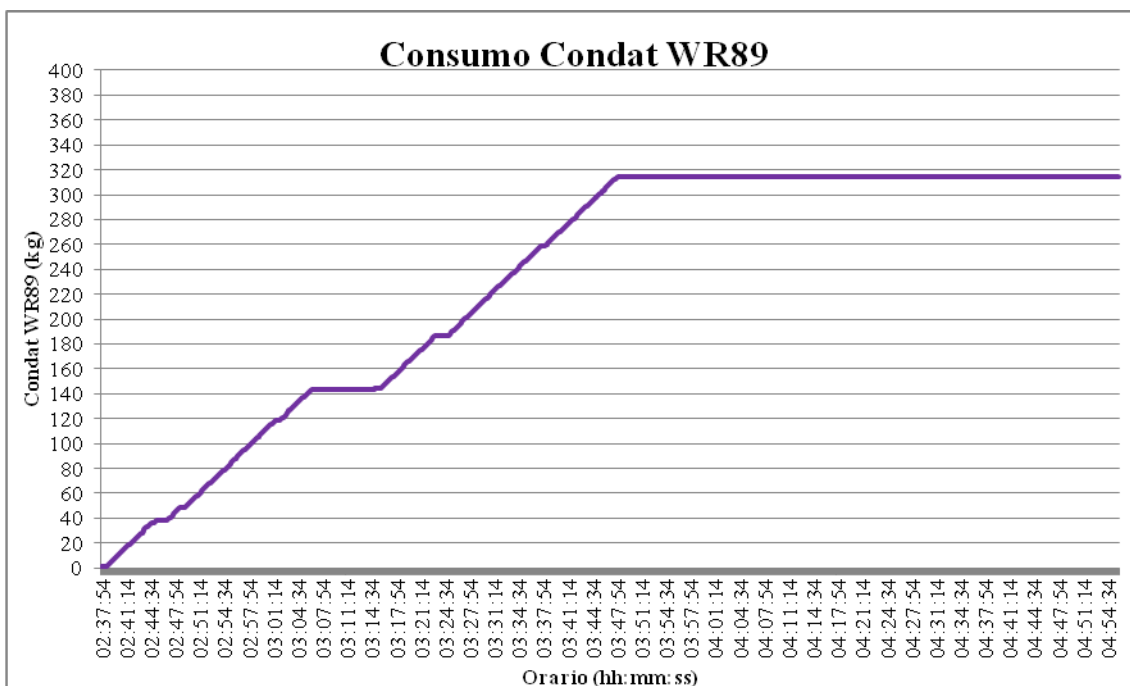


Grafico 6.51S Quantitativi di Condat WR89 consumato nell'ambito dell'anello n°195

Il consumo di energia elettrica è riportato in Tab. 6.13S, separando il consumo associato alla fase di scavo e quello associato alla fase di montaggio del rivestimento: il primo è decisamente

più elevato del secondo in quanto, durante il posizionamento dei conci, nastro trasportatore, coclea e testa sono fermi, e gli unici elementi in movimento, in più rispetto alla fase di avanzamento, sono il *segment feeder*, il *segment crane* e l'erettore. Per quanto riguarda il valore totale, questo si assesta entro il *range* proposto in precedenza.

ANELLO N°195	
ENERGIA ELETTRICA SCAVO (kWh)	4607,39
ENERGIA ELETTRICA MONTAGGIO ANELLO(kWh)	1217,86
ENERGIA ELETTRICA TOTALE (kWh)	5825,25

Tabella 6.13S Energia elettrica impiegata per la realizzazione dell'avanzamento n°195

Poiché la nostra analisi prevede anche di stimare quanto la macchina sia stata efficiente a meno di complicazioni legate al nastro trasportare, alla produzione dei conci necessari per il rivestimento definitivo e alla eventuale presenza di gas metano, in Tab. 6.14S si riporta la mancanza di tali problematiche per l'anello n°195.

PROBLEMATICHE ANELLO N° 195	
NASTRO TRASPORTATORE	SI
PRODUZIONE CONCI	NO
TRASPORTO CONCI IN GALLERIA	SI
PRESENZA DI GAS METANO	NO

Tabella 6.14S Problematiche riscontrate per l'avanzamento n°110

Come detto, altro fattore fondamentale per capire effettivamente il motivo per cui un anello abbia presentato prestazioni migliori rispetto ad un altro, è verificare quale squadra lo ha montato; per l'anello in esame, lo scavo e la costruzione del rivestimento definitivo è ad opera della squadra associata al pilota P5, che in percentuale è quella che è riuscita a montare il maggior numero di anelli per la tratta delle Arenarie tipo Scabiazza.

Fra i parametri elaborati troviamo la fresabilità, che si assesta fra i valori 0,4-0,6, al di sopra dell'andamento medio all'interno della formazione Arenarie tipo Scabiazza, a sottolineare che, per questo avanzamento, la macchina non ha avuto problematiche a procedere, e, in aggiunta, con grande efficienza. Facendo un breve confronto con la formazione argillosa, precedentemente esaminata, il valore della fresabilità risulta essere più basso in quanto, come

già più volte ripetuto, l'arenaria è caratterizzata da una maggiore resistenza e, di conseguenza, riesco a perforarla con minor facilità.

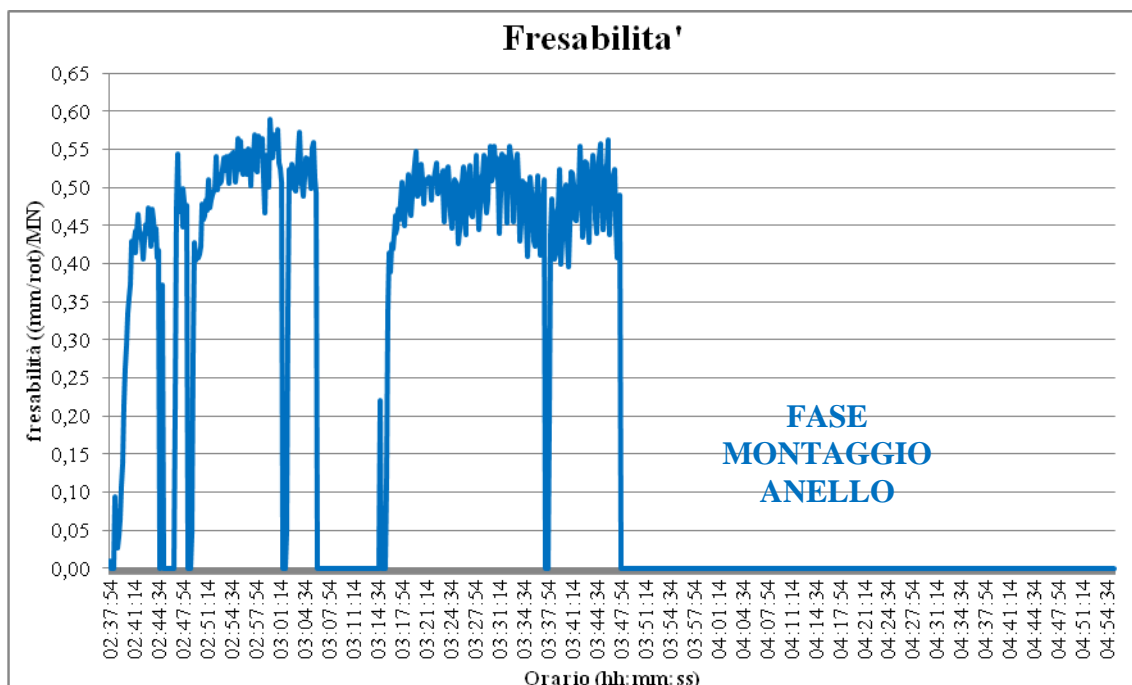


Grafico 6.52S Andamento della fresabilità nell'anello n°195

I valori del Livello di avanzamento, Livello di efficienza e Coefficiente di utilizzazione sono riportati in Tab. 6.15S.

ANELLO N°195	
LIVELLO AVANZAMENTO	0,86
LIVELLO EFFICIENZA	0,59
COEFFICIENTE DI UTILIZZAZIONE	41%

Tabella 6.15S Livello di avanzamento, Livello di efficienza e Coefficiente di Utilizzazione per l'anello n°195

Per l'anello n° 195, le varie attività si sono svolte tutto sommato in maniera soddisfacente, in quanto:

- per la realizzazione del vero e proprio scavo abbiamo impiegato un tempo leggermente inferiore rispetto a quello per il montaggio dell'anello, come si evince dal Livello di avanzamento;

- i tempi di fermo sono associati praticamente solo al montaggio dell'anello, come si evince dal valore circa 0,6 del Livello di efficienza;
- il tempo di scavo vero e proprio ha inciso per circa il 41% rispetto al totale, come evidenzia il Coefficiente di utilizzazione.

Per il singolo anello abbiamo anche analizzato altri parametri che ci sembravano essere di interesse

Il primo ad essere esaminato è il rollio, che, come precedentemente detto, rappresenta la rotazione dello scudo, misurata in mm, rispetto all'avanzamento della macchina, misurato in m; per quanto concerne la formazione delle Arenarie tipo Scabiazza, si sono riscontrate problematiche sotto questo punto di vista, in parte anche perché le arenarie non hanno un comportamento restringente rispetto allo scavo, favorendo così una consistente oscillazione dello scudo.

Il Grafico 6.53S mostra come, nell'ambito dell'anello n°195, presenza di queste problematiche non si siano riscontrate, altro motivo per cui questo avanzamento può aver presentato delle prestazioni migliori rispetto agli altri.

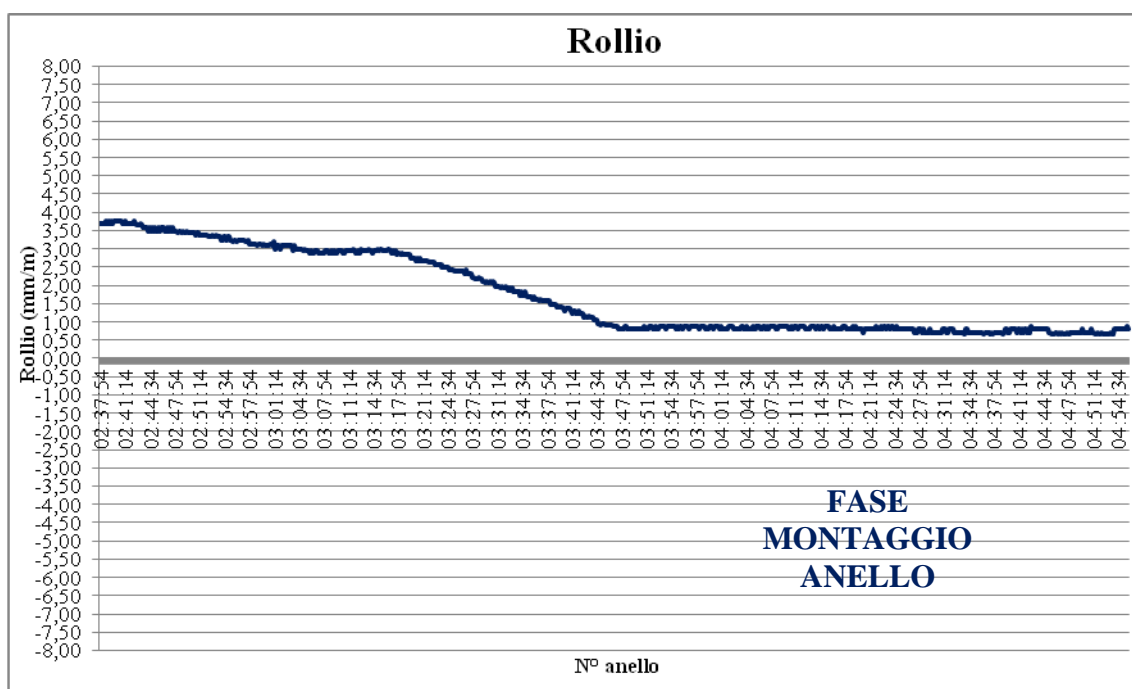


Grafico 6.53S Andamento del rollio (mm/m) per l'anello n° 195

Il confronto seguente è necessario per verificare che le pressioni mantenute nelle linee di iniezione della malta sono state sufficienti per eseguire correttamente il riempimento a tergo dei conci.

Possiamo verificare (Grafico 6.54S) che lo scostamento di 1 bar previsto è stato ampiamente rispettato, fatta eccezione per la prima fase di scavo, in quanto le linee delle malte iniziano ad iniettare successivamente alla realizzazione di 10 cm di avanzamento, motivo per il quale le pressioni di iniezione risultano essere più basse di quella dei sensori di testa, e per quei momenti in cui le queste hanno raggiunto dei valori di pressione molto elevati, causa intasamenti.

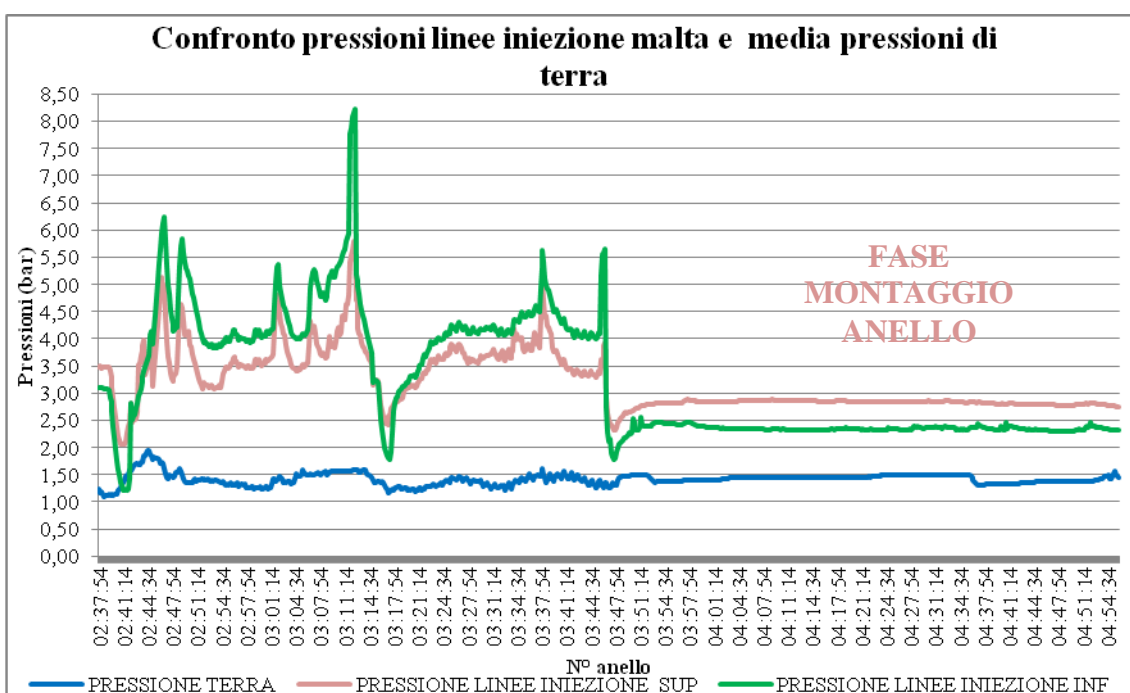


Grafico 6.54S Confronto fra le pressioni di iniezione della malta e la media dei sensori di pressione di terra per l'anello n°195

Riportiamo adesso i *range* ottenuti per questo anello e per gli altri, presi in esame ma di cui non abbiamo riportato l'elaborazione, confrontati con quelli previsti per la formazione in esame.

PARAMETRO	RANGE SCB		RANGE 195		RANGE 193		RANGE 194		RANGE 211	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
AVANZAMENTO (mm/min)	20	30	28	38	28	38	26	36	24	36
FORZA DI SPINTA (kN)	50000	70000	70000	80000	70000	80000	70000	80000	50000	70000
PENETRAZIONE (mm/rot)	20	25	25	35	25	35	25	35	27	37
PRESSIONE IN CALOTTA (bar)	0,6	1	0,6	1	0,6	1	0,6	1	0,6	1
MATERIALE SMARINATO (ton)	900-1000		900-1000		900-1000		900-1000		900-1000	
PRESSIONE BICOMPONENTE (bar)	2,5	4	3,5	4	3,5	4	3,5	6,5	3,5	5
VOLUME BICOMPONENTE (m ³)	29,5		29,5		29,5		29,5		29,5	
FIR (%)	80	120	80	120	80	120	80	120	80	120
FER (1:x)	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8
MALTA A (m ³)	20	28	26		24		24		22	
ACCELERANTE B (m ³)	0,0	2,0	2		1		2		1	
POLIMERO (SERB 1) (m ³)	0,0	1,3	2		2		2		2	
POLIMERO (SERB 2) (m ³)	0,0	0,1	0		0		0		0	
POLIMERO AP (m ³)	0,0	0,1	0		0		0		0	
ACQUA SCHIUME (m ³)	40	60	51		52		52		50	
ACQUA STATORE (m ³)	100	130	106		119		114		44	
GRASSO GR 30 EP2 (kg)	10	30	17		14		15		13	
GRASSO CONDAT HBW (kg)	15	35	21		18		19		18	
GRASSO CONDAT W89 (kg)	300	600	315		398		339		711	
ENERGIA ELETTRICA (kWh)	7000	12000	5825		5549		5585		5401	

Tabella 6.16S Range individuati per gli anelli n°195, 193,194,211

PARAMETRO	RANGE 197		RANGE 204		RANGE 206		RANGE 212		RANGE 205	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
AVANZAMENTO (mm/min)	30	36	26	36	26	36	26	38	26	36
FORZA DI SPINTA (kN)	70000	80000	50000	70000	50000	70000	50000	70000	50000	70000
PENETRAZIONE (mm/rot)	26	36	28	38	28	38	28	38	28	38
PRESSIONE IN CALOTTA (bar)	0,6	1	0,6	1	0,6	1	0,6	1	0,6	1
MATERIALE SMARINATO (ton)	900-1000		900-1000		900-1000		900-1000		900-1000	
PRESSIONE BICOMPONENTE (bar)	2	3,5	2,5	5	2,5	5	3	5	2,5	5
VOLUME BICOMPONENTE (m ³)	29,5		29,5		29,5		29,5		29,5	
FIR (%)	80	120	80	120	80	120	80	120	80	120
FER (1:x)	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8
MALTA A (m ³)	23		24		23		22		23	
ACCELERANTE B (m ³)	1		1		1		1		1	
POLIMERO (SERB 1) (m ³)	1		2		2		2		1	
POLIMERO (SERB 2) (m ³)	0		0		0		0		0	
POLIMERO AP (m ³)	0		0		0		0		0	
ACQUA SCHIUME (m ³)	49		54		53		54		50	
ACQUA STATORE (m ³)	105		54		43		50		53	
GRASSO GR 30 EP2 (kg)	13		25		16		16		21	
GRASSO CONDAT HBW (kg)	18		32		19		21		31	
GRASSO CONDAT W89 (kg)	380		930		321		509		1282	
ENERGIA ELETTRICA (kWh)	7387		6787		5615		7051		6317	

Tabella 6.17S Range individuati per gli anelli n°197, 204,206,212,205

La Tab. 6.18S mostra, per gli avanzamenti esaminati, se sono state presenti delle problematiche, che avrebbero potuto inficiare sull'efficienza della macchina, e riporta l'indicazione della squadra che ha provveduto al montaggio dell'anello.

TIPO DI PROBLEMA	ANELLO								
	N°195	N°193	N°194	N°211	N°197	N°204	N°206	N°212	N°205
NASTRO TRASPORTATORE	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO
PRODUZIONE CONCI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TRASPORTO CONCI IN GALLERIA	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI
PRESENZA DI GAS METANO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SQUADRA	P5	P5	P5	P5	P3	P5	P5	P5	P5

Tabella 6.18S Problematiche che hanno caratterizzato gli avanzamenti esaminati

Le tabelle precedenti mettono in evidenza che, senza considerare velocità di avanzamento e penetrazione, che sono i parametri sulla base abbiamo scelto gli anelli sopra analizzati, i range di valori che differiscono da quelli proposti per la formazione delle Arenarie tipo Scabiazza sono:

- forza di spinta, generalmente risultata superiore rispetto a quanto preventivato, in corrispondenza dei primi anelli della tratta arenacea;
- pressione di iniezione della miscela bicomponente, tutti gli anelli si discostano dall'intervallo di valori proposti, presentando sia il limite inferiore che il limite superiore incrementato.

Inoltre, vogliamo evidenziare che, gli anelli con le migliori *performance*, sono stati completati, fatta eccezione per il n°197, dalla squadra n°5, sintomo di una maggiore efficienza e una maggiore esperienza dei suoi componenti.

Riportiamo di seguito (Tab. 6.19S-6.20S) anche le tempistiche che hanno caratterizzato gli anelli precedentemente analizzati: la maggior parte di questi non ha superato le 3 ore complessive di avanzamento e montaggio del rivestimento, segnale che problematiche di rilievo non si sono verificate.

TEMPISTICHE		N°195	N°193	N°194	N°211	N°197
AVANZAMENTO	(hh:mm:ss)	00:56:53	00:58:26	00:59:45	01:01:08	00:59:13
MONTAGGIO ANELLO	(hh:mm:ss)	01:06:02	01:16:26	01:11:52	00:46:02	02:53:41
FERMO	(hh:mm:ss)	00:15:30	00:03:09	00:03:24	00:03:40	00:05:47
TOTALE	(hh:mm:ss)	02:18:20	02:18:01	02:15:00	01:50:51	03:58:42

TEMPISTICHE		N°204	N°206	N°212	N°205
AVANZAMENTO	(hh:mm:ss)	01:02:05	00:59:24	01:02:16	01:00:52
MONTAGGIO ANELLO	(hh:mm:ss)	00:42:38	01:12:53	02:17:45	00:58:39
FERMO	(hh:mm:ss)	01:28:14	00:47:36	00:08:23	00:48:42
TOTALE	(hh:mm:ss)	03:12:52	02:59:51	03:28:21	02:48:11

Tabella 6.19S-6.20S Tempistiche relative agli avanzamenti esaminati

Riportiamo anche gli anelli che hanno presentato delle *performance*, a nostro avviso, scadenti e relativi intervalli per i parametri esaminati.

Salta subito all'occhio che molti *range* non corrispondono a quanto indicato per la formazione in esame, sia per quanto riguarda i parametri di avanzamento della TBM, sia per quanto riguarda i consumi.

Possiamo motivare questo comportamento come segue:

- gli anelli n°231, 232 e 234 sono in prossimità della probabile faglia interna, presente nella Scabiazza, individuata mediante il BEAM, motivo per il quale l'avanzamento può essere stato problematico, così come il condizionamento;
- per alcuni di questi avanzamenti, in particolare n°281, 288, 289, 290 e 245, si sono presentati problemi considerevoli di rollio, che possono hanno influito sulle prestazioni realizzate;
- in ultimo è necessario evidenziare che queste cattive prestazioni non sono imputabili ad una sola squadra, ma sono stati equamente distribuiti fra quelle presenti.

PARAMETRO	RANGE SCB		RANGE 290		RANGE 245		RANGE 231		RANGE 281	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
AVANZAMENTO (mm/min)	20	30	10	20	13	23	15	25	15	25
FORZA DI SPINTA (kN)	50000	70000	30000	50000	30000	60000	30000	60000	30000	60000
PENETRAZIONE (mm/rot)	20	25	10	18	10	20	10	20	10	20
PRESSIONE IN CALOTTA (bar)	0,6	1	0,6	1,2	0,7	1,2	0,6	1	0,7	1,2
MATERIALE SMARINATO (ton)	900-1000		900-1000		900-1000		900-1000		900-1000	
PRESSIONE BICOMPONENTE (bar)	2,5	4	3,5	6	2,4	3,6	2,5	5	2,5	6
VOLUME BICOMPONENTE (m ³)	29,5		29,5		29,5		29,5		29,5	
FIR (%)	80	120	110	130	110	140	110	130	80	120
FER (1:x)	4	8	6	9	4	8	4	8	4	8
MALTA A (m ³)	20	28	30		33		40		30	
ACCELERANTE B (m ³)	0,0	2,0	2		2		2		2	
POLIMERO (SERB 1) (m ³)	0,0	1,3	1		1		1		1	
POLIMERO (SERB 2) (m ³)	0,0	0,1	0		0		0		0	
POLIMERO AP (m ³)	0,0	0,1	0		0		0		0	
ACQUA SCHIUME (m ³)	40	60	56		64		55		47	
ACQUA STATORE (m ³)	100	130	117		144		113		129	
GRASSO GR 30 EP2 (kg)	10	30	38		33		25		25	
GRASSO CONDAT HBW (kg)	15	35	59		48		30		42	
GRASSO CONDAT W89 (kg)	300	600	720		587		517		514	
ENERGIA ELETTRICA (kWh)	7000	12000	17106		15471		10657		10669	

Tabella 6.21S Range individuati per gli anelli n°290,245,231,281

PARAMETRO	RANGE 237		RANGE 234		RANGE 232		RANGE 289		RANGE 288	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
AVANZAMENTO (mm/min)	15	25	15	25	18	28	17	23	16	22
FORZA DI SPINTA (kN)	50000	70000	50000	70000	50000	70000	30000	50000	30000	60000
PENETRAZIONE (mm/rot)	10	20	10	20	12	22	12	20	12	18
PRESSIONE IN CALOTTA (bar)	0,4	0,9	0,4	0,9	0,8	1,2	0,6	1,2	0,6	1
MATERIALE SMARINATO (ton)	900-1000		900-1000		900-1000		900-1000		900-1000	
PRESSIONE BICOMPONENTE (bar)	3	5	3,5	5	4,5	6	2,5	6	2,5	6
VOLUME BICOMPONENTE (m ³)	29,5		29,5		29,5		29,5		29,5	
FIR (%)	120	140	120	140	90	130	100	130	100	130
FER (1:x)	4	8	4	8	4	8	6	8,5	6	8,5
MALTA A (m ³)	37		34		41		32		30	
ACCELERANTE B (m ³)	2		2		2		2		2	
POLIMERO (SERB 1) (m ³)	1		1		1		1		1	
POLIMERO (SERB 2) (m ³)	0		0		0		0		0	
POLIMERO AP (m ³)	0		0		0		0		0	
ACQUA SCHIUME (m ³)	62		58		57		55		55	
ACQUA STATORE (m ³)	147		134		120		110		111	
GRASSO GR 30 EP2 (kg)	29		36		23		28		27	
GRASSO CONDAT HBW (kg)	31		39		27		41		43	
GRASSO CONDAT W89 (kg)	599		491		847		514		545	
ENERGIA ELETTRICA (kWh)	12408		12024		8748		11415		13571	

Tabella 6.22S Range individuati per gli anelli n°237,234,232,289,288

La Tab. 6.13S mostra se sono state presenti delle problematiche, che avrebbero potuto inficiare sull'efficienza della macchina e riporta l'indicazione della squadra che ha provveduto al montaggio degli anelli esaminati.

TIPO DI PROBLEMA	ANELLO								
	N° 290	N°245	N°231	N°281	N°237	N°234	N°232	N°289	N°288
NASTRO TRASPORTATORE	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
PRODUZIONE CONCI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TRASPORTO CONCI IN GALLERIA	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PRESENZA DI GAS METANO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
SQUADRA	P1	P2	P5	P1	P3	P2	P5	P5	P2

Tabella 6.23S Problematiche che hanno caratterizzato gli avanzamenti esaminati

Riportiamo di seguito (Tabella 6.24S-6.25S) anche le tempistiche che hanno caratterizzato gli anelli precedentemente analizzati, evidenziando che la maggior parte di questi ha superato abbondantemente le 3 ore, considerate un tempo ragionevole per lo scavo e il montaggio del rivestimento, segnale che, per questi avanzamenti, si sono presentate delle problematiche che hanno inficiato sulle prestazioni della macchina.

TEMPISTICHE		N°290	N°245	N°231	N°281	N°237
AVANZAMENTO	(hh:mm:ss)	02:23:29	01:40:55	01:35:28	01:40:03	01:44:47
MONTAGGIO ANELLO	(hh:mm:ss)	01:28:30	08:06:33	01:37:57	01:08:42	01:10:21
FERMO	(hh:mm:ss)	04:48:34	02:32:34	00:08:25	00:33:08	01:15:04
TOTALE	(hh:mm:ss)	08:40:01	12:19:50	03:21:51	03:21:31	04:10:11

TEMPISTICHE		N°234	N°232	N°289	N°288
AVANZAMENTO	(hh:mm:ss)	01:27:27	01:28:18	01:38:56	01:41:49
MONTAGGIO ANELLO	(hh:mm:ss)	00:56:36	00:52:24	00:58:12	01:09:36
FERMO	(hh:mm:ss)	01:33:32	00:40:01	00:58:50	02:11:44
TOTALE	(hh:mm:ss)	03:57:32	03:00:41	03:35:31	05:02:50

Tabella 6.24S-6.25S Tempistiche relative agli avanzamenti esaminati

6.5.3 Conclusioni per la formazione delle Arenarie tipo Scabiazza

Per quanto concerne il confronto con i valori di progetto, per la formazione delle Arenarie tipo Scabiazza

- la velocità di avanzamento è risultata maggiore rispetto a quanto mediamente previsto, nella prima parte di questa formazione, raggiungendo anche valori di 35 mm/min;
- la penetrazione ha raggiunto valori superiori al 30 mm/rot, indicato come limite superiore, anche se mediamente si è mantenuta più bassa;
- mediamente la forza di spinta si è assestata su valori più bassi rispetto ai preventivati , anche se ha raggiunto valori dell'ordine degli 80000 kN;
- la pressione in calotta ha raggiunto valori leggermente superiori a quelli indicati, motivo per il quale l'intervallo di valori è stato modificato;
- la pressione di iniezione della malta è un parametro di difficile gestione e per il quale, mediamente, si sono raggiunti valori superiori ai previsti;
- il condizionamento è stato eseguito come previsto per quanto riguarda il F.I.R., vale a dire la diluizione del materiale nella schiuma, mentre per il Fattore di Espansione F.E.R. , il quantitativo di schiuma che si forma a partire da un'unità di volume liquido, si sono osservati dei valori più bassi.

Analizzando, invece, gli avanzamenti con le migliori/peggiori *performance*, se ne è dedotto che:

- per gli anelli migliori, i *range* che difficilmente sono stati rispettati sono stati forza di spinta, che talvolta è risultata maggiore, e proprio per quegli avanzamenti in cui abbiamo raggiunto le prestazioni migliori, e la pressione di iniezione della malta;
- per gli anelli peggiori, i *range* che difficilmente sono stati rispettati sono stati la forza di spinta, la pressione in calotta, la pressione di iniezione della malta, i volumi iniettati di miscela bi componente e i parametri di condizionamento;
- i consumi rimangono entro la media, per gli anelli considerati migliori, mentre, per gli anelli caratterizzati da *performance* peggiori, sono presenti dei valori anomali;
- dall'analisi effettuata, le tempistiche che garantiscono avanzamenti soddisfacenti, sono comprese fra le 2-3 ore, comprensive di fase di scavo e fase di montaggio del rivestimento, che non si sono mai verificate per gli avanzamenti più scadenti;
- la squadra che ha montato il maggior numero di anelli, fra i quali la maggior parte di quelli considerati migliori in termini prestazionali, è quella associata al pilota P5, che è anche

quella che in percentuale ha lavorato un numero inferiore di ore rispetto alle altre, mentre quella che ne ha montati il numero minore è quella associata al pilota P3;

- per gli anelli migliori, raramente, si sono riscontrate problematiche con il nastro trasportatore, mentre più frequentemente quelle annesse al trasporto dei segmenti del rivestimento; per quanto riguarda gli anelli peggiori, si sono verificati fermi e problematiche sia a causa del nastro, sia a causa del trasporto dei conci in galleria, sia per la presenza di gas (ingresso in camera per la sostituzione degli utensili) sia per ulteriori malfunzionamenti e manutenzioni.

Da queste considerazioni si evince che per la formazione delle Arenarie tipo Scabiazza:

- le pressioni in calotta, a seguito di un buon condizionamento, buona stabilità e omogeneità del materiale, si sono mantenute piuttosto basse;
- le problematiche maggiori per l'avanzamento si sono riscontrate a causa del fenomeno del rollio, accentuato in questa formazione perché caratterizzata da minori fenomeni di convergenza attorno al contorno di scavo;
- la fatturazione significativa, che caratterizza questo materiale, è stata evidenziata dai consumi significativi di miscela bi componente, superiori al valore teorico stimato, e dai rilevamenti di metano.

Inoltre:

- le problematiche legate al nastro trasportatore hanno inciso in maniera consistente sull'avanzamento, a differenza del trasporto dei conci che ha avuto un'influenza minore;
- è stato rilevato metano in 2 sole occasioni e, per entrambe, tale rilievo è stato associato all'ingresso in camera di scavo.

Per la tratta successiva di Arenarie di tipo Scabiazza, che verrà attraversata successivamente alle Breccie Argillose Poligeniche, e per la Canna Sud, consigliamo di seguire i *range* proposti nell'analisi complessiva della formazione, in quanto l'analisi specifica ha evidenziato che, con i medesimi intervalli, fatta eccezione per la forza di spinta che può essere aumentata allo scopo, possono essere raggiunte prestazioni elevate in termini di velocità di avanzamento e penetrazione.

Così come per le Argille a Palombini, suggeriamo di tenere sotto osservazione i parametri forza di spinta, forza di contatto e pressioni in calotta, onde prevenire problematiche anche di rilievo.

6.6 Confronto fra le prestazioni nelle Argille a Palombini e nelle Arenarie tipo Scabiazza

In questo paragrafo vogliamo brevemente identificare le differenze che si sono presentate nell'ambito dello scavo nella formazione delle Argille a Palombini e delle Arenarie tipo Scabiazza, analizzate singolarmente nei paragrafi precedenti.

Riproponiamo alcuni dei grafici delle analisi precedenti che, anziché prendere in esame solo una formazione alla volta, analizzeranno, nella sua totalità, la tratta fino ad adesso scavata, così da evidenziare le variazioni che una grandezza ha subito nel passare da un tipo di materiale all'altro. I dati impiegati fanno riferimento a quelli riportati negli allegati A e B e quindi a quelli derivanti direttamente dal *file average* della macchina.

Il primo grafico (Grafico 6.2) che analizziamo, e che ci sembra significativo, è quello che riporta il numero di anelli montati giornalmente: è evidente come il numero sia cresciuto in maniera considerevole successivamente al 21 Dicembre, vale a dire successivamente al periodo di fermo prolungato, nella porzione finale delle Argille a Palombini, e nella porzione, da noi analizzata, delle Arenarie tipo Scabiazza, sintomo che lo scavo è risultato più semplice e caratterizzato da un numero minore di problematiche.

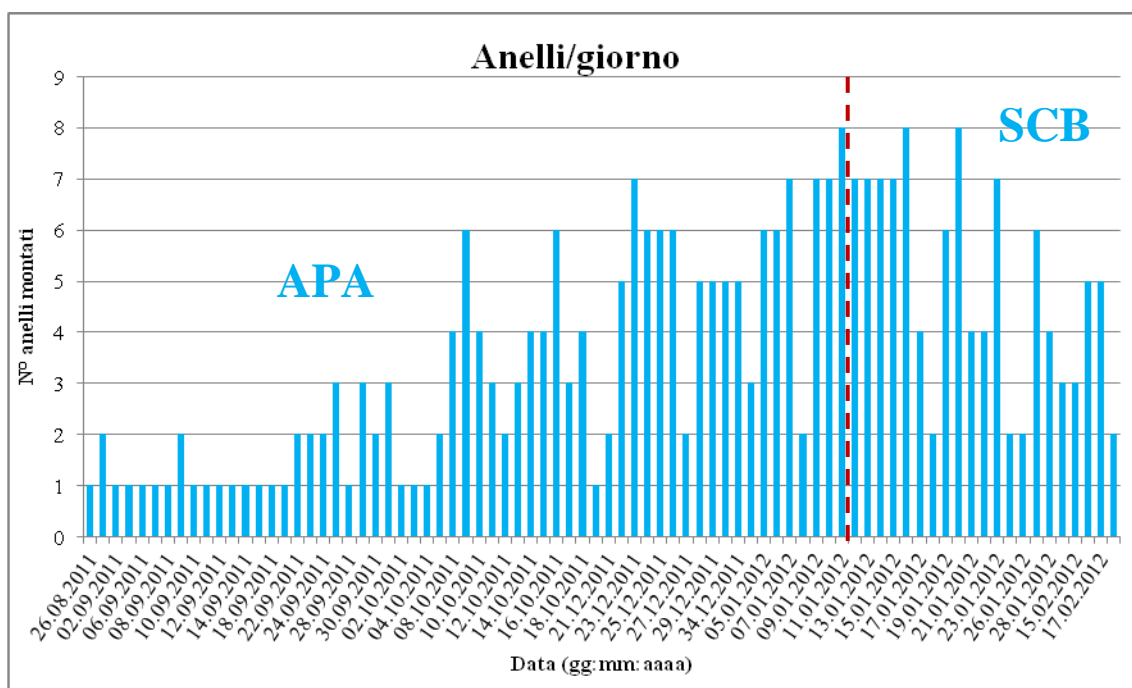


Grafico 6.2 Avanzamento in anelli/giorno per la tratta fino ad oggi scavata

I grafici che riportiamo di seguito sono quelli che ci hanno consentito di stabilire dove erano state raggiunte delle *performance* migliori/peggiori: velocità di avanzamento e penetrazione, entrambe al netto dei tempi di fermo.

La velocità di avanzamento (Grafico 6.3) ha avuto un'impennata successivamente all'anello n°85, successivo ai problemi di forti pressioni al fronte, assestandosi su valori quasi doppi rispetto ai precedenti, nella tratta delle arenarie.

Benché le argille siano caratterizzate da una resistenza minore, rispetto alla formazione successiva, il grafico ci mostra come per le arenarie la velocità di avanzamento sia stata migliore, ad evidenziare che una formazione più omogenea e stabile, anche se più dura, agevola lo scavo piuttosto che una complessa ma “soffice”.

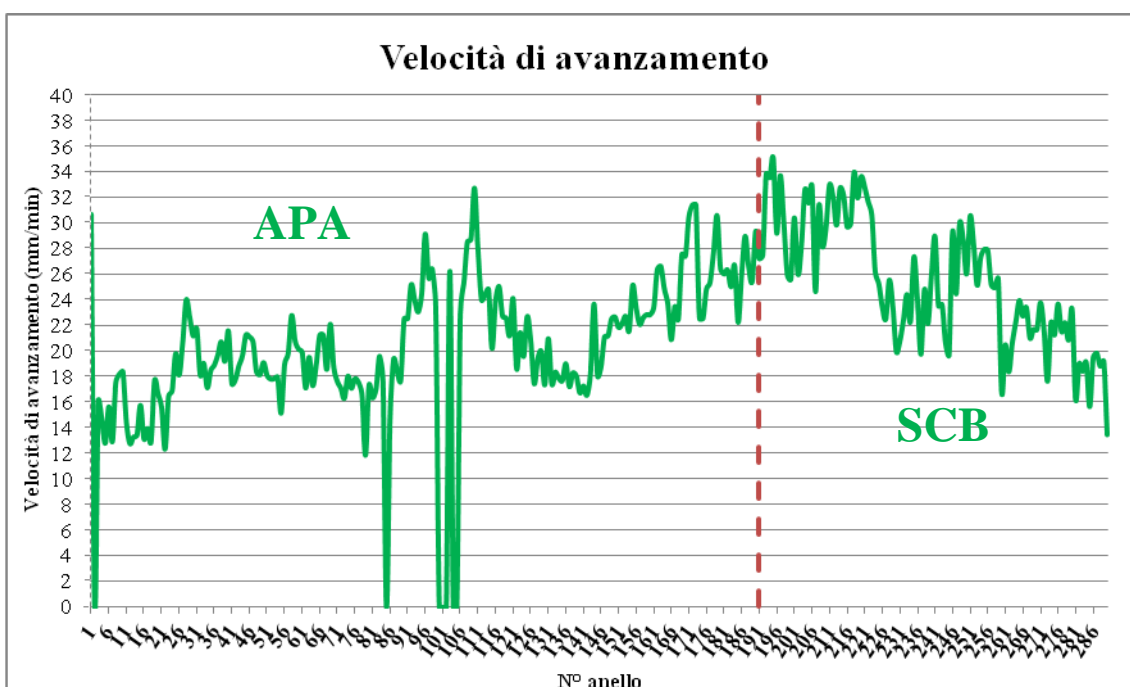


Grafico 6.3 Velocità di avanzamento (mm/min) realizzato dalla macchina per la tratta fino ad oggi scavata

La penetrazione (Grafico 6.4) mostra risultati analoghi: valori più alti successivamente all'anello n° 85 e nella tratta delle Arenarie tipo Scabiazza, per i quali possono essere fatte le medesime considerazioni viste per il parametro velocità di avanzamento.

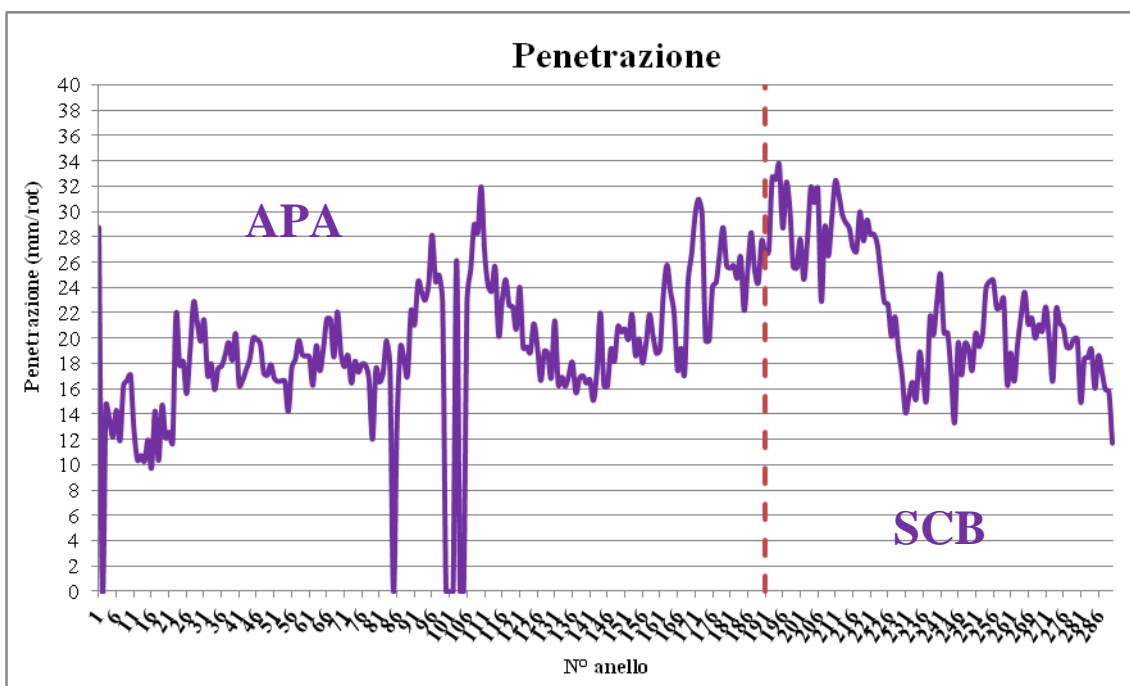


Grafico 6.4 Andamento della penetrazione (mm/rot) realizzato dalla macchina per la tratta fino ad oggi scavata

La forza di spinta (Grafico 6.5) è un'ulteriore conferma che, per la formazione delle Argille a Palombini, i risultati sono stati meno performanti a causa di una complessità del materiale che siamo andati a scavare: nella prima porzione della tratta argillosa è evidente come, anche con spinte elevate, l'avanzamento non sia stato dei migliori, proprio a causa delle caratteristiche così variabili, alla scarsa stabilità della formazione e problemi di impaccamento sulla testa, che abbiamo più volte citato nei paragrafi precedenti. Nella seconda porzione delle Argille a Palombini, successiva all'anello n° 85, le prestazioni sono migliorate, in relazione ad una spinta minore, sintomo che le forti pressioni al fronte, rilevate in precedenza, sono state causa di un avanzamento peggiore e più lento, e, quando queste non si presentano, le prestazioni della macchina risultano soddisfacenti. Le spinte sono poi cresciute in corrispondenza del passaggio di formazione, per poi assestarsi su valori più bassi, in quanto complessivamente, questa formazione necessita di una maggiore spinta per avanzare, in relazione ad un materiale più resistente, ma un minore sostegno al fronte, perché decisamente più stabile.

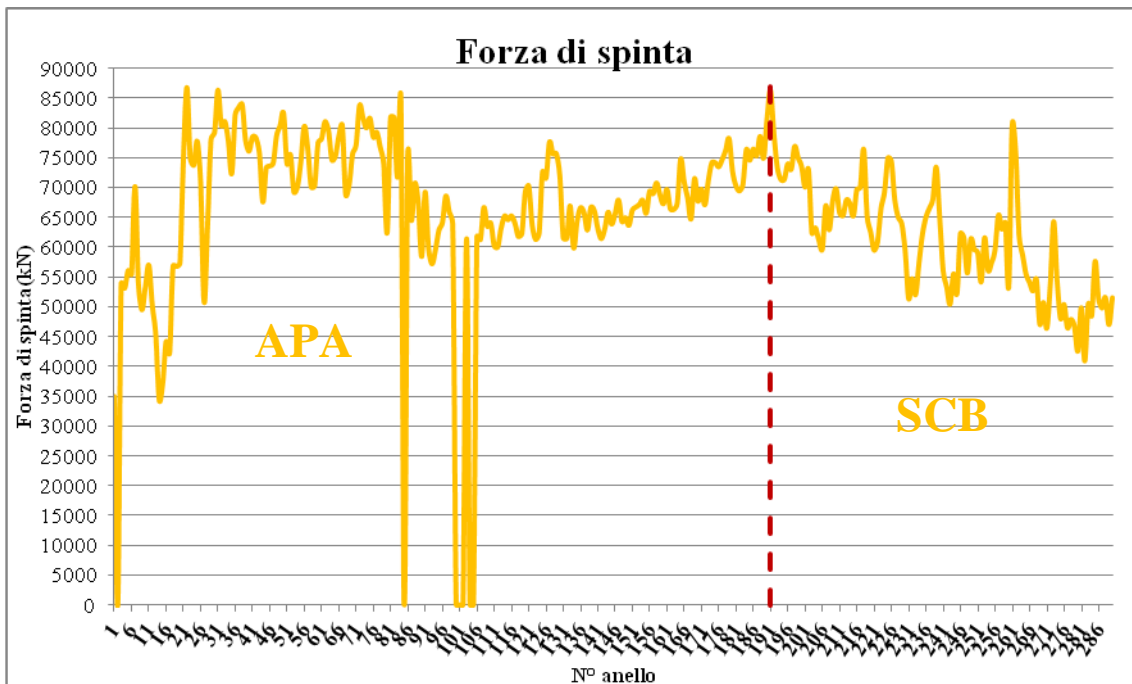


Grafico 6.5 Andamento della forza di spinta (kN) realizzato dalla macchina per la tratta fino ad oggi scavata

Riportiamo di seguito anche il grafico, in precedenza presentato per verificare il passaggio di formazione, della forza di contatto (Grafico 6.6), direttamente legata alla forza di spinta e che merita di essere nuovamente commentato.

Come già indicato, sono evidenti due salti di valore significativi:

- il primo, in corrispondenza dell'anello n°85;
- il secondo, in corrispondenza del passaggio di formazione, anello n°191.

Il grafico della forza di contatto, che ricordiamo rappresentare la forza fornita agli utensili di scavo affinché questi riescano a disgregare il materiale al fronte, ci mostra come la difficoltà ad avanzare nei primi 170 metri di galleria sia stata notevole, benché venissero fornite delle spinte considerevoli alla macchina. I valori poi si sono radicalmente ridimensionati fino all'anello n°191, assestandosi in un intervallo più consono per una formazione debole come le argille. Il salto successivo, imputabile al passaggio di formazione, è qualcosa che ci aspettavamo e conferma solo che il materiale, a contatto diretto con la testa è cambiato, ed in particolare, è più resistente, necessitando una maggiore forza per essere disgregato.

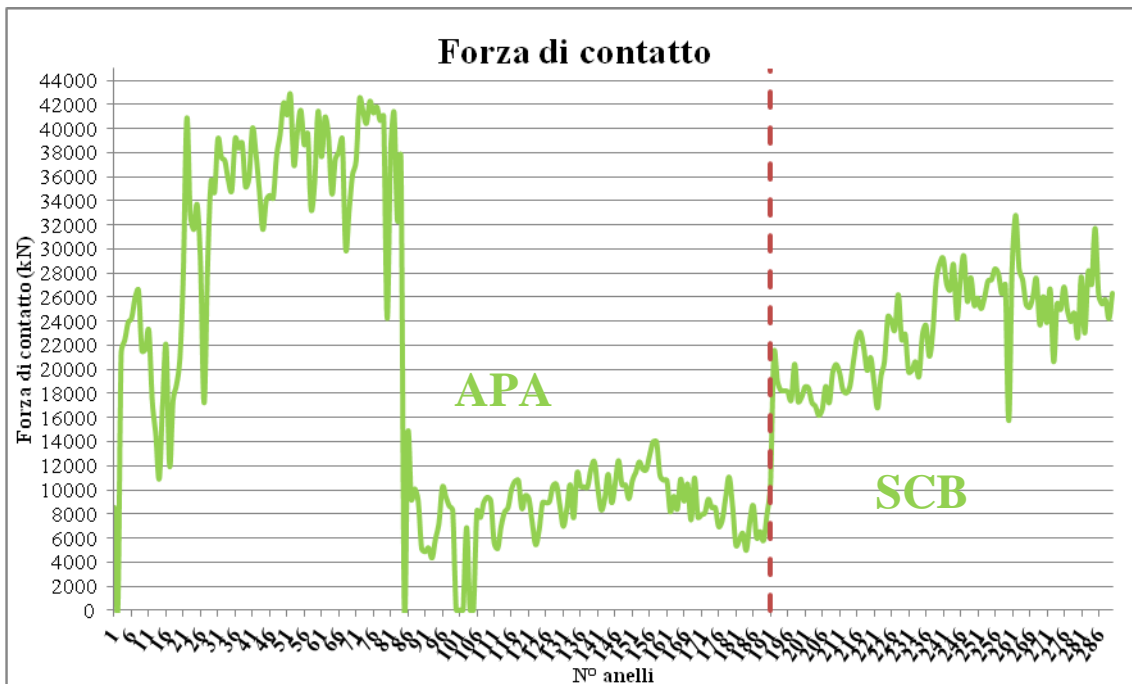


Grafico 6.6 Andamento della forza di contatto (kN) per la tratta fino ad oggi scavata

L'andamento delle pressioni registrate dal sensore n° 3, posizionato nella calotta della macchina, evidenzia come elevati valori si siano mantenuti per tutta la tratta interessata dalle Argille a Palombini, diminuendo drasticamente successivamente al passaggio di formazione.

Valori decisamente alti erano stati raggiunti nelle fasi precedenti all'anello n° 85, motivo per cui poi è stata decisa una verifica e relativo fermo. Nella porzione che ha riguardato la formazione arenacea le pressioni si sono mantenute decisamente più basse, causa una maggiore stabilità del materiale, con l'eccezione di alcuni anelli che hanno presentato valori più alti, dell'ordine di quelli relativi alle argille.

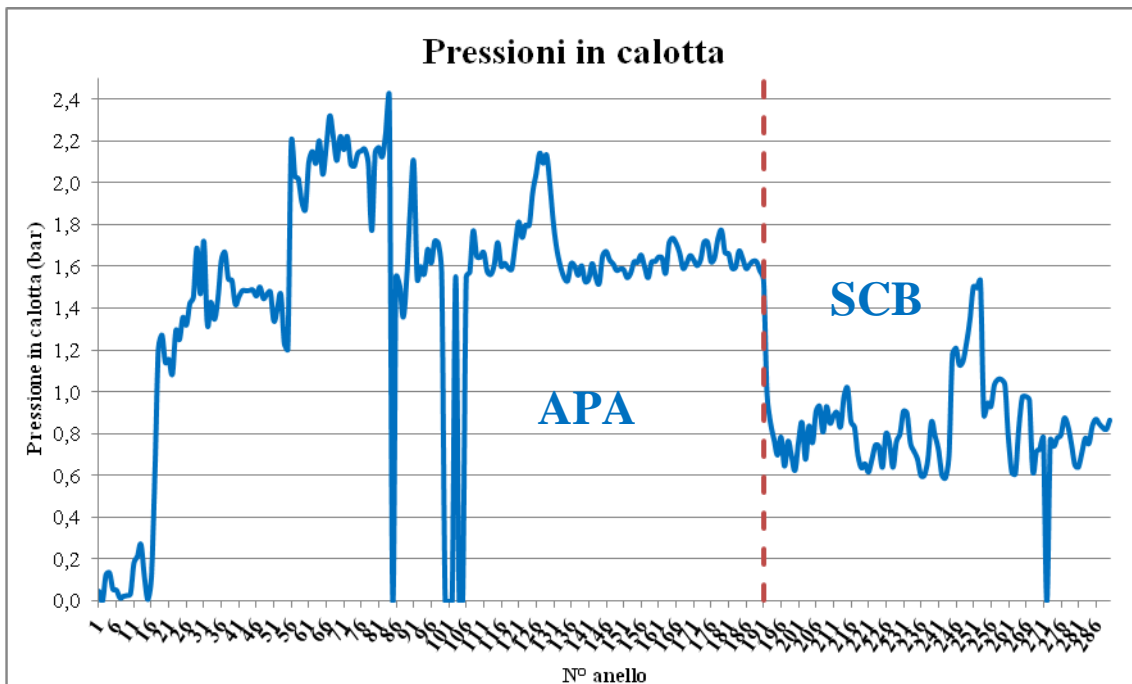


Grafico 6.7 Andamento della pressione in calotta (bar) registrate dei sensori per la tratta fino ad oggi scavata

Altre due grandezze che ci sembrano interessanti da confrontare, sono i valori del FIR e del FER (Grafico 6.8-6.9) che, come già detto, ci forniscono un'indicazione su come è stato eseguito il condizionamento.

Come è facile notare, fino all'anello n° 85, i valori di queste due grandezze, presentano dei picchi notevoli, molto al di sopra dei valori preventivati, a sottolineare ancora una volta la difficoltà che questa macchina ha avuto nell'attraversare una formazione che risulta essere anche difficilmente condizionabile. L'andamento nella tratta arenacea, invece, è risultato coerente con i *range* proposti, sia in sede progettuale, che derivanti dalla prima elaborazione realizzata, presentando minori problematiche sotto questo punto di vista.

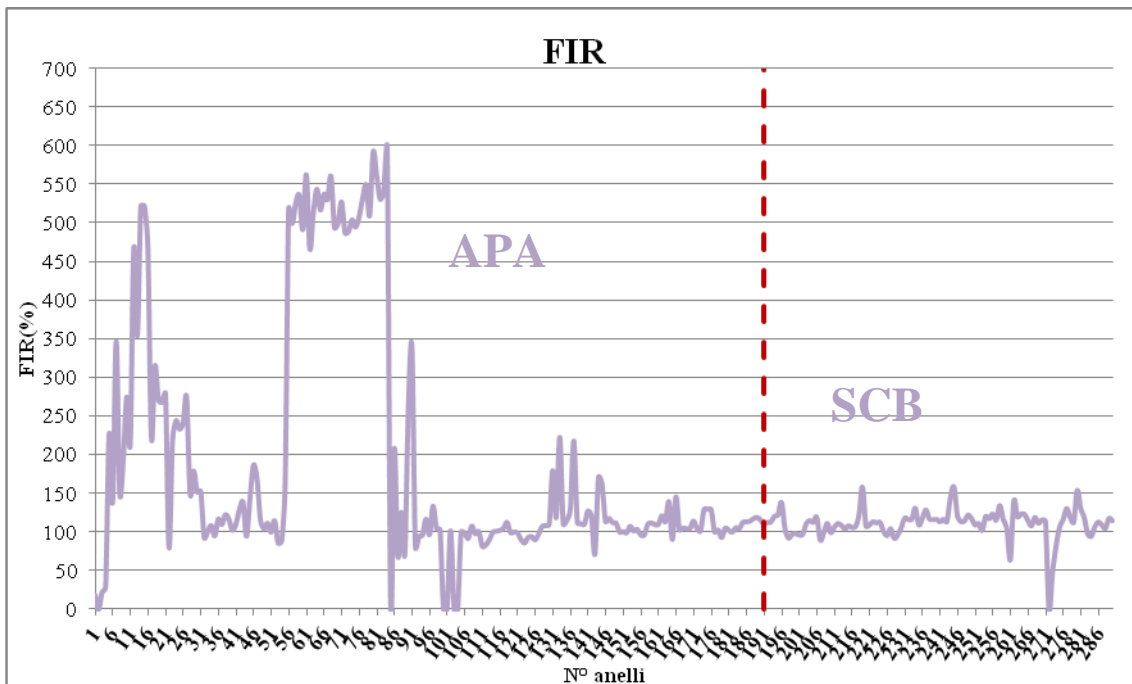


Grafico 6.8 Andamento del FIR (%), Foam Injection Rate, per la tratta fino ad oggi scavata

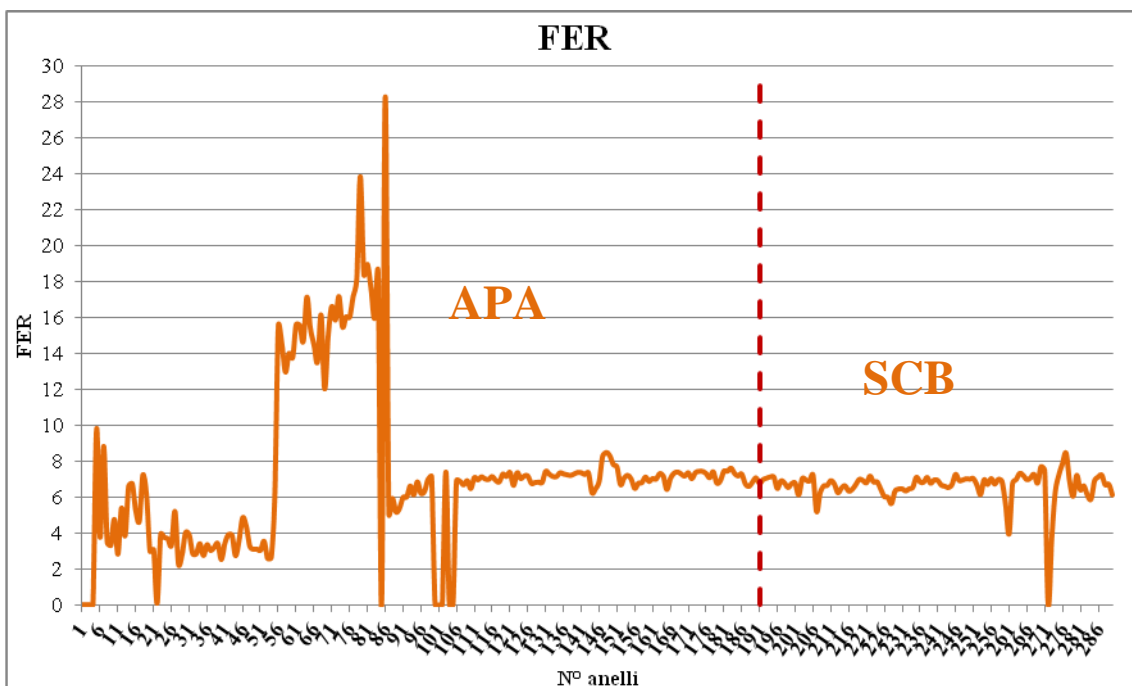


Grafico 6.9 Andamento del FER (1:x), Foam Expansion Ratio, per la tratta fino ad oggi scavata

La fresabilità, definita come velocità di penetrazione (mm per giro della testa) che la TBM riesce a sviluppare in rapporto alla spinta, indica la difficoltà che la macchina ha avuto nell'avanzare all'interno della formazione, in relazione al tipo di scavo eseguito, e ci fornisce delle indicazioni in più in merito al comportamento della macchina nelle due formazioni: è risultata più bassa nell'ambito delle Argille a Palombini, in cui le problematiche sono state notevoli, mentre, sebbene le arenarie siano caratterizzate da resistenza maggiore, è cresciuta successivamente al passaggio di formazione, in quanto lo scavo non ha presentato più problematiche considerevoli.

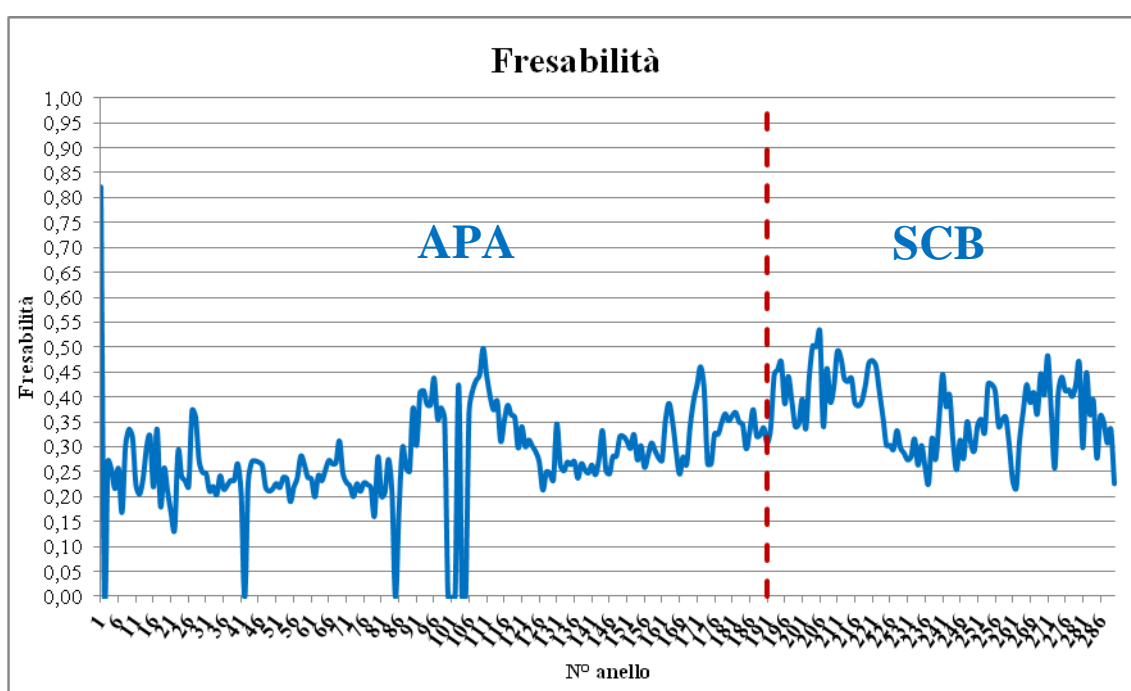


Grafico 6.10 Andamento della fresabilità per la tratta fino ad oggi scavata

Di seguito sono graficati (Grafico 6.11-6.12) il Livello di sistematicità dell'avanzamento, rappresentato dal rapporto tra il tempo di scavo e di posa dell'anello di rivestimento, e il Livello di efficienza del sistema, rappresentato dal rapporto tra fermi e ciclo di avanzamento.

Ricordiamo che:

- per il primo, tanto più questo ha un valore vicino ad 1, più significa che tempo di scavo e tempo di posa dell'anello coincidono, che significa ottimizzazione delle attività principali che caratterizzano ogni *step* di avanzamento, per quello che riguarda questa particolare macchina. Se il valore tende ad aumentare si evince che sto impiegando più tempo per la realizzazione del vero e proprio scavo, a discapito del tempo che impiego per montare

l'anello. Viceversa, se il valore diminuisce, impiego un tempo maggiore per il montaggio del rivestimento che, salvo problematiche all'ereatore o malfunzionamenti specifici, è fortemente dipendente dalle capacità dell'ereatore.

- per il secondo, tanto più il valore è basso tanto più significa che, rispetto al tempo totale di ogni avanzamento, i tempi di fermo incidono poco. Per tempi di fermo, torniamo a ribadire, intendiamo effettivamente tutti quei momenti in cui la macchina non sta avanzando, quindi, non soltanto, in presenza di malfunzionamenti e problematiche varie, ma anche il montaggio del rivestimento.

Il Livello di avanzamento presenta, generalmente, valori più alti per la tratta delle Argille a Palombini, ma mediamente, per entrambe le formazioni, è un valore che si assesta attorno al valore 1, sintomo che è stato necessario più tempo per lo scavo, piuttosto che per il montaggio del rivestimento.

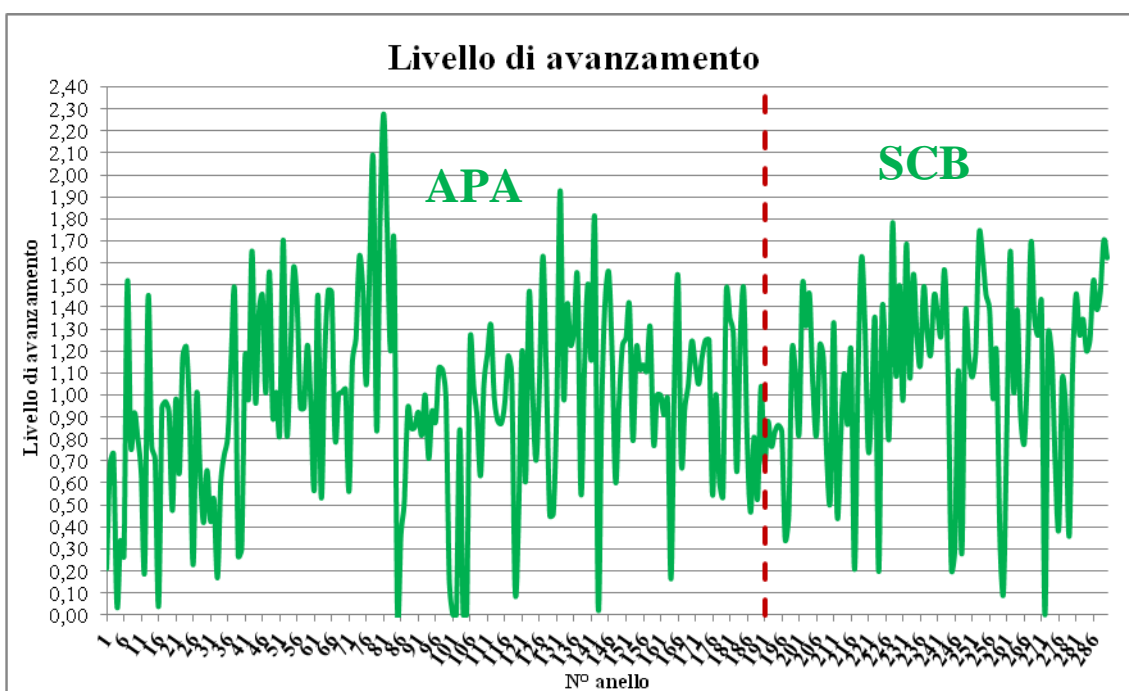


Grafico 6.11 Andamento del livello di avanzamento per la tratta fino ad oggi scavata

Per il Livello di efficienza, Se il valore si assesta attorno ad 1, significa che i tempi di fermo hanno inciso per la totalità nel tempo, mentre, per le tempistiche relative a questa macchina, se il valore si assesta attorno allo 0,5, significa che i tempi di fermo che incidono sono solo quelli relativi al montaggio dei conci.

Mediamente si raggiunge, per entrambe le formazioni, lo 0,65, anche se è la formazione delle argille a presentare il maggior numero di picchi e con i valori più elevati: i tempi di fermo hanno, quindi, inciso maggiormente nella prima tratta piuttosto che nella seconda. Tale considerazione si poteva già dedurre dalle molteplici problematiche che abbiamo evidenziato, dapprima, nella parte di elaborazione di ogni singola formazione e, successivamente, rimarcata in questa parte di confronto.

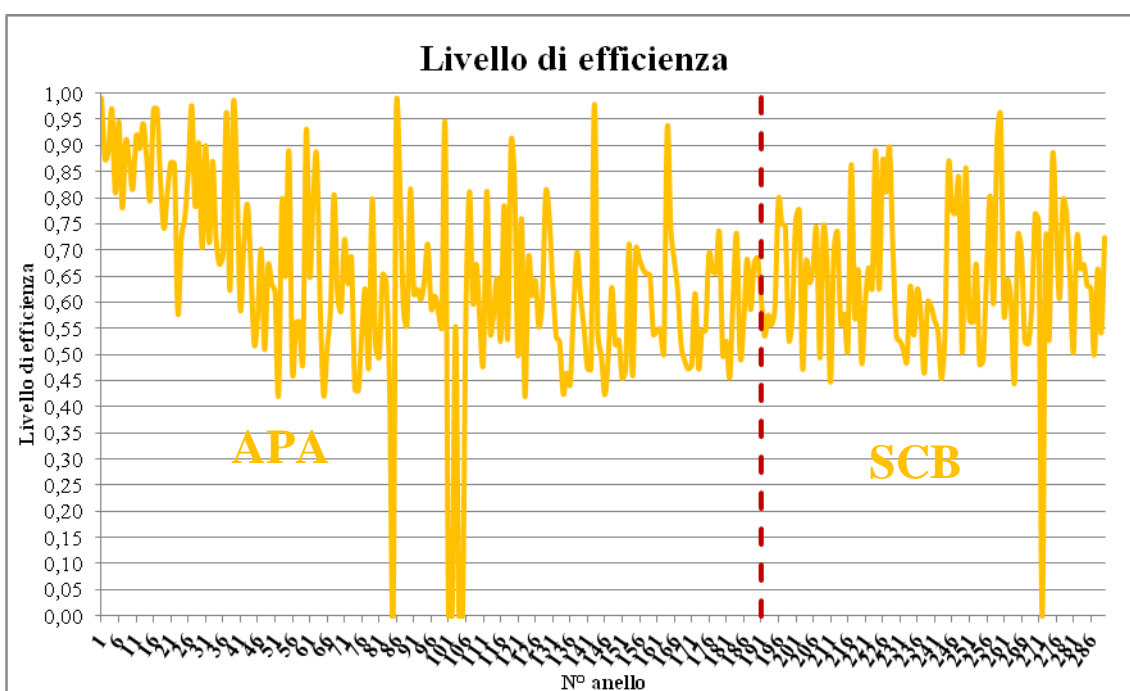


Grafico 6.12 Andamento del livello di avanzamento per la tratta fino ad oggi scavata

Il parametro complementare al precedente è il Coefficiente di utilizzazione, dato dal rapporto tra il tempo di scavo vero e proprio e il tempo totale lavorato: per questa grandezza, analogamente a quanto visto per il livello di efficienza, il valore ottimale dovrebbe assestarsi attorno al 50%, se le attività fossero state ottimizzate. Il Grafico 6.13 ci mostra che, per entrambe le formazioni, il valore oscilla fra il 30 - 50 %, superando il limite superiore di rado. Ciò ci consente di osservare che generalmente hanno rappresentato una parte consistente del tempo totale, non soltanto, le fasi di montaggio del rivestimento, ma, soprattutto, i fermi che si sono venuti a verificare.

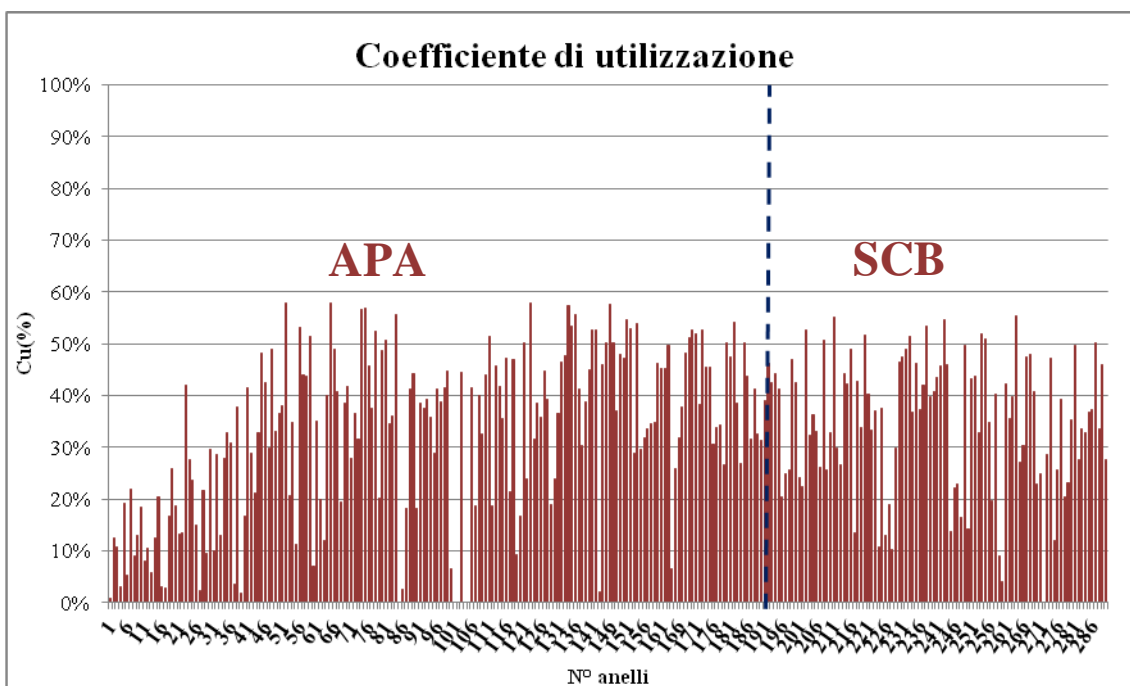


Grafico 6.13 Andamento del coefficiente di utilizzazione (%) per la tratta fino ad oggi scavata

Per quanto concerne i consumi, ci è sembrato più semplice riportare delle tabelle con i totali dei quantitativi impiegati, per ogni formazione e per la tratta dall'anello n°1 all'anello n°85, delle sostanze condizionanti, della miscela bi componente, dei grassi e dell'energia elettrica.

FORMAZIONE	LIQUIDO CONDIZIONANTE				
	POLIMERO 1 (m ³)	POLIMERO 2 (m ³)	POLIMERO AP (m ³)	ACQUA SCHIUME (m ³)	ACQUA STATORE (m ³)
APA	198,10	52,43	4,07	10718,70	13572,76
SCB	125,86	0,68	0,01	5106,20	9272,59
1-85	62,03	52,42	4,06	6110,33	31,77

FORMAZIONE	MISCELA BICOMPONENTE	
	MALTA (m ³)	ACCELERANTE (m ³)
APA	4914,60	301,29
SCB	2744,83	161,87
1-85	2207,28	135,40

FORMAZIONE	ENERGIA ELETTRICA (kWh)
APA	2812201
SCB	1003908
1-85	1848512

FORMAZIONE	GRASSI		
	CONDAT GR 30 EP2 (kg)	CONDAT HBW (kg)	CONDAT WR89 (kg)
APA	5865,56	9339,65	110581,00
SCB	2230,08	3432,10	48266,52
1-85	2812,38	5312,93	55737,56

Tabella 6.10 Confronto fra i consumi delle APA e delle SCB

Bisogna evidenziare che le due formazioni esaminate non presentano eguale lunghezza, per quanto concerne la nostra analisi, quindi non ci dobbiamo stupire che i valori siano praticamente doppi per le argille rispetto alle arenarie.

Il confronto che ci sembra più interessante fare, infatti, è fra la prima porzione della formazione delle Argille a Palombini, dove sono state riscontrate un numero maggiore di problematiche, e la tratta, da noi analizzata, delle Arenarie tipo Scabiazza (confrontabili anche dal punto di vista della lunghezza):

- grassi, miscela bicomponente ed energia elettrica sono tutto sommato confrontabili;
- i quantitativi del liquido condizionante sono diversi, in particolare per la tratta 1-85 il polimero è stato prelevato sia dal serbatoio 1 che dal serbatoio 2 ed è stato impiegato il polimero ad alta pressione con funzione disgregante, per quei problemi di impaccamento della parte centrale della testa; inoltre è significativo osservare il consumo di acqua, irrisorio per quanto riguarda quella fornita allo statore, nella prima porzione della formazione argillosa, e cospicua poi successivamente, sia nella restante porzione che nella formazione arenacea.

Riportiamo infine i *range* identificati per le due formazioni (Tab. 6.11) e che suggeriamo di seguire per le tratte successive della Canna Nord, in cui si ripresenteranno, e nella Canna Sud, che possiede una struttura geologica simile.

PARAMETRO	RANGE APA		RANGE SCB	
	MIN	MAX	MIN	MAX
VELOCITA' DI AVANZAMENTO (mm/min)	15	25	20	30
FORZA DI SPINTA (kN)	50000	90000	50000	70000
PENETRAZIONE (mm/rot)	15	30	20	25
PRESSIONE IN CALOTTA (bar)	1,6	2	0,6	1
MATERIALE SMARINATO (ton)	900-1000		900-1000	
PRESSIONE BICOMPONENTE (bar)	2,5	4	2,5	4
VOLUME BICOMPONENTE (m³)	29,5		29,5	
FIR (%)	80	120	80	120
FER (1:x)	4	8	4	8
MALTA A (m³)	25	29	20	28
ACCELERANTE B (m³)	0	2	0	2
POLIMERO (SERB 1) (m³)	0	1,5	0	1,3
POLIMERO (SERB 2) (m³)	0	0,5	0	0,1
POLIMERO AP (m³)	0	0,5	0	0,1
ACQUA SCHIUME (m³)	30	130	40	60
ACQUA STATORE (m³)	90	170	100	130
GRASSO GR 30 EP2 (kg)	5	30	10	30
GRASSO CONDAT HBW (kg)	20	60	15	35
GRASSO CONDAT W89 (kg)	350	700	300	600
ENERGIA ELETTRICA (kWh)	5000	20000	7000	12000

Tabella 6.11 Range individuati per le APA e per le SCB

Il commento con cui chiudiamo questo confronto è semplice e già evidenziato in alcuni dei paragrafi precedenti: la tratta in cui la TBM ha avuto maggiori problematiche ad avanzare è stata quella delle Argille a Palombini, in parte perché la prima su cui una macchina, di tali dimensioni e caratteristiche, veniva testata, in parte perché, come già più volte sottolineato, quella in cui erano presenti le maggiori incertezze dal punto di vista geologico e strutturale.

Mediamente, senza contare i periodi di prolungato fermo, questa TBM riesce a garantire degli avanzamenti significativi, per quanto questi non siano sempre ottimizzati dal punto di vista delle tempistiche e dell'efficienza complessiva della macchina.

L'esperienza fin qui acquisita e quella che verrà acquisita con il procedere dello scavo, saranno fondamentali per la realizzazione della Canna Sud, per la quale suggeriamo l'impiego degli intervalli individuati e segnalati a seguito di questo studio, cioè derivanti dalle osservazioni in fase di scavo e dalle considerazioni fatte per la Canna Nord.

7. CONCLUSIONI

Lo scopo di questo lavoro di tesi, per conseguire la laurea in Ingegneria, è stato quello di individuare i parametri di conduzione della TBM, che più significativamente sono legati alle migliori *performance* di scavo. Il caso studiato è quello della realizzazione della Galleria Sparvo, inserita nel progetto Variante Autostradale di Valico (VAV).

I diversi numerosi parametri rilevati in fase di scavo sono stati esaminati per individuare il rapporto tra i valori e la variabilità delle caratteristiche di “scalabilità” dell’ammasso roccioso.

Tale analisi ha permesso di verificare gli scostamenti tra le previsioni di progetto e l’andamento reale dello scavo. Gli inevitabili scostamenti sono peraltro da attribuire, principalmente, all’assenza di esperienze di scavo con macchine di tali dimensioni in formazioni complesse, quali quelle attraversate alla galleria Sparvo. La complessità, oltre che di carattere geostrutturale, è dovuta anche alla presenza di metano.

La verifica sperimentale, condotta durante il lavoro di tesi, degli intervalli di valori da adottare (per i parametri: penetrazione, forza di spinta, pressione in calotta, FIR e FER, pressione della miscela a due componenti), indicati in fase di progetto, ha reso evidente la ineluttabile difficoltà di corretta previsione e la necessità di continui aggiustamenti durante l’avanzamento.

Fra i consumi registrati, quelli per il condizionamento del marino sono direttamente legati al livello di difficoltà di scavo.

L’analisi dei rendimenti di scavo ha messo in evidenza il peso dei malfunzionamenti legati al nastro trasportatore, alla fornitura e al trasporto dei segmenti per il rivestimento definitivo, e alle capacità delle squadre impiegate all’interno della TBM. Tali malfunzionamenti, tuttavia incidono marginalmente rispetto alla “scavabilità” del massiccio roccioso.

Gli intervalli dei valori dei parametri, sopra richiamati, proposti a seguito dell’indagine sperimentale, sono anch’essi indicativi e dovranno essere verificati durante lo scavo delle successive tratte che la macchina affronterà. Al termine dello scavo della Canna Nord il numero di dati, già considerevoli per la porzione fino ad ora analizzata, sarà tale da permettere di produrre considerazioni, derivanti dalla loro ulteriore analisi, di elevata significatività.

Possiamo concludere che:

- nello scavo della formazione delle Argille a Palombini, la TBM ha dovuto superare i maggiori problemi per produrre l’avanzamento. Tali problemi sono da ascrivere in parte alla fase di rodaggio per una macchina di dimensioni imponenti, in parte perché la tratta era quella con maggiori incertezze dal punto di vista geologico e strutturale. La formazione

Argille a Palombini, la cui matrice è prevalentemente costituita da materiali “soffici”, è caratterizzata da complessiva limitata resistenza, soffre di rilevanti problemi di instabilità e produce frequentemente “impaccamenti” del materiale argilloso al fronte, motivo per il quale, con forze di spinta anche elevate, le prestazioni sono risultate peggiori rispetto a quelle registrate nella tratta successiva;

- lo scavo della formazione delle Arenarie tipo Scabiazza, caratterizzata da maggiore omogeneità, resistenza e stabilità del fronte, come si evince dall’andamento della forza di contatto, ha fatto registrare prestazioni più soddisfacenti per l’intera tratta analizzata. Le problematiche maggiori sono legate al rollio, accentuato in questa formazione perché caratterizzata da minori fenomeni di convergenza all’intorno del contorno di scavo, e alla fatturazione dell’ammasso roccioso, che talvolta ha determinato un più elevato consumo della miscela bi-componente e la veicolazione del metano, che è stato rilevato ed ha ostacolato i due interventi di sostituzione degli utensili.

Il risultato di questa tesi fornisce utili indicazioni sulle modalità con cui sviluppare l’elaborazione, dei dati relativi ai parametri di macchina, finalizzata a prevedere il comportamento della TBM in queste formazioni complesse. Nel caso studiato, l’analisi complessiva e quella dei dati corrispondenti agli avanzamenti migliori/peggiori, sono state eseguite considerando valori, al netto dei tempi di fermo, ma si ritiene che possa essere significativo considerare anche i valori lordi prendendo in considerazione anche i tempi di fermo e la fase di montaggio del rivestimento. Maggiore importanza andrebbe data alle problematiche legate al rollio mettendole in relazione alle caratteristiche di ciascuna delle formazioni attraversate.

8. BIBLIOGRAFIA

Monografie

- [1]Chiarelli, Massimo, *L'arte del costruire gallerie, 1a ed., Trento, UNI Service, 2009 pp. V-248*
- [2]Bringiotti, Massimiliano, *Guida al Tunneling – L'evoluzione e la sfida, 2a ed., Parma, Edizioni Pei, 2003, pp. XLII-750*
- [3]Tanzini, Maurizio, *Scavo Meccanizzato – Opere Sotterranee e Gallerie, 1a ed., Palermo, Flaccovio Dario Editore, pp. 226*
- [4]Tanzini, Maurizio, *Gallerie. Aspetti geotecnici nella progettazione e costruzione, 2a ed., Palermo, Flaccovio Dario Editore, pp. 583*

Opere inedite e Documenti Privati

- [5]Arlotti, Tatiana *Analisi dei parametri tecnologici e geomeccanici che condizionano il rendimento di scavo con TBM, Tesi Discussa all'Università degli Studi di Bologna A.A. 2000/2001*
- [6]Boldini, Daniela *Dispense del corso Opere in Sotterraneo M, A.A. 2010/2011*
- [7]Debernardi, Daniele, *Prove specialistiche e analisi numeriche a ritroso riguardanti lo scavo di gallerie profonde in Argille Scagliose tenendo conto della dipendenza dal tempo, Tesi Discussa al Politecnico di Torino, A.A. 2004/2005*
- [8]Laner, Alessandro, *Tecniche di ottimizzazione applicate alla progettazione di opere nel campo dell'ingegneria civile ed ambientale, Tesi di Dottorato Discussa al Dipartimento Territorio e Sistemi Agro Forestali, Università di Padova A.A. 2008/2009*
- [9]Nicolini, Giacomo, *Rock Mass Excavability (RME) Index: Selezione del tipo di TBM e previsione delle sue prestazioni, Tesi Discussa all'Università degli Studi di Bologna A.A. 2009/2010*
- [10]Palmström, Arild, *RMi – A rock Mass Characterization System for Rock Engineering Purposes, Ph. D. Thesis on RMi, Department of Geology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Discussed at University of Oslo, 1995*

- [11]Pepe, G. Gabriele, *Rivestimenti di gallerie in conci prefabbricati: sperimentazione e analisi*, Tesi di Dottorato Discussa all'Università degli Studi di Napoli Federico II, A.A. 2008/2009
- [12]Sorgia, Luca *Descrizione, Funzionamento e analisi prestazionale delle macchine di scavo meccanizzato*, Tesi di Dottorato Discussa all'Università degli studi di Cagliari, Dipartimento Ingegneria e Tecnologie Ambientali, A.A. 2008/2009
- [13]Toan, D. Nguyen *TBM and Lining Essential Interfaces*, Tesi di Laurea Discussa al Politecnico di Torino, A.A. 2006/200

Documenti Privati - Documenti di Cantiere

- [14] Herrenknecht AG *Procedure I – Accesso in camera di scavo, Procedure II – Descrizione della matrice causa – effetto e Ventilazione della TBM, Procedure III – Identificazione del vuoto, Canale del nastro trasportatore, Trasporto degli utensili di scavo e Foro di sondaggio, Procedure IV – Sostituzione delle spazzole di coda, Pulizia delle linee della malta e Riavvio dopo l'arresto*
- [15] Herrenknecht AG *S-574 Generalità, Dati tecnici, Avvertenze di sicurezza, Funzione e installazione, Messa in funzione, Manovra, Manutenzione*
- [16]H+E Logistik GMBH AG *Istruzioni per l'uso e documentazione tecnica 60497/S-574 Tunnel Sparvo Italia – Nastro trasportatore da galleria*
- [17] H+E Logistik GMBH AG *Istruzioni per l'uso e documentazione tecnica 60518/S-574 Tunnel Sparvo Italia – Nastro trasportatore e Nastro trasportatore trasversale*
- [18] RTI Vianini Spa –Toto Spa – Profacta Spa *Classificazione tecnica della Galleria Sparvo ai fini della previsione degli afflussi di metano durante gli scavi – Adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello – Lotto 6 e 7, Luglio 2004*
- [19] RTI Vianini Spa –Toto Spa – Profacta Spa *Galleria Sparvo Imbocco Sud – Canna Nord, da Prog. I+308,86 a Prog. I+458,86, Partenza scavo con TBM EPB, Relazione tecnica e di calcolo – Adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello – Lotto 6 e 7, Agosto 2011*

- [20] RTI Vianini Spa *Galleria Sparvo Imbocco Sud – Canna Nord, da Prog. 1+458,86 a Prog. 1+718,86, Parametri operativi TBM EPB, Relazione tecnica –*
 –Toto Spa – Profacta Spa Adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello – Lotto 6 e 7, Ottobre 2011
- [21] RTI Vianini Spa *Galleria Sparvo Imbocco Sud – Canna Nord, da Prog. 1+718,86 a Prog. 2+168,86, Parametri operativi TBM EPB, Relazione tecnica–*
 –Toto Spa – Profacta Spa Adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello – Lotto 6 e 7, Dicembre 2011
- [22] RTI Vianini Spa *Galleria Sparvo Galleria Naturale, Galleria in conci prefabbricati, Relazione tecnica sui parametri operativi della macchina EPB –*
 –Toto Spa – Profacta Spa Adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello – Lotto 6 e 7, Dicembre 2009
- [23] RTI Vianini Spa *Capitolato speciale d'appalto, Seconda parte – nta scavo con fresa –*
 –Toto Spa – Profacta Spa Adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello – Lotto 6 e 7, Dicembre 2009
- [24] RTI Vianini Spa *Galleria Sparvo – Relazione geomeccanica -* Adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello –
 –Toto Spa – Profacta Spa Lotto 6 e 7, Dicembre 2007
- [25] RTI Vianini Spa *Galleria Sparvo – Parte generale, Relazione tecnica generale -*
 –Toto Spa – Profacta Spa Adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello – Lotto 6 e 7, Maggio 2010
- [26] RTI Vianini Spa *Galleria Sparvo – Relazione geotecnica -* Adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello –
 –Toto Spa – Profacta Spa Lotto 6 e 7, Luglio 2004
- [27] RTI Vianini Spa *Parte generale – Geologia, Relazione geologica -* Adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello –
 –Toto Spa – Profacta Spa Lotto 6 e 7, Maggio 2008
- [28] RTI Vianini Spa *Procedure operative di scavo della fresa Herrenknecht S-574 -*
 –Toto Spa – Profacta Spa Adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello – Lotto 6 e 7, Settembre 2011
- [29] RTI Vianini Spa *Galleria Naturale – Profilo Geomeccanico e Progettuale di Previsione –*
 –Toto Spa – Profacta Spa *Canna Nord,* Adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello – Lotto 6 e 7, Luglio 2004

[30] RTI Vianini Spa *Galleria Naturale – Profilo Geomeccanico e Progettuale di Previsione –*
–Toto Spa – Profacta *Canna Sud*, Adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra
Spa Sasso Marconi e Barberino di Mugello – Lotto 6 e 7, Luglio 2004

Articoli e Opere Pubblicate

- [31] G. Barla, S. *TBM Tunneling in difficult ground conditions*, 2002
Pelizza
- [32] Z.T. Bieniawski, *Predicting TBM Excavability – Pt I*, T & TI, Settembre 2007, p25
B. Celada, J.M. Galera,
- [33] Z.T. Bieniawski, *Rock mass excavability indicator: New way to selecting the optimum tunnel*
B. Celada, J.M. Galera, *construction method*, Tunnelling and Underground Space Technology, 2006
M. A. Hernández,
- [34] Z.T. Bieniawski, *New applications of the excavability index for selection of TBM types and*
B. Celada, J.M. Galera *predicting their performance*, World Tunnel Congress 2008 - Underground
& I. Tardáguila, *Facilities for Better Environment and Safety – India*, 2008
- [35] M. Bonini, M. *Comportamento rigonfiante delle argille scagliose sulla base di nuove*
Barla, G. Barla *determinazioni sperimentali*, Incontro Annuale dei Ricercatori di
Geotecnica 2002 - IARG, Napoli, 19-21 Giugno 2002
- [36] F. Bonomo *La Variante di Valico all'ultima galleria*, Strade e Costruzioni, 97-107,
Giugno 2011
- [37] R.K. Goel, *Evaluation of TBM performance in a Himalayan tunnel - World Tunnel*
Congress 2008 - Underground Facilities for Better Environment and Safety
– India, 2008
- [38] J. K. Hamidi, K. *Performance prediction of hard rock TBM using Rock Mass Rating (RMR)*
Shahriar, B. Rezai, J. *system*, Tunnelling and Underground Space Technology, 2010
Rostami
- [39] F. Marinozzi *La Variante di Valico al via*, Attualità e Iniziative - Grandi Lavori, p36- 41,
2005
- [40] B. Nilsen, L. *Hard rock tunnel boring prediction and field performance*, Rapid
Ozdemir, Excavation and Tunneling Conference (RETC) Proceedings, Boston USA,
1993
- [41] Regione Emilia *Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio*

Romagna, Servizio 237, Sasso Marconi, 2002

Geologico, Sismico e
dei Suoli

[42] J. Rostami, L. Ozdemir, B. Nilsen, *Comparison between CSM and NTH – Hard rock TBM Performance prediction models*, 2000

[43] M. Sapigni, M. Berti, E. Bethaz, A. Busillo, G. Cardone *TBM performance estimation using rock mass classifications*, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 39, 771–788, 2002

Riviste specializzate

[44] Autostrade per l'Italia *Variante di Valico*, Periodico di Autostrade per l'Italia – Anno 5, n° 17, Febbraio 2010 – n° 19, Giugno 2010 – n°22, Dicembre 2012 – n° 24, Giugno 2011 – n° 25, Settembre 2011

Sitografia

[45] <http://db.selitunnel.com> (data di consultazione: Dicembre 2011)

[46] <http://www.apat.gov.it> (data di consultazione: Gennaio 2012)

[47] <http://www.cattunnelboring.com> (data di consultazione: Dicembre 2011)

[48] <http://www.geo-exploration-technologies.com> (data di consultazione: Febbraio 2012)

[49] <http://www.herrenknecht.com> (data di consultazione: Dicembre 2011)

[50] <http://www.khi.co.jp> (data di consultazione: Dicembre 2011)

[51] <http://www.mhi.co.jp> (data di consultazione: Dicembre 2011)

[52] <http://www.nfm-technologies.com/> (data di consultazione: Dicembre 2011)

[53] <http://www.osservatoriovariantedivalico.it> (data di consultazione: Gennaio 2012)

[54] <http://www.robinstbm.com/> (data di consultazione: Dicembre 2011)

[55] <http://www.variantedivalico.com> (data di consultazione: Gennaio 2012)

[56] <http://www.wirth-erkelenz.de> (data di consultazione: Dicembre 2011)

ALLEGATO A – ARGILLE A PALOMBINI

Totale Argille a Palombini

N°	DATA	INIZIO	FINE	AVANZAMENTO	COSTRUZIONE ANELLO	FERMO	TOTALE	AVANZAMENTO (mm/min)
1	26.08.2011	14.40.20	8.34.03	1.02.35	4.59.04	11.52.14	17.53.42	31
2	01.09.2011	8.34.05	20.35.24	1.29.52	2.10.53	8.20.34	12.01.18	0
3	01.09.2011	20.35.29	15.13.45	2.00.36	2.45.22	13.52.11	18.38.16	16
4	02.09.2011	15.14.00	23.13.12	2.20.45	11.33.48	18.04.45	7.59.11	15
5	05.09.2011	23.13.16	11.51.17	2.24.12	7.05.40	3.08.22	12.38.00	13
6	06.09.2011	11.51.21	20.20.53	1.44.26	6.29.03	0.16.30	8.29.31	16
7	07.09.2011	20.20.59	8.06.08	2.34.10	1.41.56	7.29.11	11.45.09	13
8	08.09.2011	8.06.09	3.58.17	1.47.49	2.20.44	15.43.56	19.52.08	18
9	09.09.2011	3.58.24	16.53.27	1.40.16	1.49.07	9.26.02	12.55.02	18
10	09.09.2011	16.53.28	2.20.49	1.43.41	2.09.25	5.34.37	9.27.21	18
11	10.09.2011	2.20.57	3.17.08	2.00.34	3.08.56	19.47.25	0.56.11	14
12	11.09.2011	3.17.15	2.29.26	2.26.33	11.41.25	9.05.23	23.12.11	13
13	12.09.2011	2.29.31	19.46.52	2.21.25	1.38.02	13.18.22	17.17.20	13
14	13.09.2011	19.47.01	14.41.17	2.21.05	3.03.23	13.30.25	18.54.16	13
15	14.09.2011	14.41.17	0.54.18	2.04.38	2.56.55	5.11.38	10.13.01	16
16	15.09.2011	0.54.23	13.28.24	2.28.59	15.42.57	18.22.16	12.34.01	13
17	18.09.2011	13.28.26	20.09.17	2.14.52	2.23.16	2.03.10	6.40.51	14
18	21.09.2011	20.09.25	10.32.36	2.24.42	2.29.18	9.30.10	14.23.11	13
19	22.09.2011	10.32.44	17.40.15	1.50.29	1.59.48	3.17.38	7.07.31	18
20	22.09.2011	17.40.18	4.09.49	1.57.37	4.07.55	4.24.13	10.29.30	17
21	23.09.2011	4.09.53	20.24.44	2.07.54	2.10.35	11.56.27	16.14.51	16
22	23.09.2011	20.24.51	15.34.12	2.34.26	4.00.21	12.35.04	19.09.21	12
23	24.09.2011	15.34.13	20.26.04	2.02.43	1.44.18	1.05.01	4.51.50	16
24	24.09.2011	20.26.13	3.09.55	1.51.32	1.31.31	3.20.45	6.43.41	17
25	25.09.2011	3.10.02	10.19.03	1.41.36	1.54.19	3.33.12	7.09.01	20
26	25.09.2011	10.19.05	22.39.06	1.49.45	8.01.35	2.28.54	12.20.00	18
27	25.09.2011	22.39.07	18.47.34	1.35.06	1.34.51	16.58.43	20.08.26	21
28	28.09.2011	18.47.43	0.51.55	1.18.32	2.00.21	2.45.28	6.04.12	24
29	29.09.2011	0.52.16	16.30.00	1.28.14	3.30.26	10.39.10	15.37.43	23
30	29.09.2011	16.29.38	21.39.19	1.31.28	2.19.19	1.19.03	5.09.40	21
31	29.09.2011	21.39.27	12.00.58	1.25.34	3.21.09	9.35.09	14.21.31	22
32	30.09.2011	12.01.03	18.21.08	1.48.18	3.26.47	1.05.03	6.20.04	18
33	30.09.2011	18.21.15	7.52.37	1.44.50	10.24.01	1.22.36	13.31.21	19
34	01.10.2011	7.52.45	14.43.19	1.54.11	3.07.31	1.49.02	6.50.34	17
35	01.10.2011	14.43.29	20.14.40	1.48.18	2.28.31	1.14.28	5.31.10	18
36	01.10.2011	20.14.44	1.36.35	1.39.24	2.02.37	1.40.07	5.21.50	19
37	02.10.2011	1.36.37	22.51.39	1.38.03	1.23.49	18.13.22	21.15.01	20
38	03.10.2011	22.51.40	2.55.01	1.31.51	1.03.07	1.28.43	4.03.21	21
39	04.10.2011	2.55.09	12.23.39	1.28.11	5.29.59	2.30.42	9.28.29	19
40	07.10.2011	12.23.41	21.24.22	1.29.34	4.59.35	2.31.51	9.00.41	22
41	07.10.2011	21.24.24	1.59.05	1.53.35	1.36.59	1.04.15	4.34.41	17
42	08.10.2011	1.59.12	8.18.13	1.48.58	1.50.48	2.39.26	6.19.00	18
43	08.10.2011	8.18.14	16.21.55	1.42.32	1.02.02	5.19.19	8.03.40	19
44	08.10.2011	16.21.59	21.29.00	1.40.26	1.44.08	1.42.41	5.07.01	20
45	08.10.2011	21.29.08	0.36.29	1.30.04	1.05.20	0.32.12	3.07.21	21
46	09.10.2011	0.36.30	4.12.51	1.31.45	1.03.15	1.01.34	3.36.21	21
47	09.10.2011	4.12.53	9.22.54	1.32.37	1.31.51	2.05.46	5.10.00	21
48	09.10.2011	9.22.56	12.58.17	1.45.31	1.07.42	0.42.15	3.35.20	18
49	09.10.2011	12.58.18	18.15.20	1.44.27	1.56.09	1.36.41	5.17.01	18
50	09.10.2011	18.15.28	22.55.09	1.41.51	1.40.45	1.17.15	4.39.40	19
51	09.10.2011	22.55.16	3.41.27	1.48.55	2.11.45	0.45.39	4.46.10	18
52	10.10.2011	3.41.30	6.49.41	1.48.35	1.03.46	0.16.00	3.08.11	18
53	10.10.2011	6.49.47	15.44.08	1.49.37	2.12.11	4.52.53	8.54.20	18
54	10.10.2011	15.44.10	20.59.50	1.50.06	1.37.00	1.48.37	5.15.39	18
55	10.10.2011	20.59.58	16.43.09	2.11.40	1.23.31	16.08.14	19.43.10	15
56	11.10.2011	16.43.14	20.02.15	1.45.41	1.14.29	0.18.59	3.19.01	19
57	11.10.2011	20.02.23	23.36.04	1.33.52	1.39.55	0.19.57	3.33.40	20

58	11.10.2011	23.36.04	2.55.46	1.27.11	1.32.44	0.19.50	3.19.42	23
59	12.10.2011	2.55.55	6.04.36	1.36.48	1.19.01	0.12.55	3.08.40	21
60	12.10.2011	6.04.44	5.10.44	1.35.54	1.40.55	19.49.17	23.06.00	20
61	13.10.2011	5.10.49	9.55.31	1.39.23	2.52.23	0.12.59	4.44.42	20
62	13.10.2011	9.55.33	19.35.24	1.55.26	1.19.26	6.25.13	9.39.51	17
63	13.10.2011	19.35.31	9.18.22	1.38.01	3.03.52	9.01.10	13.42.51	20
64	14.10.2011	9.18.30	14.05.01	1.54.33	1.37.04	1.15.02	4.46.30	17
65	14.10.2011	14.05.10	17.05.01	1.43.47	1.10.21	0.05.46	2.59.51	19
66	14.10.2011	17.05.04	20.20.05	1.35.17	1.04.59	0.34.50	3.15.00	21
67	14.10.2011	20.20.11	0.12.02	1.34.24	1.58.09	0.19.19	3.51.50	21
68	15.10.2011	0.12.03	9.23.34	1.46.26	1.46.21	5.38.51	9.11.31	19
69	15.10.2011	9.23.43	13.20.35	1.31.25	1.30.22	0.55.08	3.56.52	22
70	15.10.2011	13.20.41	17.28.52	1.43.20	1.40.47	0.44.11	4.08.11	19
71	15.10.2011	17.28.54	0.09.25	1.51.38	3.18.58	1.29.58	6.40.31	18
72	16.10.2011	0.09.30	5.24.02	1.54.30	1.39.26	1.40.51	5.14.31	17
73	16.10.2011	5.24.06	11.43.47	1.59.51	1.35.34	2.44.23	6.19.41	16
74	16.10.2011	11.43.49	15.08.10	1.55.32	1.10.56	0.17.53	3.24.20	18
75	16.10.2011	15.08.12	18.33.53	1.56.54	1.18.43	0.10.07	3.25.41	17
76	16.10.2011	18.33.54	22.39.45	1.52.07	1.47.12	0.26.35	4.05.50	18
77	16.10.2011	22.39.47	3.39.08	1.52.08	1.10.01	1.57.24	4.59.21	18
78	17.10.2011	3.39.12	7.25.05	1.58.12	0.57.13	0.50.32	3.45.53	17
79	17.10.2011	7.25.10	21.47.33	2.53.12	3.27.00	8.02.24	14.22.23	12
80	17.10.2011	21.47.42	1.36.24	1.51.10	1.02.07	0.55.27	3.48.41	17
81	18.10.2011	1.36.30	5.35.51	2.00.58	0.53.10	1.05.20	3.59.21	16
82	18.10.2011	05:35:58	11:15:29	01:57:32	01:06:19	02:35:45	05:39:31	17
83	18.10.2011	11:15:13	16:02:20	01:43:31	01:26:21	01:37:19	04:47:07	20
84	18.10.2011	16:02:51	19:22:39	01:50:57	01:05:48	00:23:06	03:19:47	18
85		0.00.00	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0
86	18.12.2011	00:50:38	13:05:06	02:12:38	06:03:20	75:59:01	84:14:28	15
87	21.12.2011	13:05:11	22:13:17	01:39:50	03:12:36	04:15:49	09:08:06	19
88	21.12.2011	22:13:26	02:31:57	01:46:39	01:53:40	00:38:19	04:18:30	18
89	22.12.2011	02:32:03	06:42:34	01:50:46	02:10:33	00:09:10	04:10:30	18
90	22.12.2011	06:42:37	14:58:48	01:30:26	01:46:02	04:59:49	08:16:10	23
91	22.12.2011	14:58:48	18:44:50	01:26:47	01:34:14	00:45:05	03:46:01	23
92	22.12.2011	18:44:51	22:08:32	01:16:14	01:33:28	00:34:04	03:23:41	25
93	22.12.2011	22:08:39	01:37:00	01:21:58	01:22:07	00:44:17	03:28:20	24
94	23.12.2011	01:37:08	05:41:49	01:27:34	02:03:21	00:33:48	04:04:41	23
95	23.12.2011	05:41:52	10:31:24	01:23:29	01:30:12	01:55:54	04:49:32	24
96	23.12.2011	10:31:33	13:15:46	01:07:31	01:17:04	00:19:38	02:44:12	29
97	23.12.2011	13:15:52	16:29:03	01:14:59	01:06:46	00:51:40	03:13:11	26
98	23.12.2011	16:29:11	19:21:22	01:11:21	01:04:04	00:36:54	02:52:11	26
99	23.12.2011	19:21:23	22:35:04	01:26:26	01:27:13	00:20:04	03:13:40	23
100	23.12.2011	22:35:08	18:59:21	01:20:46	09:07:28	09:56:03	20:24:13	0
101	0	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0
102	0	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0
103	24.12.2011	18:59:25	21:51:36	01:16:37	01:31:01	00:04:32	02:52:11	26
104	0	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0
105	0	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0.00.00	0
106	24.12.2011	21:51:41	01:14:22	01:24:15	01:07:24	00:51:10	03:22:41	23
107	25.12.2011	01:14:23	08:08:34	01:17:44	01:14:56	04:21:41	06:54:10	25
108	25.12.2011	08:08:38	10:59:49	01:08:29	01:16:21	00:26:28	02:51:11	29
109	25.12.2011	10:59:56	14:29:08	01:08:18	01:47:51	00:33:09	03:29:12	29
110	25.12.2011	14:29:10	16:45:22	00:59:55	00:57:01	00:19:25	02:16:12	33
111	25.12.2011	16:45:28	19:02:59	01:10:37	00:59:29	00:07:27	02:17:30	28
112	25.12.2011	19:03:07	02:26:48	01:22:52	01:03:01	04:57:56	07:23:41	24
113	26.12.2011	02:26:52	05:21:23	01:19:52	01:21:42	00:13:01	02:54:31	24
114	26.12.2011	05:21:31	08:34:02	01:20:17	01:31:13	00:21:05	03:12:31	25
115	26.12.2011	08:34:05	13:10:06	01:37:48	01:52:27	01:05:58	04:36:01	20
116	26.12.2011	13:10:10	16:02:21	01:21:10	01:24:18	00:06:48	02:52:11	24
117	26.12.2011	16:02:29	22:16:04	01:20:00	01:07:56	03:45:44	06:13:35	25
118	26.12.2011	22:16:12	01:13:53	01:23:28	01:16:24	00:17:55	02:57:41	23
119	27.12.2011	01:14:01	18:14:52	01:33:02	14:52:05	00:35:49	17:00:51	23
120	27.12.2011	18:15:01	03:04:43	01:28:09	03:13:18	04:08:21	08:49:42	21
121	28.12.2011	03:04:45	05:47:16	01:21:28	01:07:52	00:13:12	02:42:30	24
122	28.12.2011	05:47:21	13:20:12	01:48:15	02:58:52	02:45:51	07:32:51	19
123	28.12.2011	13:20:15	15:56:56	01:30:43	01:02:02	00:03:55	02:36:40	21

124	28.12.2011	15:56:57	21:16:39	01:41:03	01:38:11	02:00:37	05:19:41	20
125	28.12.2011	21:16:39	01:02:21	01:27:06	02:04:08	00:14:33	03:45:42	23
126	29.12.2011	01:02:23	05:20:54	01:32:42	01:29:04	01:16:51	04:18:31	21
127	29.12.2011	05:20:59	09:20:20	01:47:08	01:05:45	01:06:43	03:59:20	17
128	29.12.2011	09:20:23	13:34:54	01:39:52	01:31:15	01:03:30	04:14:30	19
129	29.12.2011	13:35:01	22:14:02	01:37:59	03:38:03	03:23:15	08:39:01	20
130	29.12.2011	22:14:08	06:01:19	01:51:36	04:04:10	01:51:47	07:47:11	17
131	30.12.2011	06:01:28	10:15:49	01:32:48	01:38:24	01:03:08	04:14:21	21
132	30.12.2011	10:15:55	15:21:18	02:21:55	01:13:40	01:29:50	05:05:22	17
133	30.12.2011	15:21:28	19:10:40	01:49:02	01:50:33	00:09:39	03:49:12	18
134	30.12.2011	19:10:45	22:31:16	01:55:04	01:21:34	00:03:54	03:20:31	18
135	30.12.2011	22:31:25	01:58:56	01:50:52	01:30:30	00:06:09	03:27:31	18
136	31.12.2011	01:58:59	05:07:31	01:44:51	01:20:57	00:02:44	03:08:32	19
137	31.12.2011	05:07:39	09:45:10	01:54:23	01:14:47	01:28:22	04:37:31	17
138	31.12.2011	09:45:20	15:43:41	01:48:51	03:17:18	00:52:16	05:58:21	18
139	31.12.2011	15:43:50	20:31:41	01:51:43	01:40:36	01:15:31	04:47:50	18
140	31.12.2011	20:31:50	01:01:22	02:00:57	01:20:28	01:08:05	04:29:32	17
141	01.01.2012	01:01:31	04:40:23	01:55:05	01:39:13	00:04:32	03:38:52	17
142	01.01.2012	04:40:27	08:30:28	02:01:14	01:07:57	00:40:52	03:50:00	17
143	01.01.2012	08:30:28	06:56:15	01:52:27	55:05:08	37:28:14	94:25:46	18
144	05.01.2012	06:56:25	09:51:57	01:20:34	01:24:29	00:10:29	02:55:31	24
145	05.01.2012	09:52:00	13:30:21	01:49:33	01:16:26	00:32:25	03:38:20	18
146	05.01.2012	13:30:30	16:41:12	01:49:48	01:10:29	00:10:27	03:10:42	19
147	05.01.2012	16:41:20	19:49:12	01:34:19	01:19:20	00:14:12	03:07:51	21
148	05.01.2012	19:49:16	23:57:57	01:32:06	02:32:59	00:03:35	04:08:40	21
149	05.01.2012	23:57:57	03:00:48	01:27:46	01:30:36	00:04:32	03:02:51	22
150	06.01.2012	03:00:51	06:05:32	01:27:03	01:11:04	00:26:39	03:04:40	23
151	06.01.2012	06:05:40	08:56:21	01:33:03	01:14:03	00:03:38	02:50:41	22
152	06.01.2012	08:56:29	11:47:30	01:30:25	01:04:27	00:16:10	02:51:01	22
153	06.01.2012	11:47:35	16:52:50	01:27:46	01:50:40	01:46:51	05:05:14	23
154	06.01.2012	16:52:59	19:41:41	01:31:00	01:15:00	00:02:40	02:48:42	22
155	06.01.2012	19:41:46	00:11:22	01:19:40	01:11:26	01:58:31	04:29:36	25
156	07.01.2012	00:11:26	04:31:37	01:22:49	01:12:55	01:44:38	04:20:10	23
157	07.01.2012	04:31:42	08:59:33	01:29:57	01:21:17	01:36:39	04:27:50	22
158	07.01.2012	08:59:37	13:19:28	01:29:40	01:08:44	01:41:31	04:19:51	23
159	07.01.2012	13:19:33	17:29:54	01:26:55	01:52:10	00:51:19	04:10:21	23
160	07.01.2012	17:30:01	20:40:42	01:27:49	01:27:58	00:14:57	03:10:41	23
161	07.01.2012	20:40:46	23:50:27	01:25:52	01:26:04	00:17:44	03:09:40	23
162	07.01.2012	23:50:33	02:35:44	01:14:26	01:21:59	00:08:47	02:45:11	26
163	08.01.2012	02:35:47	05:08:28	01:15:36	01:17:03	00:00:01	02:32:41	27
164	08.01.2012	05:08:31	01:47:42	01:21:44	08:19:21	10:58:08	20:39:11	25
165	09.01.2012	01:47:45	07:00:16	01:20:43	01:15:44	02:36:13	05:12:31	24
166	09.01.2012	07:00:20	12:02:41	01:36:24	01:02:39	02:23:21	05:02:21	21
167	09.01.2012	12:02:47	15:49:58	01:25:30	02:04:31	00:17:09	03:47:11	23
168	09.01.2012	15:49:59	18:51:10	01:27:24	01:33:09	00:00:37	03:01:10	22
169	09.01.2012	18:51:14	21:14:55	01:13:17	01:10:00	00:00:23	02:23:41	28
170	09.01.2012	21:15:04	23:33:06	01:12:41	00:58:28	00:06:54	02:18:01	27
171	09.01.2012	23:33:15	01:37:17	01:04:26	00:56:29	00:03:06	02:04:02	30
172	10.01.2012	01:37:20	04:26:41	01:04:42	01:01:43	00:42:55	02:49:20	31
173	10.01.2012	04:26:45	06:27:16	01:03:22	00:53:56	00:03:15	02:00:30	31
174	10.01.2012	06:27:26	09:44:47	01:29:25	01:11:37	00:36:20	03:17:20	23
175	10.01.2012	06:27:26	09:44:47	01:29:25	01:11:37	00:36:20	03:17:20	23
176	10.01.2012	12:18:37	16:48:09	01:22:35	02:31:24	00:35:32	04:29:32	25
177	10.01.2012	16:48:14	20:38:36	01:18:03	01:17:57	01:14:22	03:50:22	25
178	10.01.2012	20:38:42	00:11:23	01:12:41	02:00:52	00:19:07	03:32:40	28
179	11.01.2012	00:11:25	04:10:16	01:03:45	01:58:21	00:56:46	03:58:51	31
180	11.01.2012	04:10:23	06:42:04	01:15:53	00:51:24	00:24:26	02:31:41	26
181	11.01.2012	06:42:12	09:24:33	01:16:51	00:56:57	00:28:33	02:42:21	26
182	11.01.2012	09:24:34	11:43:35	01:15:20	00:58:56	00:04:45	02:19:00	26
183	11.01.2012	11:43:36	15:12:38	01:20:13	02:03:21	00:05:29	03:29:02	25
184	11.01.2012	15:12:47	19:55:39	01:16:08	01:00:51	02:25:52	04:42:51	27
185	11.01.2012	19:55:45	22:59:46	01:32:26	01:02:30	00:29:04	03:04:00	22
186	11.01.2012	22:59:48	01:55:09	01:16:36	01:35:41	00:03:04	02:55:20	26
187	12.01.2012	01:55:09	05:33:21	01:08:58	02:27:53	00:01:19	03:38:12	29
188	12.01.2012	05:33:25	08:31:56	01:13:42	01:31:15	00:13:34	02:58:31	27
189	12.01.2012	08:32:00	12:41:01	01:21:02	02:34:01	00:13:59	04:09:01	25

190	12.01.2012	12:41:02	16:17:54	01:08:06	01:05:39	01:23:05	03:36:52	29
191	12.01.2012	16:18:02	19:26:33	01:13:16	01:46:22	00:08:52	03:08:30	27

N°	PENETRAZIONE (mm/rot)	FORZA DI SPINTA (kN)	FORZA DI CONTATTO (kN)	NUMERO GIRI TESTA (rpm)	ROLLIO (mm/min)	PRESSIONE CALOTTA (bar)	BILANCIA 1 (t)	BILANCIA 2 (t)
1	29	34952	8529	1,06	0,00	0,05	0	0
2	0	0	0	0,00	0,00	0,00	7	0
3	15	53933	21413	1,09	-2,96	0,13	13	5
4	14	53095	22390	0,71	-6,66	0,14	353	344
5	12	56103	23890	1,05	-5,44	0,06	666	657
6	14	55478	24246	1,09	0,00	0,05	610	622
7	12	70202	25927	1,09	0,00	0,02	850	894
8	16	53752	26579	1,08	-5,18	0,02	599	601
9	17	49505	21523	1,09	-2,98	0,03	837	829
10	17	53359	21653	1,02	-5,35	0,04	528	500
11	13	56983	23202	1,15	-5,68	0,18	518	503
12	10	50259	17341	1,25	-5,58	0,21	762	754
13	11	45303	14589	1,26	-3,88	0,27	1046	1023
14	10	34376	10905	1,32	-6,37	0,12	1229	1159
15	12	37049	17137	1,32	-5,15	0,01	986	914
16	10	44142	21996	1,36	-4,89	0,12	953	838
17	14	42249	11976	1,03	-3,86	0,60	288	265
18	10	56878	17374	1,25	0,00	1,21	853	803
19	15	56761	18704	1,23	-6,79	1,27	927	968
20	12	57342	20927	1,39	-5,73	1,14	866	902
21	13	74433	28154	1,24	0,00	1,16	885	899
22	12	86813	40855	1,05	-7,63	1,09	840	858
23	22	74910	32853	0,76	-6,60	1,29	941	946
24	18	73736	31615	0,96	-4,43	1,25	966	965
25	18	77797	33666	1,09	-6,22	1,36	875	876
26	16	70719	28426	1,17	-6,45	1,32	972	989
27	19	50801	17215	0,75	-8,39	1,42	701	738
28	23	63364	28347	1,05	-4,40	1,45	722	800
29	21	78098	35653	1,07	-3,05	1,69	1011	1040
30	20	79184	34690	1,08	-3,01	1,47	966	932
31	21	86378	39158	1,03	-5,05	1,72	959	918
32	17	80423	37626	1,07	-2,71	1,32	980	933
33	18	81115	37339	1,06	-4,61	1,43	981	947
34	16	77870	35741	1,08	-4,77	1,35	1019	992
35	18	72380	34860	1,05	-6,28	1,44	1017	1006
36	18	82229	39175	1,06	-3,95	1,63	989	985
37	19	83453	38402	1,06	-5,28	1,67	993	1006
38	20	84014	38833	1,06	-5,28	1,54	982	1011
39	18	77987	35185	1,05	0,00	1,53	870	898
40	20	76124	35896	1,06	-5,50	1,42	969	998
41	16	78532	40040	1,07	-5,74	1,45	1022	1053
42	17	78367	37955	1,06	-5,00	1,48	964	995
43	18	75841	34863	1,08	-4,45	1,48	974	1002
44	18	67624	31625	1,07	-5,27	1,48	1019	1034
45	20	73328	34057	1,06	-1,63	1,49	974	980
46	20	73629	34463	1,06	-5,50	1,46	992	985
47	20	74096	34231	1,06	-5,48	1,50	974	948
48	17	78735	37767	1,07	-4,72	1,45	1004	964
49	17	80383	39497	1,07	-6,52	1,47	1024	977
50	18	82464	42137	1,07	-3,61	1,48	1017	957
51	17	74031	41147	1,08	-4,43	1,34	1055	993
52	17	75541	42793	1,08	-5,63	1,40	1017	958
53	17	69296	36979	1,08	-4,85	1,47	1084	1012
54	17	70071	39737	1,08	-0,65	1,23	1035	966
55	14	74283	41531	1,07	0,34	1,20	1026	909
56	18	80303	38656	1,08	0,66	2,19	1115	1036
57	18	76614	39566	1,08	-3,47	2,03	934	869
58	20	70124	33292	1,14	-0,41	2,02	1125	1061

59	19	70285	35468	1,13	0,91	1,91	985	929
60	19	77522	41443	1,09	0,00	1,87	713	673
61	19	78164	37672	1,07	-2,85	2,10	994	926
62	16	81065	40968	1,13	0,50	2,15	1130	1043
63	19	79609	39471	1,01	-0,79	2,09	1039	977
64	17	74675	34594	0,99	2,56	2,20	1120	1065
65	19	75270	37460	0,99	3,08	2,04	1019	944
66	21	78578	38064	0,99	-0,38	2,17	1003	934
67	21	80449	39126	0,99	-0,93	2,32	1020	946
68	18	68828	30024	1,00	-6,31	2,22	1098	1071
69	22	70497	33220	1,00	0,98	2,11	963	940
70	19	75667	36210	1,00	1,08	2,22	1017	984
71	18	77091	37273	1,00	0,13	2,16	847	813
72	19	83776	42485	0,98	-1,18	2,22	952	902
73	16	81746	41459	0,99	-0,23	2,09	1004	951
74	18	80035	40450	0,99	2,97	2,08	1059	1013
75	17	81682	42288	0,99	3,04	2,14	988	952
76	18	78469	41314	0,99	2,01	2,15	1039	1007
77	18	79302	41820	0,98	0,42	2,16	941	896
78	17	76803	40685	0,99	3,74	2,09	1052	1001
79	12	73992	41066	0,99	0,00	1,77	913	862
80	18	62453	24240	0,99	-0,06	2,15	878	831
81	17	81840	38073	0,99	-1,01	2,17	1003	951
82	17	81765	41352	0,99	3,24	2,12	1024	985
83	20	71750	32304	0,99	1,62	2,24	953	932
84	18	84601	37403	0,99	0,60	2,41	880	872
85	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0
86	13	75389	14654	1,11	1,09	1,55	1362	0
87	19	64534	9212	1,00	2,72	1,51	876	853
88	18	70779	10059	1,00	0,02	1,36	786	753
89	17	67613	9030	1,04	0,40	1,55	1006	956
90	22	58436	5076	1,02	2,03	1,88	1391	1327
91	21	69272	4839	1,09	-0,24	2,10	742	722
92	24	59710	5159	1,03	1,16	1,54	1015	965
93	24	57208	4324	1,01	1,01	1,60	1021	973
94	23	59564	5889	1,00	0,69	1,56	985	951
95	24	62904	7249	1,02	1,05	1,68	1105	1074
96	28	64127	10211	1,04	0,87	1,62	966	956
97	24	68590	9399	1,05	0,85	1,72	986	1017
98	25	65852	8628	1,06	0,05	1,71	990	976
99	23	63886	8253	1,02	0,73	1,57	1014	1008
100	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0
101	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0
102	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0
103	26	61428	6843	1,01	2,72	1,55	1052	1008
104	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0
105	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0
106	23	61802	8237	0,99	0,38	1,55	1019	998
107	25	61247	7685	1,00	1,00	1,57	1010	996
108	29	66662	8968	0,99	1,61	1,77	1044	1014
109	28	63520	9364	1,01	0,14	1,65	1055	1035
110	32	64061	9090	1,03	0,37	1,64	986	969
111	27	60222	5541	1,04	1,79	1,67	1098	1080
112	24	60015	5093	1,00	2,44	1,58	935	988
113	24	63185	6949	1,03	0,23	1,56	962	956
114	26	65235	8129	0,97	-0,18	1,61	992	984
115	20	64608	8508	1,00	1,17	1,71	1019	1009
116	23	65266	10015	1,04	-0,01	1,60	1082	1063
117	25	64045	10677	1,02	0,25	1,61	1345	1406
118	23	61785	10770	1,01	-0,29	1,59	1096	1081
119	22	62305	8418	1,01	0,70	1,59	1178	1148
120	21	69307	9503	1,03	0,50	1,70	990	971
121	24	70273	9280	1,00	0,15	1,81	1139	1090
122	19	63705	7284	0,83	1,57	1,74	1250	1185
123	19	61277	5417	1,11	0,79	1,80	1102	1054
124	19	62329	6639	1,04	0,54	1,80	994	1007

125	21	72654	8912	1,08	0,48	1,95	1142	1154
126	19	71579	8913	1,08	0,25	2,04	1119	1130
127	17	77615	8998	1,05	0,38	2,14	1116	1102
128	19	75653	10306	1,03	1,55	2,09	1160	1123
129	19	75728	10441	1,07	1,96	2,13	1126	1099
130	17	71988	8701	1,04	0,58	1,98	1246	1213
131	21	61569	6953	0,98	0,24	1,79	1211	1168
132	16	61457	8366	1,07	1,11	1,67	1097	1071
133	17	66933	10404	1,08	1,63	1,60	1125	1078
134	16	59859	7656	1,11	2,36	1,55	1220	1177
135	17	64352	11386	1,04	1,29	1,53	1145	1114
136	18	66638	10286	1,05	0,72	1,61	1125	1080
137	16	65807	10237	1,11	0,97	1,60	1151	1094
138	17	62883	10190	1,09	1,38	1,56	1171	1116
139	17	66685	11683	1,06	1,03	1,60	1151	1097
140	16	66112	12318	1,02	-0,87	1,53	1191	1133
141	17	63168	10116	1,04	-0,77	1,54	1147	1093
142	15	61456	8313	1,10	-0,77	1,61	1234	1185
143	17	63064	9230	1,05	0,00	1,55	1133	1090
144	22	65898	11275	1,08	1,18	1,52	1001	990
145	16	63874	8913	1,11	-0,55	1,65	1107	1089
146	16	65586	10456	1,16	-1,22	1,67	1223	1188
147	19	67929	12404	1,11	-1,00	1,63	1135	1105
148	18	64325	10406	1,17	-0,73	1,61	1150	1127
149	21	64939	10401	1,07	0,57	1,58	1201	1172
150	20	63681	9251	1,11	-0,15	1,59	1122	1093
151	21	66218	10738	1,05	0,09	1,58	1207	1168
152	20	66734	11440	1,12	-1,25	1,55	1169	1131
153	22	67151	12305	1,04	0,00	1,57	1185	1129
154	19	67899	11699	1,16	-0,58	1,62	1230	1169
155	20	65694	11645	1,26	0,54	1,62	1199	1162
156	18	69378	12833	1,29	0,93	1,65	1257	1207
157	20	68976	13962	1,15	2,50	1,60	1307	1243
158	22	70798	13978	1,03	0,40	1,55	1274	1219
159	20	68769	11201	1,15	0,37	1,62	1215	1159
160	19	67287	10781	1,21	0,96	1,62	1247	2392
161	19	69725	10778	1,23	2,07	1,64	1202	1158
162	24	66449	8159	1,12	3,97	1,64	1183	1150
163	26	66342	9441	1,04	-0,93	1,57	1231	1186
164	24	67322	8368	1,05	-1,21	1,71	1261	1224
165	22	74793	10865	1,08	-0,15	1,73	1139	1121
166	17	70966	9043	1,20	0,87	1,71	1281	1290
167	19	68283	10450	1,23	0,29	1,66	1209	1181
168	17	64774	7477	1,31	1,52	1,59	1201	1175
169	24	71514	10969	1,14	1,43	1,61	1220	1194
170	27	67718	7707	1,03	1,21	1,65	1206	1176
171	30	69742	7922	1,03	1,60	1,63	1213	1186
172	31	67104	8057	1,02	1,93	1,60	1227	1201
173	30	71128	9205	1,06	2,67	1,63	1147	1118
174	20	74193	8503	1,14	0,29	1,72	1258	1208
175	20	74193	8503	1,14	0,29	1,72	1162	1116
176	24	73512	6924	1,03	2,49	1,62	1285	1233
177	24	74712	7413	1,05	0,03	1,64	1228	1177
178	27	76223	9296	1,04	1,67	1,73	1188	1137
179	29	78222	11054	1,07	0,41	1,77	1169	1132
180	26	72813	8715	1,03	-0,51	1,67	1299	1272
181	26	70291	5361	1,02	-0,19	1,66	1189	1155
182	26	69459	5825	1,02	-0,87	1,59	1217	1178
183	25	70497	6365	1,01	0,43	1,60	622	541
184	26	76349	4951	1,02	0,69	1,67	892	859
185	22	74615	7315	1,00	1,30	1,64	1263	1213
186	25	76469	8680	1,02	2,63	1,59	1195	1155
187	28	75367	5989	1,03	2,19	1,61	1196	1167
188	25	78602	6515	1,05	-0,65	1,62	1142	1106
189	24	74957	5779	1,05	0,07	1,62	1299	1227
190	28	81602	7994	1,06	2,01	1,58	880	874

191	27	86316	10450	1,02	-1,53	1,54	886	877
-----	----	-------	-------	------	-------	------	-----	-----

N°	DENSITA' BILANCIA 1 (t/m ³)	DENSITA' BILANCIA 2 (t/m ³)	PRESSIONE LINEE MALTA SUP 1-4 E 9-12 (bar)	PRESSIONE LINEE MALTA INF 5-8 (bar)	PRESSIONE CONDIZIONAMENTO (bar)	FIR	FER
1	0,00	0,00	0,56	0,01	9,85	18,65	0,00
2	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,15	0,01	0,37	0,00	2,23	22,65	0,00
4	1,16	1,14	0,48	0,02	2,41	28,65	0,00
5	2,65	2,60	0,00	0,20	2,37	226,25	9,79
6	2,18	2,22	0,00	0,42	2,36	139,56	3,76
7	3,14	4,05	0,00	0,66	2,39	346,33	8,83
8	2,10	2,01	0,00	0,30	2,27	150,66	3,48
9	3,96	3,98	0,46	0,34	3,73	193,23	3,30
10	1,79	1,71	1,35	0,63	9,22	274,68	4,76
11	2,12	2,04	1,17	0,82	4,06	215,38	2,82
12	3,14	3,11	0,21	0,67	5,56	467,18	5,39
13	3,87	3,76	0,16	0,78	7,04	354,18	3,85
14	4,90	4,64	0,25	0,63	4,76	521,82	6,60
15	4,34	4,02	3,18	1,04	7,34	522,19	6,76
16	6,65	5,73	1,10	1,70	9,06	468,04	5,24
17	0,24	0,20	0,52	0,79	6,77	221,98	4,66
18	2,51	2,43	0,39	0,72	8,30	314,94	7,23
19	3,81	4,02	1,05	1,28	4,50	271,11	6,14
20	3,41	3,57	1,47	1,73	4,73	267,77	2,99
21	3,55	3,62	1,39	1,83	6,11	279,29	3,07
22	3,32	3,47	1,68	1,82	7,16	79,91	0,08
23	3,75	3,79	2,08	2,07	6,22	219,50	3,95
24	3,82	3,81	1,71	1,70	5,44	244,29	3,75
25	3,45	3,46	2,37	2,36	7,27	233,14	3,68
26	4,07	4,14	1,78	2,10	5,11	240,41	3,29
27	0,93	1,09	1,32	0,98	8,16	274,27	5,20
28	2,06	2,53	1,64	1,45	5,25	149,56	2,25
29	3,93	4,10	1,98	2,07	6,00	179,13	2,81
30	2,43	2,34	1,98	1,34	6,11	151,60	4,03
31	2,47	2,36	4,05	2,25	6,97	152,85	3,90
32	2,48	2,35	2,92	3,09	6,41	92,84	2,84
33	2,51	2,41	1,77	1,94	6,25	101,13	2,85
34	2,75	2,67	2,33	2,70	6,16	108,57	3,40
35	2,60	2,56	2,57	2,79	5,90	95,21	2,74
36	2,61	2,60	2,77	2,92	6,60	116,96	3,35
37	2,56	2,58	2,28	2,55	6,66	109,82	3,03
38	2,41	2,51	2,60	2,86	6,28	122,44	3,20
39	0,34	0,35	2,40	2,77	5,90	116,70	3,42
40	2,45	2,52	3,45	2,18	6,34	102,37	2,52
41	2,57	2,66	2,83	2,89	6,66	110,38	3,43
42	2,43	2,51	2,57	2,96	6,74	129,26	3,91
43	2,51	2,60	2,48	2,75	6,35	138,69	3,88
44	2,78	2,82	3,17	2,74	6,18	94,71	2,73
45	2,35	2,37	3,18	3,11	6,60	143,38	3,62
46	2,59	2,56	3,36	3,35	6,30	186,93	4,85
47	2,50	2,43	3,54	3,55	6,48	168,77	4,37
48	2,52	2,42	3,67	3,82	6,43	114,50	3,26
49	2,56	2,43	3,77	3,40	6,49	104,40	3,09
50	2,54	2,39	3,54	3,03	7,29	111,48	3,10
51	2,72	2,55	3,38	3,81	6,84	99,88	3,04
52	2,61	2,45	3,64	4,04	6,90	114,71	3,54
53	2,61	2,43	3,37	3,87	6,75	85,59	2,58
54	2,71	2,52	3,54	3,54	7,09	88,37	2,62
55	2,50	2,20	3,38	3,27	7,05	161,24	5,90
56	2,92	2,69	3,42	2,98	6,59	518,36	15,55
57	2,66	2,45	3,92	3,96	7,02	499,43	14,53
58	2,90	2,71	3,63	3,43	6,74	525,74	12,97
59	2,41	2,26	3,91	3,73	6,53	535,84	14,02

60	2,04	1,89	3,53	3,01	7,60	491,70	13,77
61	2,54	2,36	3,70	3,77	6,68	562,62	15,61
62	2,34	2,14	3,63	3,59	7,51	466,54	15,58
63	2,68	2,50	3,27	3,31	7,18	513,28	14,68
64	2,95	2,80	3,47	3,61	6,66	543,79	17,15
65	2,52	2,32	3,96	3,94	7,37	516,89	15,41
66	2,30	2,13	3,72	3,34	7,03	537,45	14,49
67	2,60	2,40	4,21	3,70	7,38	530,42	13,54
68	2,54	2,47	3,42	3,48	6,54	560,36	16,15
69	2,42	2,36	2,86	2,91	6,53	494,03	12,04
70	2,30	2,22	3,05	3,19	6,51	499,33	15,01
71	2,19	2,10	4,18	3,21	6,94	527,32	16,63
72	2,40	2,26	3,40	3,51	9,57	487,10	15,87
73	2,68	2,51	3,47	3,23	9,60	488,83	17,19
74	2,68	2,55	3,59	3,31	7,08	504,13	15,49
75	2,55	2,44	3,74	3,83	9,29	494,85	16,05
76	2,64	2,55	3,72	3,79	7,58	507,88	16,03
77	1,99	1,83	3,94	3,45	9,26	531,39	17,18
78	2,54	2,43	3,47	3,32	6,42	549,59	18,13
79	2,25	2,13	3,70	3,37	7,06	509,60	23,86
80	16,17	15,29	4,80	4,67	9,67	591,75	18,41
81	2,58	2,43	3,88	3,96	9,66	560,93	18,98
82	2,57	2,48	4,04	3,70	7,69	530,74	17,62
83	2,32	2,27	4,08	4,05	7,29	541,36	15,97
84	2,22	2,20	4,08	4,22	6,66	595,81	18,46
85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
86	3,61	0,00	0,00	2,02	7,70	207,98	28,29
87	1,39	1,35	0,00	2,59	4,90	68,84	5,07
88	1,66	1,61	2,25	2,22	5,13	125,72	5,93
89	2,66	2,53	2,83	3,02	5,25	72,77	5,17
90	3,22	3,06	2,12	2,98	5,12	260,80	5,38
91	1,61	1,57	2,81	3,23	4,85	340,21	5,99
92	2,71	2,58	2,99	3,16	4,81	80,18	6,00
93	2,68	2,56	3,74	3,09	4,83	94,65	6,62
94	2,46	2,38	3,94	2,90	4,63	96,07	6,13
95	2,75	2,67	3,22	3,10	5,10	116,75	6,86
96	2,41	2,39	2,71	2,91	5,30	96,70	6,21
97	2,37	2,53	2,85	3,03	5,07	133,67	6,32
98	2,54	2,51	2,80	3,00	4,81	104,60	6,99
99	2,55	2,54	2,88	3,28	4,77	103,05	7,15
100	0,00	0,00	2,71	0,00	0,00	0,00	0,00
101	0,00	0,00	2,79	0,00	0,00	0,00	0,00
102	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	101,62	0,00
103	2,66	2,55	0,00	4,08	4,82	0,00	7,40
104	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
105	0,00	0,00	3,66	0,00	0,00	100,18	0,00
106	2,56	2,51	0,00	3,55	4,63	98,94	6,93
107	2,67	2,63	0,00	3,69	4,62	92,06	6,88
108	2,63	2,55	3,21	3,62	4,92	107,88	6,68
109	2,68	2,64	3,27	3,73	4,92	97,96	6,92
110	2,25	2,25	3,33	3,71	5,17	100,73	6,48
111	2,71	2,71	3,53	3,80	4,63	81,68	7,09
112	10,33	10,53	3,53	4,01	4,23	83,28	6,97
113	2,33	2,38	3,52	4,47	4,43	90,24	7,13
114	2,18	2,21	3,53	4,55	4,56	99,83	7,02
115	2,50	2,49	3,92	3,57	4,34	101,22	6,98
116	2,79	2,75	4,29	4,23	4,61	102,24	7,15
117	4,17	4,40	3,22	4,57	4,80	104,82	6,93
118	2,90	2,86	3,87	4,92	4,78	112,57	6,85
119	1,26	1,23	4,19	5,30	4,59	99,53	7,29
120	2,52	2,49	4,38	5,38	4,58	100,20	7,15
121	2,96	2,83	4,26	5,29	5,02	99,04	7,38
122	3,08	2,91	4,70	3,91	4,40	90,48	6,65
123	3,00	2,87	4,55	4,32	4,38	86,02	7,36
124	2,55	2,58	3,41	4,02	4,20	93,07	7,04
125	2,93	2,97	3,72	3,61	4,81	94,32	7,17

126	2,82	2,86	3,73	4,93	4,88	90,11	7,18
127	2,87	2,84	3,47	3,96	5,03	97,40	6,77
128	2,93	2,86	4,56	4,03	4,95	107,36	6,81
129	2,83	2,76	3,54	4,22	4,95	108,49	6,84
130	3,15	3,07	3,47	4,96	4,71	109,95	6,82
131	3,26	3,16	3,64	4,77	4,47	179,49	7,44
132	3,33	3,30	4,69	4,38	4,38	119,01	7,28
133	1,52	1,48	4,62	4,98	4,48	222,68	7,16
134	3,12	3,01	3,90	4,42	4,24	110,26	7,14
135	2,84	2,77	4,58	4,09	4,41	114,96	7,36
136	2,81	2,71	4,32	4,22	4,54	128,95	7,29
137	2,91	2,77	4,07	4,39	4,44	217,88	7,25
138	2,99	2,85	3,72	4,75	4,52	112,33	7,21
139	2,89	2,75	4,10	4,40	4,64	111,00	7,29
140	3,02	2,87	4,30	4,59	4,50	110,15	7,38
141	3,03	2,89	3,93	4,77	4,32	127,51	7,36
142	3,14	3,02	4,28	4,45	4,29	120,73	7,26
143	1,87	1,82	4,64	4,51	4,44	71,77	7,35
144	2,33	2,32	4,30	4,50	4,58	170,96	6,25
145	2,59	2,58	4,07	4,00	4,53	162,68	6,46
146	3,05	2,96	4,12	3,95	4,47	114,00	6,87
147	2,84	2,76	3,50	4,20	4,65	117,76	8,28
148	3,07	3,00	3,39	3,79	4,64	112,46	8,49
149	3,01	2,94	3,51	3,39	5,11	111,59	8,31
150	2,78	2,72	3,24	3,74	5,14	100,21	7,81
151	3,19	3,08	2,84	3,95	4,64	100,93	7,70
152	2,95	2,86	3,17	3,72	4,60	99,10	6,69
153	3,05	2,91	3,31	4,12	4,60	107,71	7,06
154	3,04	2,88	3,29	4,20	4,72	101,61	7,22
155	3,12	3,03	3,63	3,31	4,89	103,57	7,01
156	3,58	3,55	3,64	3,31	5,02	96,51	6,48
157	3,44	3,27	2,79	3,89	4,55	96,25	6,77
158	3,10	2,99	2,75	4,02	4,56	109,95	6,81
159	3,12	2,98	3,21	4,28	4,87	111,85	7,12
160	3,07	5,87	3,53	3,87	4,94	109,96	6,88
161	3,01	2,91	4,04	3,85	5,36	109,96	7,04
162	3,16	3,07	3,55	4,12	5,35	121,17	7,00
163	3,21	3,08	4,60	4,93	5,20	113,69	7,31
164	3,29	3,21	3,87	4,60	5,32	139,23	7,17
165	2,27	3,34	4,46	5,46	4,44	90,59	6,42
166	3,51	3,62	4,24	3,66	4,71	145,53	7,04
167	3,06	2,98	4,75	4,31	4,68	103,14	7,33
168	3,10	3,04	3,15	4,60	4,52	105,32	7,41
169	3,07	3,00	3,76	4,65	5,54	104,59	7,29
170	3,12	3,03	3,97	4,68	5,56	104,71	7,17
171	3,17	3,10	4,07	5,02	6,20	114,37	7,36
172	2,92	2,86	4,24	5,25	6,30	104,54	7,03
173	2,85	2,80	4,48	5,36	6,30	101,63	7,36
174	3,27	3,14	4,55	4,38	5,52	129,53	7,44
175	3,27	3,14	4,77	4,38	5,52	129,53	7,44
176	3,33	3,19	3,94	4,39	5,82	129,38	7,32
177	3,18	3,05	3,94	4,61	5,71	100,47	7,08
178	3,02	2,89	3,41	4,73	6,12	102,85	7,42
179	3,04	2,94	3,59	5,24	6,29	93,14	6,79
180	3,50	3,39	3,23	4,79	6,10	105,12	6,90
181	3,08	3,00	4,01	4,56	6,07	102,55	7,46
182	3,22	3,13	3,73	4,94	5,92	99,84	7,44
183	1,75	1,78	3,63	4,85	5,92	105,70	7,62
184	1,57	1,51	3,67	4,27	6,06	104,54	7,32
185	3,21	3,08	3,30	4,45	5,79	112,53	7,18
186	3,17	3,06	3,98	4,18	6,40	113,45	7,29
187	3,13	3,06	3,30	4,05	6,50	114,19	6,74
188	2,98	2,88	3,55	4,68	6,22	117,27	6,60
189	3,42	3,23	3,48	4,25	6,49	119,24	6,83
190	2,31	2,28	3,97	4,02	6,47	115,92	7,08
191	2,35	2,30	3,71	3,71	6,30	110,15	6,76

N°	A (m ³)	B (m ³)	(A+B) (m ³)	DOSAGGIO (%)	ACQUA (m ³)	POLIMERO 1 (m ³)	POLIMERO 2 (m ³)	POLIMERO AP (m ³)	ACQUA STATORE (m ³)
1	0,3	0,0	0,3	0,00	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
2	2,6	0,0	2,6	0,00	13,7	0,0	0,0	0,0	0,3
3	2,6	0,0	2,6	0,06	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
4	11,7	0,5	12,2	4,20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
5	13,8	0,5	14,3	3,83	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
6	18,1	0,8	18,9	4,23	0,0	0,7	0,8	0,0	0,3
7	21,6	1,1	22,7	4,88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
8	10,3	0,6	10,9	5,86	0,0	2,2	2,2	0,0	0,2
9	12,0	0,5	12,5	4,08	0,0	1,2	1,7	0,0	0,5
10	11,8	0,3	12,2	2,68	0,0	2,6	2,6	0,0	0,1
11	31,6	0,7	32,3	2,12	0,0	3,1	3,2	0,0	1,8
12	14,0	0,5	14,5	3,35	0,0	0,3	0,3	0,0	1,5
13	19,7	2,3	22,0	10,31	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4
14	40,6	5,9	46,5	12,64	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9
15	18,4	1,1	19,6	5,75	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
16	28,0	2,2	30,2	7,41	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
17	11,0	0,7	11,7	5,78	0,0	0,2	0,2	0,1	0,3
18	31,8	1,9	33,7	5,53	0,0	0,1	1,7	0,1	0,6
19	38,1	2,2	40,4	5,50	0,0	0,7	0,7	0,1	0,3
20	40,4	2,3	42,7	5,33	0,0	0,6	0,6	0,1	0,3
21	34,8	2,0	36,8	5,39	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
22	32,8	1,9	34,7	5,47	0,0	1,6	1,6	0,1	0,4
23	42,0	2,6	44,6	5,83	0,0	0,6	0,6	0,5	0,2
24	33,7	2,0	35,7	5,55	0,0	0,6	0,6	0,1	0,3
25	32,5	2,0	34,5	5,70	0,0	0,7	0,7	0,1	0,2
26	34,6	1,8	36,4	4,92	0,0	0,9	0,9	0,1	0,3
27	21,6	1,3	22,9	5,58	0,0	0,6	0,6	0,0	0,3
28	23,1	1,5	24,6	6,05	0,0	0,7	0,7	0,0	0,2
29	30,2	1,8	32,0	5,60	0,0	0,8	0,8	0,0	0,3
30	24,5	1,5	26,0	5,91	106,7	0,7	0,7	0,2	0,3
31	23,7	1,4	25,1	5,47	104,4	0,5	0,5	0,0	0,3
32	31,2	1,8	33,0	5,52	114,3	0,3	0,3	0,1	0,3
33	26,8	1,6	28,4	5,74	115,6	0,3	0,3	0,1	0,2
34	25,6	1,6	27,2	5,77	128,1	0,3	0,3	0,4	0,3
35	26,1	1,7	27,7	5,96	118,1	0,3	0,3	0,1	0,3
36	26,1	1,6	27,7	5,90	123,3	0,3	0,3	0,2	0,3
37	29,2	2,5	31,7	7,92	117,6	0,3	0,3	0,0	1,0
38	27,1	1,6	28,6	5,47	115,4	0,3	0,3	0,0	0,3
39	21,2	1,1	22,4	4,99	109,4	0,3	0,3	0,1	0,3
40	22,8	1,3	24,1	5,52	136,9	0,5	0,1	0,1	0,4
41	30,1	1,8	31,9	5,78	140,9	0,7	0,0	0,1	0,4
42	28,3	1,7	30,0	5,57	138,0	0,6	0,0	0,0	0,4
43	31,0	1,7	32,7	5,32	123,0	0,6	0,0	0,0	0,4
44	27,2	1,6	28,9	5,70	128,5	0,6	0,0	0,0	0,3
45	28,4	1,8	30,2	5,98	123,9	0,6	0,0	0,0	0,2
46	28,5	1,8	30,3	5,87	119,0	0,6	0,0	0,1	0,2
47	29,2	1,8	31,0	5,87	125,4	0,8	0,0	0,0	0,2
48	27,3	1,7	29,0	5,91	132,3	0,8	0,0	0,0	0,3
49	28,1	1,7	29,8	5,80	135,2	0,8	0,0	0,0	0,3
50	26,2	1,5	27,7	5,40	136,1	0,8	0,0	0,0	0,3
51	25,6	1,6	27,2	5,79	131,5	0,8	0,6	0,2	0,2
52	27,3	1,5	28,9	5,36	130,0	0,7	0,7	0,3	0,7
53	28,7	1,7	30,4	5,61	131,4	0,7	0,0	0,0	0,4
54	28,6	1,6	30,2	5,38	124,2	0,6	0,0	0,1	0,4
55	28,7	1,7	30,4	5,48	121,9	0,8	0,4	0,1	0,4
56	25,9	2,4	28,3	8,46	101,6	1,3	1,5	0,1	0,2
57	27,3	2,0	29,3	6,74	92,3	1,4	1,4	0,0	0,2
58	26,5	1,6	28,1	5,67	92,0	1,4	1,4	0,0	0,2
59	27,8	1,7	29,4	5,74	89,8	1,3	1,3	0,0	0,2
60	19,6	1,0	20,6	4,99	74,6	1,1	1,1	0,0	0,3

61	29,9	2,0	31,9	6,20	88,8	1,3	0,7	0,0	0,3
62	31,1	1,7	32,8	5,29	104,4	1,6	0,2	0,0	0,3
63	29,7	1,6	31,3	5,19	101,0	1,5	0,7	0,0	0,6
64	30,6	1,8	32,4	5,50	97,2	1,7	1,2	0,0	0,3
65	33,7	2,0	35,7	5,67	95,5	1,2	1,2	0,0	0,3
66	28,5	1,7	30,3	5,71	97,3	1,3	1,3	0,0	0,2
67	31,7	2,0	33,7	5,89	96,3	1,2	1,2	0,0	0,2
68	29,8	1,8	31,6	5,59	107,1	1,4	1,3	0,1	0,4
69	21,9	1,3	23,2	5,49	95,8	1,0	1,0	0,0	0,2
70	20,9	1,2	22,1	5,57	102,9	0,8	0,8	0,0	0,4
71	31,0	1,8	32,8	5,52	96,1	0,5	0,5	0,0	0,2
72	31,6	1,9	33,5	5,58	106,6	0,5	0,5	0,0	0,2
73	28,0	1,7	29,7	5,79	112,1	0,6	0,6	0,0	0,4
74	29,3	1,8	31,1	5,78	109,9	0,5	0,5	0,0	0,3
75	31,6	1,9	33,5	5,79	102,2	0,5	0,5	0,0	0,3
76	30,1	1,8	31,9	5,68	101,1	0,3	0,7	0,0	0,2
77	31,6	2,0	33,6	5,92	97,0	0,5	0,5	0,0	0,4
78	29,4	1,8	31,3	5,85	111,0	0,6	0,6	0,0	0,4
79	29,1	1,7	30,8	5,56	105,7	0,8	0,8	0,2	0,4
80	30,9	1,9	32,8	5,71	92,0	0,9	0,9	0,0	0,2
81	30,8	1,9	32,6	5,75	103,0	1,0	1,0	0,0	0,3
82	29,7	1,9	31,6	5,88	103,5	1,2	1,2	0,1	0,2
83	29,7	1,8	31,5	5,63	95,1	1,0	1,0	0,0	0,5
84	28,0	1,7	29,6	5,65	93,9	0,9	0,9	0,0	0,3
85	0,0	0,0	0,0	#DIV/0!	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
86	30,0	1,8	31,8	5,68	33,2	1,0	0,0	0,0	189,6
87	29,9	2,0	31,8	6,14	47,1	1,4	0,0	0,0	112,6
88	26,3	1,7	28,1	6,19	41,0	1,2	0,0	0,0	150,8
89	25,6	1,7	27,3	6,35	37,9	1,1	0,0	0,0	169,8
90	28,7	2,0	30,7	6,63	40,5	1,2	0,0	0,0	177,8
91	27,6	1,8	29,5	6,20	44,6	1,3	0,0	0,0	153,3
92	25,7	1,6	27,4	5,99	38,2	1,1	0,0	0,0	168,1
93	26,4	1,7	28,1	6,04	42,1	1,3	0,0	0,0	149,8
94	25,8	1,6	27,4	5,82	48,1	1,4	0,0	0,0	142,6
95	27,5	1,8	29,3	5,99	50,2	1,5	0,0	0,0	158,6
96	26,3	1,7	27,9	5,97	46,9	1,4	0,0	0,0	142,3
97	27,1	1,7	28,8	5,92	45,3	1,4	0,0	0,0	162,8
98	26,7	1,7	28,4	5,82	44,8	1,3	0,0	0,0	156,1
99	26,3	1,6	27,9	5,75	44,4	1,3	0,0	0,0	152,4
100	28,2	1,7	29,9	5,71	42,4	1,2	0,0	0,0	158,4
101	0,0	0,0	0,0	#DIV/0!	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
102	0,0	0,0	0,0	#DIV/0!	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
103	28,2	1,8	30,1	6,03	42,5	1,2	0,0	0,0	172,3
104	0,0	0,0	0,0	#DIV/0!	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
105	0,0	0,0	0,0	#DIV/0!	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
106	29,8	1,7	31,5	5,46	43,2	1,3	0,0	0,0	173,6
107	28,2	1,7	29,9	5,78	42,0	1,2	0,0	0,0	155,7
108	27,9	1,6	29,6	5,52	43,5	1,3	0,0	0,0	147,6
109	27,3	1,7	29,1	5,98	46,0	1,4	0,0	0,0	149,9
110	27,7	1,8	29,5	6,05	43,2	1,3	0,0	0,0	133,4
111	27,7	1,7	29,4	5,90	43,3	1,3	0,0	0,0	157,9
112	28,4	1,7	30,1	5,66	35,5	1,1	0,0	0,0	141,3
113	30,7	1,9	32,6	5,79	34,9	1,1	0,0	0,0	135,7
114	28,3	1,7	30,1	5,79	38,4	1,1	0,0	0,0	138,3
115	31,3	1,9	33,2	5,78	43,1	1,3	0,0	0,0	159,8
116	28,6	1,8	30,5	6,02	41,3	1,2	0,0	0,0	128,9
117	28,4	1,7	30,1	5,55	46,1	1,3	0,0	0,0	120,1
118	28,1	1,9	29,9	6,23	44,6	1,3	0,0	0,0	124,9
119	33,2	1,9	35,0	5,41	50,6	1,5	0,0	0,0	137,9
120	27,8	1,7	29,5	5,61	41,0	1,2	0,0	0,0	141,7
121	28,3	1,8	30,1	5,88	41,1	1,2	0,0	0,0	140,1
122	28,5	1,7	30,2	5,70	42,6	1,3	0,0	0,0	170,4
123	26,7	1,7	28,5	6,05	36,5	1,1	0,0	0,0	151,7
124	27,1	1,6	28,7	5,58	41,7	1,3	0,0	0,0	107,7
125	25,9	1,6	27,5	5,78	39,9	1,2	0,0	0,0	143,6
126	33,4	2,0	35,4	5,74	38,8	1,2	0,0	0,0	166,2

127	28,7	1,7	30,4	5,55	38,0	1,1	0,0	0,0	161,6
128	28,6	1,7	30,3	5,60	42,4	1,3	0,0	0,0	147,7
129	28,5	1,7	30,2	5,54	42,3	1,3	0,0	0,0	143,2
130	28,7	1,7	30,4	5,62	50,6	1,5	0,0	0,0	150,5
131	25,5	1,7	27,2	6,10	43,9	1,3	0,0	0,0	116,2
132	25,0	1,6	26,6	5,98	46,9	1,4	0,0	0,0	126,9
133	26,5	1,7	28,2	5,90	46,5	1,4	0,0	0,0	57,3
134	26,5	1,6	28,1	5,80	49,0	1,5	0,0	0,0	124,8
135	31,3	2,0	33,2	5,94	44,8	1,4	0,0	0,0	122,8
136	25,6	1,6	27,2	5,88	47,6	1,4	0,0	0,0	116,0
137	24,6	1,5	26,2	5,89	46,9	1,4	0,0	0,0	127,0
138	26,6	1,7	28,2	5,93	52,1	1,6	0,0	0,0	119,2
139	24,8	1,5	26,3	5,83	47,1	1,2	0,0	0,0	124,4
140	25,6	1,6	27,2	5,88	47,2	1,2	0,0	0,0	135,6
141	25,5	1,6	27,1	5,90	45,4	1,1	0,0	0,0	129,3
142	25,8	1,6	27,4	5,87	51,3	1,3	0,0	0,0	133,3
143	30,8	1,7	32,5	5,20	51,7	1,0	0,0	0,0	141,2
144	26,6	1,6	28,2	5,73	34,9	0,9	0,0	0,0	92,5
145	24,6	1,3	25,9	4,86	47,8	1,4	0,0	0,0	123,3
146	24,0	1,4	25,4	5,52	50,3	1,5	0,0	0,0	134,8
147	25,2	1,5	26,7	5,57	43,4	1,3	0,0	0,0	135,4
148	25,4	1,6	27,0	5,82	41,7	1,3	0,0	0,0	136,0
149	30,2	1,8	32,1	5,67	43,2	1,3	0,0	0,0	126,0
150	27,4	1,7	29,1	5,72	46,7	1,4	0,0	0,0	128,9
151	26,6	1,6	28,2	5,72	43,7	1,3	0,0	0,0	134,5
152	25,2	1,4	26,7	5,41	46,0	1,4	0,0	0,0	123,9
153	25,2	1,5	26,7	5,58	45,2	1,4	0,0	0,0	129,6
154	25,1	1,5	26,6	5,50	47,4	1,4	0,0	0,0	131,9
155	24,8	1,4	26,2	5,38	45,3	1,3	0,0	0,0	110,6
156	25,2	1,4	26,6	5,22	49,9	1,5	0,0	0,0	106,3
157	28,4	1,7	30,1	5,58	45,0	1,3	0,0	0,0	117,0
158	26,1	1,5	27,6	5,36	46,4	1,4	0,0	0,0	110,8
159	27,3	1,7	29,0	5,80	49,3	1,5	0,0	0,0	113,0
160	25,4	1,5	26,8	5,54	48,3	1,4	0,0	0,0	109,9
161	27,3	1,7	29,0	5,70	50,2	1,5	0,0	0,0	113,4
162	28,1	1,8	29,9	6,00	49,2	1,5	0,0	0,0	113,3
163	25,4	1,6	27,0	5,98	49,9	1,5	0,0	0,0	118,6
164	27,5	1,5	29,0	5,27	53,1	1,6	0,0	0,0	122,4
165	27,2	1,6	28,8	5,52	40,4	1,2	0,0	0,0	99,4
166	24,0	1,3	25,3	5,20	49,6	1,5	0,0	0,0	143,2
167	24,0	1,5	25,5	5,72	45,7	1,4	0,0	0,0	128,8
168	24,9	1,5	26,3	5,54	45,6	1,4	0,0	0,0	134,3
169	23,6	1,4	25,0	5,73	47,2	1,4	0,0	0,0	119,1
170	23,9	1,4	25,3	5,72	48,5	1,5	0,0	0,0	117,0
171	27,9	1,8	29,7	5,97	47,3	1,4	0,0	0,0	112,0
172	25,0	1,6	26,6	5,87	48,1	1,4	0,0	0,0	112,5
173	25,0	1,6	26,5	5,97	45,2	1,4	0,0	0,0	105,7
174	24,1	1,4	25,5	5,60	46,6	1,4	0,0	0,0	136,2
175	22,6	1,4	24,0	5,82	42,4	1,3	0,0	0,0	115,7
176	26,1	1,6	27,7	5,76	49,4	1,5	0,0	0,0	126,1
177	23,8	1,4	25,2	5,53	45,8	1,4	0,0	0,0	126,7
178	23,7	1,4	25,1	5,71	45,7	1,4	0,0	0,0	114,9
179	26,0	1,7	27,6	5,97	45,5	1,4	0,0	0,0	122,6
180	25,7	1,6	27,3	5,75	48,4	1,4	0,0	0,0	123,4
181	24,1	1,5	25,6	5,85	44,4	1,3	0,0	0,0	125,0
182	23,7	1,5	25,2	5,83	43,1	1,3	0,0	0,0	123,4
183	23,2	1,5	24,6	5,92	44,8	1,3	0,0	0,0	141,1
184	17,9	1,1	19,1	6,01	34,7	1,0	0,0	0,0	84,6
185	23,9	1,5	25,4	5,77	49,8	1,5	0,0	0,0	147,6
186	28,1	1,8	30,0	6,05	48,5	1,4	0,0	0,0	130,7
187	23,9	1,5	25,4	5,96	53,3	1,6	0,0	0,0	115,7
188	24,4	1,5	26,0	5,85	51,7	1,5	0,0	0,0	111,6
189	23,3	1,5	24,8	5,96	56,2	1,7	0,0	0,0	121,9
190	23,1	1,4	24,5	5,71	52,8	1,6	0,0	0,0	114,1
191	24,9	1,5	26,4	5,74	50,9	1,5	0,0	0,0	134,6

N°	CONDAT GR 30 EP2 (kg)	CONDAT HBW (kg)	CONDAT WR89 (kg)	CONSUMO TBM (kWh)	Cu	FRESABILITA' ((mm/rot)/MN)	Livello avanzamento
1	19,8	45,7	5028,6	342527,5	0,01	0,82	0,21
2	32,5	62,0	5935,7	13351,0	0,12	0,00	0,69
3	42,5	80,9	905,3	22331,6	0,11	0,27	0,73
4	14,9	33,0	1538,7	31074,4	0,03	0,26	0,04
5	43,9	82,9	1139,9	18276,5	0,19	0,22	0,34
6	37,9	77,0	607,3	23794,4	0,05	0,26	0,27
7	58,9	119,2	403,0	20843,0	0,22	0,17	1,51
8	54,8	114,6	456,2	26483,8	0,09	0,30	0,77
9	72,9	131,4	577,6	24612,4	0,13	0,34	0,92
10	39,7	84,0	526,8	20925,3	0,18	0,32	0,80
11	76,5	159,6	186,0	40462,4	0,08	0,22	0,64
12	58,4	116,0	0,0	31622,9	0,11	0,21	0,21
13	88,3	173,1	131,9	42029,1	0,06	0,24	1,44
14	74,4	159,0	325,8	23362,1	0,12	0,30	0,77
15	43,3	100,9	524,2	18032,1	0,20	0,32	0,70
16	46,8	94,4	208,7	82700,5	0,03	0,22	0,04
17	34,7	70,7	131,0	29554,6	0,03	0,34	0,94
18	109,4	211,2	181,5	25859,0	0,17	0,18	0,97
19	40,9	85,0	235,0	17352,8	0,26	0,26	0,92
20	35,5	69,4	196,3	18761,5	0,19	0,21	0,47
21	33,1	64,1	378,5	15136,2	0,13	0,17	0,98
22	72,8	140,5	639,7	24794,1	0,13	0,13	0,64
23	28,1	54,4	683,7	10656,4	0,42	0,29	1,18
24	32,9	61,7	612,1	15706,0	0,28	0,24	1,22
25	24,3	40,9	388,5	12195,0	0,24	0,23	0,89
26	40,2	67,4	597,5	15037,1	0,15	0,22	0,23
27	34,2	61,7	1206,1	32555,9	0,02	0,37	1,00
28	38,0	67,8	317,7	15686,0	0,22	0,36	0,65
29	29,2	51,8	330,8	18591,5	0,09	0,27	0,42
30	23,9	40,1	475,0	15396,9	0,30	0,25	0,66
31	36,2	64,5	477,7	22243,2	0,10	0,25	0,43
32	28,8	46,8	331,5	16413,6	0,28	0,21	0,52
33	23,6	38,9	584,6	20100,6	0,13	0,22	0,17
34	41,6	72,2	561,3	16891,9	0,28	0,20	0,61
35	24,7	41,2	634,6	14264,0	0,33	0,24	0,73
36	26,1	33,6	582,2	14498,2	0,31	0,22	0,81
37	64,4	92,8	656,7	28462,0	0,04	0,22	1,17
38	27,0	44,7	520,2	17302,4	0,38	0,23	1,46
39	36,1	60,4	533,9	34778,5	0,02	0,23	0,27
40	29,1	50,4	489,5	15825,4	0,17	0,27	0,30
41	27,3	47,5	533,7	15905,8	0,41	0,21	1,17
42	28,0	48,4	406,4	16986,6	0,29	0,00	0,98
43	27,8	47,7	392,1	16577,9	0,21	0,23	1,65
44	24,5	42,7	403,3	13832,0	0,33	0,27	0,96
45	22,1	38,5	418,4	13394,8	0,48	0,27	1,38
46	19,0	38,4	397,5	13940,8	0,42	0,27	1,45
47	19,5	37,6	405,9	13680,9	0,30	0,26	1,01
48	24,1	41,5	419,5	14263,9	0,49	0,22	1,56
49	32,3	46,2	398,9	15701,6	0,33	0,21	0,90
50	30,3	43,2	385,0	16049,7	0,36	0,22	1,01
51	24,6	43,7	405,2	13602,4	0,38	0,23	0,83
52	23,2	40,4	390,2	12944,1	0,58	0,22	1,70
53	46,4	81,7	591,2	20574,1	0,21	0,24	0,83
54	7,0	40,0	575,9	12674,5	0,35	0,24	1,14
55	33,3	71,1	589,5	22391,9	0,11	0,19	1,58
56	13,3	35,7	559,9	14019,0	0,53	0,22	1,42
57	17,5	34,8	472,4	10765,8	0,44	0,24	0,94
58	20,8	23,9	324,4	9629,3	0,44	0,28	0,94
59	19,4	35,8	552,0	8907,9	0,51	0,27	1,23
60	69,2	33,1	582,9	19074,7	0,07	0,24	0,95
61	17,2	35,3	559,4	11725,1	0,35	0,24	0,58
62	27,1	51,5	645,4	16844,3	0,20	0,20	1,45
63	34,3	51,5	626,4	16048,0	0,12	0,24	0,53

64	21,2	47,6	807,6	11711,7	0,40	0,23	1,18
65	17,4	36,3	984,9	9658,0	0,58	0,25	1,48
66	21,0	43,8	652,0	10679,0	0,49	0,27	1,47
67	16,1	35,1	873,3	9553,2	0,41	0,27	0,80
68	22,1	55,2	1101,1	15705,9	0,19	0,27	1,00
69	16,8	39,2	938,7	9757,0	0,39	0,31	1,01
70	22,1	52,1	747,0	10860,7	0,42	0,25	1,03
71	18,8	43,0	1014,2	12143,3	0,28	0,23	0,56
72	23,4	60,8	1043,8	15974,1	0,36	0,22	1,15
73	22,4	56,2	679,2	14638,8	0,32	0,20	1,25
74	20,1	42,4	711,1	11144,2	0,57	0,23	1,63
75	20,8	41,2	833,9	10515,2	0,57	0,21	1,49
76	20,9	44,1	497,2	10868,0	0,46	0,23	1,05
77	23,0	50,1	391,6	15544,9	0,37	0,23	1,60
78	26,2	59,5	404,1	14508,7	0,52	0,22	2,07
79	37,9	73,6	884,9	19689,8	0,20	0,16	0,84
80	27,7	58,3	373,5	5503,7	0,49	0,28	1,79
81	26,6	51,9	388,6	13474,5	0,51	0,20	2,28
82	24,3	50,3	403,8	12797,5	0,35	0,21	1,77
83	28,4	53,5	351,4	12357,0	0,36	0,28	1,20
84	26,4	42,5	378,9	11400,0	0,56	0,21	1,69
85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
86	337,7	532,4	388,3	53327,6	0,03	0,18	0,37
87	70,2	89,3	1193,1	14593,0	0,18	0,30	0,52
88	56,5	75,6	501,7	9950,9	0,41	0,26	0,94
89	33,1	40,8	522,9	8763,7	0,44	0,25	0,85
90	40,2	58,5	836,5	12571,4	0,18	0,38	0,85
91	37,7	41,9	620,0	9190,7	0,38	0,30	0,92
92	26,6	32,2	776,9	5484,7	0,37	0,41	0,82
93	26,9	39,1	843,8	6252,6	0,39	0,41	1,00
94	33,7	46,3	973,8	7011,8	0,36	0,39	0,71
95	29,7	48,2	889,1	7324,5	0,29	0,38	0,93
96	25,4	38,3	665,1	6724,0	0,41	0,44	0,88
97	51,4	70,9	1279,8	9853,6	0,39	0,36	1,12
98	30,4	35,2	652,0	7167,4	0,41	0,38	1,11
99	30,2	30,4	636,7	6513,4	0,45	0,36	0,99
100	25,4	30,5	728,0	34100,6	0,07	0,00	0,15
101	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
102	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
103	21,4	23,1	447,5	5932,7	0,44	0,42	0,84
104	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
105	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
106	32,6	35,9	413,9	7365,0	0,42	0,37	1,25
107	30,9	42,6	285,9	9123,9	0,19	0,41	1,04
108	15,1	27,5	278,0	7009,2	0,40	0,43	0,90
109	15,7	27,5	272,8	6946,3	0,33	0,45	0,63
110	15,3	23,7	552,2	5741,7	0,44	0,50	1,05
111	15,3	23,2	579,9	5263,5	0,51	0,44	1,19
112	25,4	46,2	635,8	7443,7	0,19	0,40	1,31
113	15,0	27,9	497,2	5900,8	0,46	0,37	0,98
114	17,6	30,0	491,6	6565,6	0,42	0,39	0,88
115	27,4	43,8	627,3	10350,0	0,35	0,31	0,87
116	17,6	26,6	540,9	7111,3	0,47	0,35	0,96
117	42,3	63,0	371,0	10022,6	0,21	0,38	1,18
118	21,7	30,3	372,6	6970,4	0,47	0,36	1,09
119	23,7	32,9	441,4	14570,9	0,09	0,36	0,10
120	30,4	46,5	404,1	14159,0	0,17	0,30	0,46
121	19,9	30,0	367,7	6222,4	0,50	0,34	1,20
122	47,5	63,8	491,8	11222,3	0,24	0,30	0,61
123	23,1	27,6	504,3	5361,1	0,58	0,31	1,46
124	42,5	53,7	398,2	12571,5	0,32	0,30	1,03
125	26,7	32,8	296,8	8009,3	0,39	0,29	0,70
126	34,5	46,0	313,6	9456,9	0,36	0,27	1,04
127	37,5	63,6	354,5	10913,0	0,45	0,21	1,63
128	35,9	72,7	334,3	10881,0	0,39	0,25	1,09
129	35,8	46,6	356,6	13786,3	0,19	0,25	0,45

130	36,6	45,4	504,0	10911,2	0,24	0,23	0,46
131	21,8	28,5	333,6	5708,5	0,36	0,35	0,94
132	33,6	41,0	572,8	9311,1	0,46	0,26	1,93
133	28,5	33,5	564,4	8992,0	0,48	0,25	0,99
134	27,4	33,8	443,2	7543,3	0,57	0,27	1,41
135	27,6	37,3	380,6	10532,0	0,53	0,27	1,23
136	23,3	31,1	352,6	6956,5	0,56	0,27	1,30
137	25,4	35,1	418,3	8433,3	0,41	0,24	1,53
138	31,2	42,4	577,1	10733,0	0,30	0,27	0,55
139	27,8	33,1	605,2	8579,0	0,39	0,26	1,11
140	31,3	36,6	668,9	8305,0	0,45	0,25	1,50
141	32,2	37,2	615,3	8150,0	0,53	0,26	1,16
142	33,4	37,4	624,3	9061,9	0,53	0,24	1,78
143	46,7	57,8	1081,2	35629,4	0,02	0,28	0,03
144	20,8	26,9	578,7	6222,0	0,46	0,33	0,95
145	28,2	39,9	563,2	11143,2	0,50	0,25	1,43
146	27,7	32,3	571,9	9553,0	0,58	0,25	1,56
147	24,8	27,8	536,2	7470,5	0,50	0,28	1,19
148	25,1	27,4	519,1	8634,9	0,37	0,28	0,60
149	24,6	26,9	490,9	7627,5	0,48	0,32	0,97
150	29,3	32,8	502,4	9158,2	0,47	0,32	1,22
151	26,4	28,5	838,4	7868,4	0,55	0,31	1,26
152	28,2	30,5	521,7	8526,8	0,53	0,30	1,40
153	26,0	27,3	506,6	8066,4	0,29	0,33	0,79
154	25,6	27,2	503,1	9693,0	0,54	0,27	1,21
155	28,1	30,2	457,6	10332,5	0,30	0,30	1,12
156	33,4	38,3	443,3	11478,4	0,32	0,26	1,14
157	26,6	30,7	805,0	9367,6	0,34	0,28	1,11
158	28,3	32,5	496,3	10609,4	0,35	0,31	1,30
159	25,1	27,1	472,1	7982,0	0,35	0,29	0,77
160	25,3	27,2	621,7	8606,6	0,46	0,28	1,00
161	23,4	26,8	476,3	8770,8	0,45	0,27	1,00
162	22,3	26,1	396,3	7196,0	0,45	0,35	0,91
163	20,9	24,8	418,4	6740,5	0,50	0,39	0,98
164	23,9	41,4	453,8	11470,4	0,07	0,35	0,16
165	19,7	33,7	402,9	10993,6	0,26	0,29	1,07
166	22,4	32,7	482,7	11638,2	0,32	0,25	1,54
167	21,8	24,9	453,4	7736,3	0,38	0,28	0,69
168	22,8	25,4	766,3	8556,2	0,48	0,27	0,94
169	19,5	21,8	406,9	6874,4	0,51	0,34	1,05
170	21,2	23,2	699,1	6363,0	0,53	0,39	1,24
171	18,2	20,0	329,1	5823,0	0,52	0,42	1,14
172	17,9	19,7	381,8	6019,6	0,38	0,46	1,05
173	18,8	20,5	423,3	5791,0	0,53	0,42	1,17
174	26,0	27,8	598,5	8723,0	0,45	0,27	1,25
175	22,4	23,5	494,2	6809,4	0,45	0,27	1,25
176	24,2	25,2	559,7	8647,6	0,31	0,33	0,55
177	23,1	23,0	527,1	7896,5	0,34	0,33	1,00
178	21,8	24,9	489,7	7405,8	0,34	0,35	0,60
179	22,1	25,7	588,6	9181,4	0,27	0,37	0,54
180	23,8	29,3	741,7	7632,8	0,50	0,35	1,48
181	18,7	22,3	548,6	6846,1	0,47	0,36	1,35
182	20,0	26,1	546,1	6319,8	0,54	0,37	1,28
183	21,6	25,2	460,6	7631,7	0,38	0,35	0,65
184	22,5	26,6	304,0	9945,0	0,27	0,35	1,25
185	24,3	27,6	536,4	8343,8	0,50	0,30	1,48
186	19,7	23,5	447,7	7393,5	0,44	0,33	0,80
187	16,6	21,3	416,5	7309,3	0,32	0,38	0,47
188	16,3	22,7	466,5	7538,7	0,41	0,32	0,81
189	17,0	24,0	429,8	8319,4	0,33	0,32	0,53
190	15,6	21,4	441,6	7227,5	0,31	0,34	1,04
191	19,1	25,3	848,7	7627,8	0,39	0,31	0,69

N°	Livello efficienza	volume scavato / malta iniettata	Indice di qualità diretta del terreno (D.Q.I.)	Indice di Qualità Indiretta del terreno (I.Q.I.)
1	0,96	1264,04	1140,46	0,85
2	0,69	149,09	0,00	0,00
3	0,74	149,00	3361,35	2,23
4	0,23	31,40	3624,22	2,26
5	0,25	26,79	4384,73	2,54
6	0,75	20,23	3550,17	2,27
7	0,64	16,89	5431,87	2,61
8	0,79	35,14	3061,95	2,19
9	0,73	30,68	2724,27	1,96
10	0,59	31,49	2906,58	2,22
11	0,79	11,85	3954,95	2,97
12	0,39	26,43	3936,04	1,95
13	0,90	17,42	3413,19	1,90
14	0,71	8,23	2562,32	1,54
15	0,51	19,58	2351,55	1,66
16	0,22	12,68	3363,69	2,47
17	0,94	32,66	3029,93	1,02
18	0,66	11,38	4409,46	2,08
19	0,46	9,49	3213,22	1,95
20	0,42	8,96	3445,20	1,78
21	0,73	10,41	4782,10	1,75
22	0,66	11,04	7040,82	2,82
23	0,22	8,59	4555,44	1,64
24	0,50	10,73	4371,38	2,24
25	0,50	11,10	3934,30	1,96
26	0,20	10,51	3904,97	1,74
27	0,95	16,71	2465,48	1,56
28	0,45	15,59	2645,55	2,31
29	0,68	11,98	3450,62	2,50
30	0,26	14,72	3743,02	2,48
31	0,67	15,27	3974,86	2,85
32	0,17	11,60	4438,11	3,25
33	0,10	13,48	4263,14	3,41
34	0,27	14,08	4549,81	3,13
35	0,22	13,82	3918,78	3,09
36	0,31	13,82	4356,06	2,97
37	0,93	12,07	4243,74	3,06
38	0,36	13,37	4058,07	3,35
39	0,91	17,13	4065,66	3,06
40	0,28	15,89	3533,26	2,49
41	0,23	12,00	4508,17	3,06
42	0,42	12,77	4419,78	3,13
43	0,66	11,70	4031,94	3,09
44	0,33	13,27	3447,92	2,84
45	0,17	12,68	3452,36	2,93
46	0,28	12,63	3491,16	2,99
47	0,41	12,34	3574,70	3,05
48	0,20	13,21	4287,69	3,25
49	0,30	12,85	4432,94	3,27
50	0,28	13,82	4319,97	3,11
51	0,16	14,08	4091,01	2,84
52	0,09	13,28	4243,87	2,80
53	0,55	12,58	3888,88	2,74
54	0,34	12,66	3904,53	2,54
55	0,82	12,59	4908,00	3,70
56	0,10	13,52	4239,17	2,77
57	0,09	13,08	3877,03	2,25
58	0,10	13,63	3081,44	1,80
59	0,07	13,01	3387,89	1,74
60	0,86	18,61	3852,38	2,39
61	0,05	12,00	3932,18	2,12
62	0,66	11,68	4741,20	2,20

63	0,66	12,23	4081,88	1,81
64	0,26	11,81	4322,70	2,09
65	0,03	10,73	3979,60	2,03
66	0,18	12,66	3702,12	1,85
67	0,08	11,37	3792,28	1,85
68	0,61	12,12	3710,20	1,65
69	0,23	16,51	3193,36	1,49
70	0,18	17,31	4051,13	1,83
71	0,22	11,67	4377,44	2,09
72	0,32	11,43	4905,76	2,75
73	0,43	12,90	5018,78	2,29
74	0,09	12,32	4440,97	2,21
75	0,05	11,42	4784,28	2,20
76	0,11	12,00	4403,17	2,13
77	0,39	11,41	4518,61	2,71
78	0,22	12,26	4624,47	2,55
79	0,56	12,44	6238,82	3,02
80	0,24	11,68	3610,20	2,36
81	0,27	11,74	5014,68	2,48
82	0,46	12,13	4809,15	2,49
83	0,34	12,16	3665,57	1,90
84	0,12	12,92	4796,24	2,16
85	0,00	0,00	0,00	0,00
86	0,90	12,04	5140,77	2,68
87	0,47	12,04	3339,77	1,30
88	0,15	13,64	3842,32	1,84
89	0,04	14,03	3832,08	1,70
90	0,60	12,46	2597,05	1,02
91	0,20	12,99	3077,25	1,25
92	0,17	14,00	2373,20	0,76
93	0,21	13,61	2387,55	0,77
94	0,14	13,98	2586,02	0,92
95	0,40	13,09	2575,60	1,10
96	0,12	13,71	2202,85	1,00
97	0,27	13,28	2669,59	1,27
98	0,21	13,49	2497,82	1,11
99	0,10	13,74	2741,75	1,05
100	0,49	12,79	0,00	0,00
101	0,00	0,00	0,00	0,00
102	0,00	0,00	0,00	0,00
103	0,03	12,74	2344,21	0,93
104	0,00	0,00	0,00	0,00
105	0,00	0,00	0,00	0,00
106	0,25	12,17	2697,27	1,15
107	0,63	12,79	2420,94	0,91
108	0,15	12,96	2338,77	1,03
109	0,16	13,17	2214,25	0,95
110	0,14	13,00	1959,77	0,93
111	0,05	13,02	2157,26	0,89
112	0,67	12,72	2503,42	0,79
113	0,07	11,76	2590,73	1,03
114	0,11	12,73	2632,88	1,10
115	0,24	11,54	3201,58	1,56
116	0,04	12,57	2734,00	1,30
117	0,60	12,72	2560,17	1,10
118	0,10	12,79	2722,05	1,24
119	0,04	10,93	2761,97	1,30
120	0,47	13,00	3271,99	1,84
121	0,08	12,74	2921,58	1,17
122	0,37	12,69	3427,76	1,18
123	0,03	13,46	2861,40	0,86
124	0,38	13,35	3185,89	1,48
125	0,06	13,94	3204,30	1,57
126	0,30	10,81	3436,52	1,63
127	0,28	12,62	4450,15	1,73

128	0,25	12,66	3908,30	1,55
129	0,39	12,68	3794,93	1,74
130	0,24	12,62	4151,10	1,48
131	0,25	14,11	2939,39	0,92
132	0,29	14,40	3525,54	1,42
133	0,04	13,60	3651,56	1,53
134	0,02	13,62	3353,23	1,35
135	0,03	11,52	3643,35	1,37
136	0,01	14,11	3508,18	1,41
137	0,32	14,64	3826,41	1,62
138	0,15	13,57	3440,38	1,46
139	0,26	14,56	3699,40	1,52
140	0,25	14,10	3955,00	1,52
141	0,02	14,16	3660,23	1,47
142	0,18	13,97	3717,18	1,53
143	0,40	11,79	3460,86	1,36
144	0,06	13,57	2786,88	0,98
145	0,15	14,80	3539,52	1,93
146	0,05	15,08	3499,96	1,63
147	0,08	14,34	3221,54	1,48
148	0,01	14,19	3040,81	1,45
149	0,02	11,95	2886,70	1,36
150	0,14	13,16	2814,13	1,58
151	0,02	13,58	3035,45	1,29
152	0,09	14,37	3015,00	1,44
153	0,35	14,36	2959,36	1,31
154	0,02	14,43	3148,70	1,59
155	0,44	14,62	2616,13	1,45
156	0,40	14,39	2969,17	1,73
157	0,36	12,75	3126,75	1,42
158	0,39	13,89	3135,83	1,49
159	0,20	13,21	3013,02	1,46
160	0,08	14,27	2947,81	1,42
161	0,09	13,22	2985,04	1,49
162	0,05	12,79	2524,19	1,07
163	0,00	14,19	2494,17	1,03
164	0,53	13,21	2708,16	0,99
165	0,50	13,31	3161,96	1,37
166	0,47	15,14	3401,37	1,59
167	0,08	15,04	2911,47	1,42
168	0,00	14,56	2880,36	1,67
169	0,00	15,30	2597,87	1,17
170	0,05	15,12	2474,00	0,98
171	0,02	12,91	2290,23	0,93
172	0,25	14,40	2138,50	0,90
173	0,03	14,43	2265,86	0,99
174	0,18	15,00	3293,52	1,38
175	0,18	15,94	3293,52	1,38
176	0,13	13,85	2961,10	1,12
177	0,32	15,21	2951,88	1,08
178	0,09	15,27	2759,02	1,07
179	0,24	13,86	2559,28	1,38
180	0,16	14,03	2758,08	1,19
181	0,18	14,95	2704,32	1,06
182	0,03	15,21	2640,92	1,03
183	0,03	15,54	2819,19	1,14
184	0,52	20,06	2864,87	1,20
185	0,16	15,07	3358,63	1,33
186	0,02	12,78	2945,87	1,19
187	0,01	15,05	2604,34	1,03
188	0,08	14,76	2959,28	1,17
189	0,06	15,45	2950,01	1,17
190	0,38	15,60	2783,26	1,06
191	0,05	14,51	3174,90	1,15

ALLEGATO B – ARENARIE TIPO SCABIAZZA

Totale Arenarie tipo Scabiazza

ANELLI	DATA	INIZIO	FINE	AVANZAMENTO	COSTRUZIONE ANELLO	FERMO	TOTALE	AVANZAMENTO (mm/min)
192	12.01.2012	19:26:42	22:04:24	01:12:58	01:23:01	00:01:41	02:37:41	27
193	12.01.2012	22:04:29	00:22:30	00:58:26	01:16:26	00:03:09	02:18:01	34
194	13.01.2012	00:22:38	02:37:39	00:59:45	01:11:52	00:03:24	02:15:00	33
195	13.01.2012	02:37:43	04:56:04	00:56:53	01:06:02	00:15:30	02:18:20	35
196	13.01.2012	04:56:13	10:20:55	01:05:56	01:19:04	02:59:45	05:24:42	29
197	13.01.2012	10:20:56	14:19:38	00:59:13	02:53:41	00:05:47	03:58:42	34
198	13.01.2012	14:19:39	18:51:50	01:09:20	02:31:46	00:51:06	04:32:11	30
199	13.01.2012	18:51:53	21:26:14	01:12:31	00:59:58	00:21:54	02:34:20	26
200	13.01.2012	21:26:16	00:33:17	01:19:14	01:13:02	00:34:43	03:07:00	26
201	14.01.2012	00:33:18	05:07:39	01:06:09	01:20:18	02:07:54	04:34:21	30
202	14.01.2012	05:07:44	10:35:05	01:13:09	00:48:46	03:25:33	05:27:20	26
203	14.01.2012	10:35:13	12:50:24	01:11:09	00:54:13	00:09:49	02:15:10	28
204	14.01.2012	12:50:25	16:03:17	01:02:05	00:42:38	01:28:14	03:12:52	33
205	14.01.2012	16:03:26	18:51:38	01:00:52	00:58:39	00:48:42	02:48:11	32
206	14.01.2012	18:51:41	21:51:32	00:59:24	01:12:53	00:47:36	02:59:51	33
207	14.01.2012	21:51:35	03:08:07	01:22:38	01:07:21	02:46:42	05:16:32	25
208	15.01.2012	03:08:14	05:11:15	01:02:13	00:53:17	00:07:35	02:03:00	31
209	15.01.2012	05:11:17	09:58:48	01:13:28	01:42:53	01:51:16	04:47:31	28
210	15.01.2012	09:58:53	13:12:25	01:03:23	02:01:12	00:08:59	03:13:32	30
211	15.01.2012	13:12:29	15:03:20	01:01:08	00:46:02	00:03:40	01:50:51	33
212	15.01.2012	15:03:21	18:31:42	01:02:16	02:17:45	00:08:23	03:28:21	32
213	15.01.2012	18:31:43	22:33:04	01:03:53	01:20:26	01:37:10	04:01:20	30
214	15.01.2012	22:33:06	00:50:08	01:00:23	00:55:07	00:21:32	02:17:02	33
215	16.01.2012	00:50:12	03:16:53	01:01:53	01:11:37	00:13:11	02:26:41	32
216	16.01.2012	03:16:56	05:30:07	01:05:06	00:54:27	00:13:43	02:13:11	30
217	16.01.2012	05:30:08	13:56:29	01:08:38	05:32:36	01:45:07	08:26:20	30
218	16.01.2012	13:56:32	16:10:14	00:56:56	00:53:27	00:23:19	02:13:41	34
219	16.01.2012	16:10:22	19:11:33	01:01:06	00:37:40	01:22:28	03:01:11	32
220	16.01.2012	19:11:41	21:06:02	00:58:57	00:44:28	00:10:56	01:54:21	34
221	16.01.2012	21:06:09	23:39:30	01:01:38	01:22:32	00:09:11	02:33:21	33
222	16.01.2012	23:39:34	02:43:15	01:01:13	01:02:38	00:59:53	03:03:41	32
223	17.01.2012	02:43:20	05:44:01	01:07:01	00:50:32	01:03:08	03:00:41	31
224	17.01.2012	05:44:09	17:38:32	01:17:10	06:32:19	04:04:55	11:54:23	26
225	17.01.2012	17:38:37	20:55:48	01:13:52	00:53:21	01:10:05	03:17:10	25
226	17.01.2012	20:55:51	07:22:52	01:21:50	01:10:21	07:55:04	10:27:01	23
227	18.01.2012	07:22:58	15:06:29	01:27:21	01:47:28	04:28:45	07:43:30	22
228	18.01.2012	15:06:31	03:20:32	01:15:46	00:42:34	10:15:47	12:14:01	26
229	19.01.2012	03:20:33	07:45:34	01:18:48	01:12:35	01:53:44	04:25:01	24
230	19.01.2012	07:45:36	11:27:27	01:43:11	01:08:57	00:49:47	03:41:51	20
231	19.01.2012	11:27:36	14:49:28	01:35:28	01:37:57	00:08:25	03:21:51	21
232	19.01.2012	14:49:29	17:50:11	01:28:18	00:52:24	00:40:01	03:00:41	22
233	19.01.2012	17:50:14	20:28:15	01:20:59	01:15:16	00:01:44	02:38:00	24
234	19.01.2012	20:28:19	00:25:51	01:27:27	00:56:36	01:33:32	03:57:32	22
235	20.01.2012	00:25:59	03:03:30	01:12:41	00:57:09	00:27:39	02:37:30	27
236	20.01.2012	03:03:39	06:45:01	01:22:39	01:12:51	01:05:51	03:41:21	24
237	20.01.2012	06:45:02	10:55:14	01:44:47	01:10:21	01:15:04	04:10:11	20
238	20.01.2012	10:55:15	13:25:26	01:20:18	01:02:31	00:07:23	02:30:10	25
239	20.01.2012	13:25:33	17:05:24	01:27:30	01:14:03	00:58:22	03:39:50	22
240	20.01.2012	17:05:31	20:10:22	01:15:26	00:51:58	00:57:34	03:04:51	26
241	20.01.2012	20:10:31	22:48:13	01:08:22	00:50:00	00:39:25	02:37:42	29
242	20.01.2012	22:48:21	01:45:02	01:20:49	01:03:45	00:32:15	02:56:40	24
243	21.01.2012	01:45:10	04:14:11	01:21:26	00:51:57	00:15:48	02:29:00	24
244	21.01.2012	04:14:16	07:34:27	01:31:52	01:21:24	00:27:07	03:20:10	21
245	21.01.2012	07:34:31	19:54:22	01:40:55	08:06:33	02:32:34	12:19:50	20
246	21.01.2012	19:54:24	00:57:55	01:07:27	03:42:29	00:13:37	05:03:31	29
247	22.01.2012	00:58:00	06:31:51	01:16:29	01:08:53	03:08:36	05:33:51	24

248	22.01.2012	06:31:52	13:29:33	01:08:46	04:07:13	01:41:45	06:57:40	30
249	22.01.2012	13:29:34	15:43:55	01:06:33	00:48:33	00:19:18	02:14:21	29
250	22.01.2012	15:44:00	00:26:32	01:14:03	01:02:55	06:25:39	08:42:32	26
251	23.01.2012	00:26:41	02:58:22	01:05:30	01:00:39	00:25:36	02:31:41	30
252	23.01.2012	02:58:31	05:32:43	01:07:31	00:56:46	00:29:59	02:34:11	28
253	23.01.2012	05:32:43	09:28:35	01:17:07	00:44:29	01:54:23	03:55:52	25
254	23.01.2012	09:28:36	11:44:57	01:10:34	00:43:22	00:22:29	02:16:20	27
255	23.01.2012	11:45:04	14:01:45	01:09:37	00:47:55	00:19:18	02:16:41	28
256	23.01.2012	14:01:48	17:31:09	01:12:32	00:52:15	01:24:38	03:29:21	28
257	23.01.2012	17:31:15	00:07:36	01:17:32	01:18:53	04:00:07	06:36:21	25
258	24.01.2012	00:07:40	03:18:01	01:16:19	01:04:02	00:50:04	03:10:21	25
259	24.01.2012	03:18:03	18:00:23	01:18:48	03:41:16	09:42:22	14:42:20	26
260	24.01.2012	18:00:26	18:09:46	01:59:42	20:19:33	25:50:08	48:09:20	17
261	26.01.2012	18:09:53	21:51:55	01:33:37	01:50:39	00:17:51	03:42:01	20
262	26.01.2012	21:52:02	02:58:13	01:48:56	01:05:57	02:11:24	05:06:11	18
263	27.01.2012	02:58:14	06:51:45	01:32:50	01:31:51	00:48:56	03:53:31	21
264	27.01.2012	06:51:49	09:31:00	01:28:08	01:03:36	00:07:35	02:39:11	22
265	27.01.2012	09:31:06	14:30:57	01:21:19	01:31:03	02:07:37	04:59:51	24
266	27.01.2012	14:30:59	19:18:20	01:26:57	01:51:50	01:28:44	04:47:21	23
267	27.01.2012	19:18:24	22:13:05	01:22:54	01:12:44	00:19:16	02:54:40	23
268	27.01.2012	22:13:12	01:31:13	01:34:51	00:55:58	00:47:20	03:18:01	21
269	28.01.2012	01:31:15	05:08:46	01:28:42	01:06:01	01:03:00	03:37:31	22
270	28.01.2012	05:08:47	11:42:28	01:30:15	01:11:04	03:52:33	06:33:41	22
271	28.01.2012	11:42:30	17:00:41	01:18:54	00:55:38	03:03:53	05:18:10	24
272	28.01.2012	0.00.00						0
273	14.02.2012	10:30:43	16:57:14	01:49:59	01:25:59	03:10:48	06:26:30	18
274	14.02.2012	16:57:19	20:03:00	01:27:27	01:14:33	00:23:47	03:05:41	22
275	14.02.2012	20:03:03	08:34:24	01:29:04	02:10:36	08:51:55	12:31:20	21
276	15.02.2012	08:34:27	13:53:18	01:21:19	03:27:30	00:30:23	05:18:50	24
277	15.02.2012	13:53:23	17:38:14	01:28:16	01:22:22	00:54:21	03:44:51	21
278	15.02.2012	17:38:18	00:47:10	01:27:22	01:33:19	04:08:15	07:08:52	22
279	16.02.2012	00:47:16	07:20:07	01:30:58	04:14:09	00:48:04	06:32:50	21
280	16.02.2012	07:20:11	10:56:12	01:16:24	01:08:12	01:11:40	03:36:00	23
281	16.02.2012	10:56:18	14:17:50	01:40:03	01:08:42	00:33:08	03:21:31	16
282	16.02.2012	14:17:54	20:19:25	01:39:16	01:18:04	03:04:23	06:01:30	19
283	16.02.2012	20:19:32	01:28:23	01:43:34	01:17:06	02:08:37	05:08:51	18
284	17.02.2012	01:28:30	06:22:01	01:36:21	01:20:25	01:57:12	04:53:30	19
285	17.02.2012	06:22:06	12:08:11	02:07:24	01:41:54	01:57:00	05:46:04	16
286	17.02.2012	12:08:20	16:25:01	01:35:52	01:03:06	01:38:08	04:16:40	19
287	17.02.2012	16:25:10	19:42:23	01:38:43	01:11:11	00:27:26	03:17:12	20
288	17.02.2012	19:42:25	00:45:16	01:41:49	01:09:36	02:11:44	05:02:50	19
289	18.02.2012	00:45:19	04:20:50	01:38:56	00:58:12	00:58:50	03:35:31	19
290	18.02.2012	04:20:53	13:00:54	02:23:29	01:28:30	04:48:34	08:40:01	13

N°	PENETRAZIONE (mm/rot)	FORZA SPINTA (kN)	FORZA CONTATTO (kN)	ROLLIO (mm/min)	PRESSIONE CALOTTA (bar)	BILANCIA 1 (t)	BILANCIA 2 (t)
192	27	78930	21331	-0,25	0,99	945,00	938,00
193	33	73338	19035	1,24	0,85	888,00	903,00
194	32	71362	18256	1,76	0,77	894,00	908,00
195	34	71382	18217	2,57	0,70	873,00	888,00
196	29	73998	18130	2,10	0,78	888,00	894,00
197	32	73096	17457	0,02	0,65	903,00	912,00
198	30	76937	20430	1,03	0,76	964,00	966,00
199	26	75004	17322	1,90	0,69	869,00	863,00
200	26	73555	17661	1,58	0,63	930,00	926,00
201	28	70109	18538	2,42	0,76	906,00	907,00
202	25	73018	18440	1,04	0,85	940,00	939,00
203	28	62379	17241	0,51	0,68	959,00	968,00
204	32	63270	16935	1,09	0,84	946,00	957,00
205	31	61167	16161	0,72	0,76	860,00	862,00
206	32	59676	16705	0,63	0,91	911,00	915,00
207	23	66962	18576	2,09	0,93	856,00	826,00
208	29	62917	17216	1,20	0,81	894,00	879,00
209	26	67740	19714	-0,77	0,93	952,00	934,00

210	29	69815	20406	-0,46	0,85	866,00	855,00
211	32	65807	19723	0,32	0,89	889,00	887,00
212	31	65290	18275	0,99	0,90	895,00	887,00
213	30	67948	18032	2,54	0,83	885,00	865,00
214	29	67343	18599	1,22	0,98	881,00	862,00
215	29	65253	20629	1,97	1,02	875,00	854,00
216	27	69694	22512	2,11	0,86	881,00	857,00
217	27	70045	23087	1,43	0,83	913,00	896,00
218	30	76416	21788	-0,58	0,70	859,00	855,00
219	28	65177	19898	-0,35	0,64	921,00	917,00
220	29	62509	20981	1,61	0,66	866,00	861,00
221	28	59505	18866	1,88	0,62	944,00	951,00
222	28	60893	16784	0,54	0,68	785,00	774,00
223	27	66512	19450	1,13	0,75	944,00	921,00
224	25	69218	20655	0,00	0,74	967,00	963,00
225	23	74983	24383	-0,72	0,64	843,00	838,00
226	23	74453	24051	1,29	0,80	977,00	969,00
227	20	67941	23274	-1,34	0,76	1047,00	1035,00
228	22	65013	26203	1,29	0,64	1052,00	1054,00
229	19	63944	22468	3,96	0,76	830,00	835,00
230	17	59351	22918	-0,72	0,80	964,00	964,00
231	14	51372	19769	0,17	0,91	977,00	981,00
232	15	54711	19921	-0,18	0,90	881,00	875,00
233	16	52030	20624	2,86	0,76	857,00	853,00
234	15	57300	19409	1,23	0,72	958,00	943,00
235	19	62143	22852	1,67	0,68	818,00	816,00
236	17	65004	23662	0,69	0,60	908,00	908,00
237	15	66515	21087	0,98	0,60	979,00	996,00
238	22	67990	23151	1,17	0,68	831,00	864,00
239	20	73416	27445	0,53	0,86	829,00	868,00
240	23	64939	28762	0,10	0,79	953,00	996,00
241	25	56052	29237	-0,16	0,73	882,00	930,00
242	20	53385	27111	0,53	0,60	881,00	922,00
243	20	50436	26598	0,41	0,59	889,00	928,00
244	17	55533	28705	0,62	0,69	933,00	972,00
245	13	52224	24209	0,03	1,18	978,00	1041,00
246	20	62281	27526	0,02	1,21	875,00	916,00
247	17	61604	29424	-0,56	1,13	864,00	908,00
248	20	55679	25655	0,50	1,15	879,00	919,00
249	19	61359	27632	0,19	1,23	863,00	892,00
250	17	59642	25330	0,31	1,34	915,00	948,00
251	20	59110	25936	0,19	1,50	815,00	847,00
252	19	54173	25048	0,37	1,50	877,00	921,00
253	20	61593	26015	0,43	1,53	793,00	837,00
254	24	56127	27357	1,00	0,89	870,00	919,00
255	24	57373	27438	0,69	0,95	863,00	912,00
256	25	59493	28356	-0,59	0,93	877,00	936,00
257	22	65374	27939	5,16	1,03	470,00	528,00
258	22	63046	26284	7,73	1,06	448,00	483,00
259	23	64065	27009	8,04	1,06	878,00	950,00
260	16	53484	15742	5,88	1,04	959,00	1006,00
261	19	80533	28677	5,35	0,78	787,00	763,00
262	17	76025	32805	6,65	0,62	991,00	997,00
263	20	61860	28325	6,22	0,61	885,00	901,00
264	22	58707	27464	7,22	0,83	925,00	943,00
265	24	55477	25425	6,81	0,98	918,00	934,00
266	21	54126	25139	7,12	0,98	881,00	897,00
267	22	52665	26056	5,45	0,96	888,00	904,00
268	20	54584	27525	6,04	0,62	1002,00	1002,00
269	21	47058	23685	6,08	0,71	935,00	923,00
270	21	50735	26046	5,27	0,73	947,00	924,00
271	22	46397	23885	2,30	0,78	862,00	838,00
272	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
273	17	64298	20624	1,68	0,77	1106,00	971,00
274	22	54405	25447	0,46	0,74	955,00	917,00
275	21	48016	24961	0,55	0,78	1030,00	989,00

276	21	50364	26848	-0,26	0,79	905,00	885,00
277	19	46450	24871	-0,33	0,87	970,00	955,00
278	19	47904	23965	0,45	0,84	815,00	812,00
279	20	46777	24669	0,08	0,75	916,00	909,00
280	20	42559	22660	-0,27	0,65	897,00	890,00
281	15	49846	27695	0,45	0,64	796,00	788,00
282	18	40911	23019	0,29	0,71	853,00	838,00
283	18	50439	28114	0,21	0,78	912,00	906,00
284	19	48541	27092	0,50	0,75	803,00	799,00
285	16	57636	31715	0,03	0,84	882,00	880,00
286	19	51322	26246	0,43	0,87	888,00	886,00
287	17	49798	25435	0,09	0,85	846,00	852,00
288	16	51553	25770	0,67	0,83	873,00	872,00
289	16	46995	24206	0,57	0,82	873,00	874,00
290	12	51538	26327	0,16	0,87	830,00	811,00

N°	PRESSIONE LINEE MALTA SUP 1-4 E 9- 12 (bar)	PRESSIONE LINEE MALTA INF 5-8 (bar)	PRESSIONE CONDIZIONAMENTO (bar)	FIR	FER
192	3,10	3,59	6,48	112,70	6,98
193	3,42	3,79	6,63	113,15	7,06
194	3,21	3,59	6,70	120,66	7,13
195	3,32	3,85	6,75	122,46	7,12
196	3,11	3,54	6,27	138,53	6,48
197	3,29	3,50	6,75	104,27	6,90
198	3,30	3,70	6,82	92,35	6,79
199	3,38	4,17	5,64	97,13	6,54
200	3,36	4,17	5,93	98,27	6,75
201	3,64	4,94	6,80	96,50	6,79
202	3,06	3,76	6,10	96,82	6,12
203	3,59	4,58	6,80	110,69	7,04
204	3,39	4,22	6,46	115,00	6,96
205	3,55	4,28	6,11	112,83	6,89
206	3,65	4,60	6,93	119,18	7,24
207	3,39	4,46	5,25	89,81	5,19
208	3,93	4,89	6,33	99,44	6,23
209	3,69	4,72	6,63	111,20	6,62
210	3,95	5,23	6,55	99,21	6,66
211	4,41	5,13	6,95	106,36	6,92
212	4,47	5,33	6,77	111,09	6,72
213	5,32	6,41	6,45	108,62	6,25
214	4,44	5,59	6,89	104,24	6,51
215	4,66	5,94	6,96	108,19	6,63
216	4,70	5,65	6,62	106,14	6,33
217	4,84	5,35	6,81	107,25	6,44
218	3,62	3,48	6,70	121,53	6,70
219	4,28	4,43	6,78	158,43	6,99
220	4,85	5,18	6,77	107,69	6,92
221	4,74	4,90	6,69	109,48	6,79
222	5,01	5,69	6,22	113,39	7,17
223	5,09	5,46	6,46	111,93	6,84
224	4,40	4,30	6,23	112,58	6,85
225	4,17	4,42	6,14	101,24	6,45
226	4,05	5,18	5,52	95,53	6,03
227	4,39	4,89	5,55	104,44	5,99
228	4,91	5,55	5,54	92,09	5,64
229	5,21	6,08	5,53	96,26	6,33
230	4,90	5,07	5,83	105,71	6,45
231	5,26	4,92	5,91	118,05	6,46
232	5,46	4,91	6,27	116,36	6,35
233	5,17	4,75	6,33	116,52	6,46
234	4,48	4,33	6,13	130,90	6,55
235	4,65	4,26	6,44	109,39	7,10
236	4,59	3,91	6,14	117,80	6,86
237	5,88	3,66	5,44	128,59	6,82

238	5,31	4,02	6,16	117,34	7,10
239	5,30	4,67	6,02	116,18	6,77
240	5,31	4,77	6,37	116,58	6,96
241	5,26	5,02	6,20	113,51	6,93
242	5,09	4,46	5,87	116,51	6,67
243	3,99	4,05	5,58	113,75	6,61
244	5,70	4,13	5,75	145,20	6,54
245	5,69	5,50	5,87	158,48	6,70
246	3,54	5,24	6,49	120,71	7,27
247	3,16	4,41	6,44	113,67	6,93
248	2,81	4,51	6,17	114,61	6,96
249	2,87	4,74	6,63	122,09	7,02
250	2,99	4,66	6,38	117,37	7,00
251	3,22	4,62	6,78	109,11	7,04
252	3,24	4,50	6,13	111,10	6,67
253	2,96	4,22	5,93	102,29	6,14
254	3,20	3,90	6,39	120,19	6,96
255	3,59	4,53	6,40	117,41	6,71
256	3,95	4,92	6,42	123,43	7,03
257	3,43	4,64	6,18	115,45	6,73
258	3,19	3,91	6,36	134,43	6,99
259	3,20	3,97	6,32	116,19	6,89
260	3,44	4,80	4,19	104,79	5,65
261	2,25	2,75	3,82	64,18	3,94
262	1,95	2,32	5,51	140,05	6,78
263	2,54	2,73	5,35	120,06	6,98
264	2,68	2,94	5,92	123,32	7,33
265	3,03	2,97	5,88	123,03	7,21
266	3,46	3,11	5,95	115,00	6,97
267	2,91	3,64	6,08	108,17	7,07
268	2,62	2,86	5,44	119,06	7,27
269	2,59	2,89	4,62	111,49	6,78
270	2,04	3,04	5,44	115,83	7,71
271	2,37	3,43	6,31	113,97	7,48
272	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
273	2,43	3,61	3,53	47,66	3,72
274	2,80	5,49	5,03	81,97	6,31
275	2,90	4,92	5,68	106,29	7,25
276	2,63	4,72	6,23	116,01	7,86
277	3,24	5,19	6,29	130,36	8,45
278	2,94	5,72	5,86	119,44	6,89
279	3,14	4,77	5,02	112,97	6,05
280	3,04	5,68	5,58	153,95	7,22
281	3,10	5,09	5,04	130,71	6,40
282	4,20	5,22	4,25	118,66	6,63
283	4,08	4,84	4,12	97,66	6,10
284	4,22	4,93	4,11	94,63	5,89
285	3,37	5,49	4,59	106,91	6,92
286	4,23	4,68	4,85	113,01	7,12
287	5,49	5,96	5,06	109,36	7,23
288	4,44	4,83	4,79	104,78	6,68
289	4,77	4,89	4,90	117,78	6,72
290	4,63	4,55	4,33	114,77	6,12

N°	A (m³)	B (m³)	(A+B) (m³)	DOSAGGIO (%)	ACQUA (m³)	POLIMERO 1 (m³)	POLIMERO 2 (m³)	POLIMERO AP (m³)	ACQUA STATORE (m³)
192	26,23	1,58	27,81	5,67	50,06	1,50	0,00	0,00	144,56
193	23,63	1,50	25,12	5,97	52,19	1,54	0,00	0,00	119,38
194	24,18	1,47	25,65	5,74	52,14	1,56	0,00	0,00	114,09
195	26,00	1,61	27,61	5,84	51,50	1,52	0,00	0,00	106,10
196	23,07	1,25	24,33	5,16	52,19	1,55	0,00	0,00	122,07
197	22,98	1,40	24,38	5,75	48,88	1,46	0,00	0,00	105,22
198	23,79	1,42	25,21	5,63	45,34	1,34	0,00	0,00	119,56

199	24,37	1,42	25,79	5,52	41,09	1,22	0,00	0,00	60,40
200	23,68	1,44	25,12	5,75	44,52	1,28	0,00	0,00	67,69
201	23,91	1,52	25,43	5,97	46,54	1,39	0,00	0,00	55,01
202	23,82	1,27	25,09	5,05	45,93	1,36	0,00	0,00	53,69
203	23,39	1,45	24,84	5,82	49,95	1,50	0,00	0,00	64,93
204	23,65	1,30	24,95	5,21	54,07	1,61	0,00	0,00	53,85
205	23,46	1,35	24,81	5,42	49,63	1,48	0,00	0,00	52,86
206	23,40	1,37	24,77	5,54	52,72	1,57	0,00	0,00	43,24
207	27,13	1,44	28,56	5,03	44,52	1,32	0,00	0,00	31,54
208	23,95	1,43	25,37	5,62	47,52	1,42	0,00	0,00	31,79
209	22,76	1,33	24,10	5,53	56,69	1,70	0,00	0,00	46,71
210	20,97	1,24	22,21	5,59	44,53	1,33	0,00	0,00	45,43
211	21,58	1,37	22,95	5,95	50,25	1,50	0,00	0,00	43,81
212	21,52	1,25	22,77	5,49	53,51	1,57	0,00	0,00	49,68
213	24,87	1,39	26,26	5,29	52,33	1,36	0,00	0,00	61,96
214	20,59	1,24	21,82	5,66	51,77	1,34	0,00	0,00	52,56
215	22,10	1,37	23,47	5,86	53,18	1,38	0,00	0,00	54,00
216	21,78	1,25	23,03	5,41	52,96	1,37	0,00	0,00	57,60
217	20,33	1,18	21,50	5,48	55,54	1,34	0,00	0,00	120,79
218	23,56	1,46	25,02	5,85	50,26	1,21	0,00	0,00	89,33
219	23,72	1,33	25,05	5,31	58,66	1,35	0,00	0,00	93,60
220	22,63	1,40	24,02	5,82	52,20	1,20	0,00	0,00	98,35
221	23,71	1,47	25,18	5,83	53,50	1,23	0,00	0,00	100,37
222	23,26	1,44	24,70	5,83	50,77	1,16	0,00	0,00	83,87
223	24,60	1,53	26,12	5,84	55,15	1,27	0,00	0,00	96,04
224	23,23	1,38	24,60	5,59	55,31	1,25	0,00	0,00	109,41
225	24,64	1,41	26,05	5,42	47,21	1,06	0,00	0,00	89,68
226	24,85	1,09	25,94	4,20	49,85	1,16	0,00	0,00	97,98
227	27,78	1,63	29,40	5,54	47,89	1,11	0,00	0,00	121,87
228	28,66	1,53	30,19	5,07	44,02	1,04	0,00	0,00	78,50
229	31,13	1,82	32,96	5,54	45,75	1,14	0,00	0,00	80,78
230	32,78	2,04	34,82	5,85	53,31	1,33	0,00	0,00	116,35
231	40,24	2,44	42,68	5,73	55,05	1,25	0,00	0,00	112,97
232	40,54	2,47	43,02	5,75	57,46	1,31	0,00	0,00	119,85
233	32,43	1,98	34,41	5,76	54,96	1,25	0,00	0,00	110,19
234	33,96	1,93	35,89	5,37	57,67	1,32	0,00	0,00	134,09
235	26,59	1,58	28,17	5,62	49,12	1,12	0,00	0,00	109,59
236	26,67	1,55	28,22	5,49	53,43	1,22	0,00	0,00	121,64
237	37,42	2,19	39,60	5,52	62,19	1,43	0,00	0,00	147,47
238	27,69	1,73	29,42	5,87	51,74	1,16	0,00	0,00	95,58
239	28,65	1,58	30,23	5,23	53,14	1,22	0,00	0,00	115,20
240	29,14	1,79	30,93	5,78	54,82	1,25	0,00	0,00	135,74
241	29,26	1,78	31,03	5,73	54,70	1,24	0,00	0,00	116,47
242	31,74	1,99	33,73	5,91	56,36	1,28	0,00	0,00	137,41
243	31,24	1,95	33,19	5,87	54,03	1,23	0,00	0,00	144,57
244	32,32	2,03	34,34	5,90	62,01	1,45	0,00	0,00	150,38
245	33,40	1,93	35,33	5,47	63,51	1,45	0,00	0,00	143,95
246	31,74	1,94	33,68	5,76	57,70	1,32	0,00	0,00	112,92
247	33,81	1,94	35,75	5,44	52,23	1,20	0,00	0,00	124,13
248	28,48	1,80	30,27	5,93	64,10	1,48	0,00	0,00	81,26

249	28,99	1,69	30,67	5,50	55,29	1,27	0,00	0,00	83,80
250	28,54	1,70	30,24	5,63	52,79	1,20	0,00	0,00	84,00
251	29,35	1,88	31,23	6,03	52,00	1,19	0,00	0,00	87,24
252	29,77	1,90	31,66	6,00	51,49	1,18	0,00	0,00	87,29
253	27,52	1,69	29,21	5,79	57,10	1,30	0,00	0,00	71,51
254	27,94	1,75	29,68	5,89	56,42	1,29	0,00	0,00	70,63
255	28,31	1,72	30,03	5,74	54,93	1,26	0,00	0,00	73,72
256	27,52	1,59	29,11	5,45	59,57	1,35	0,00	0,00	61,94
257	15,32	0,86	16,18	5,33	30,67	0,71	0,00	0,00	40,43
258	15,73	0,96	16,68	5,74	29,37	0,68	0,00	0,00	56,38
259	30,08	1,73	31,81	5,45	55,84	1,28	0,00	0,00	92,64
260	36,11	1,75	37,86	4,62	57,00	1,34	0,00	0,00	80,81
261	27,83	1,66	29,49	5,63	31,86	0,05	0,68	0,00	51,08
262	32,25	1,80	34,05	5,29	58,55	1,36	0,00	0,00	106,50
263	30,28	1,76	32,04	5,48	54,53	1,26	0,00	0,00	93,26
264	31,57	1,81	33,39	5,43	55,29	1,27	0,00	0,00	90,53
265	31,61	1,77	33,37	5,30	55,31	1,24	0,00	0,00	87,89
266	31,99	1,86	33,85	5,50	51,94	1,20	0,00	0,00	101,20
267	32,25	1,96	34,21	5,73	51,27	1,19	0,00	0,00	94,60
268	32,11	1,96	34,08	5,76	53,66	1,24	0,00	0,00	124,37
269	32,48	1,99	34,47	5,78	51,21	1,20	0,00	0,00	111,05
270	32,60	1,89	34,48	5,47	48,51	1,15	0,00	0,00	110,16
271	31,06	1,74	32,80	5,31	48,60	1,12	0,00	0,00	89,82
272	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
273	26,91	1,45	28,36	5,13	83,17	1,96	0,00	0,00	179,85
274	30,39	1,78	32,17	5,53	42,18	0,97	0,00	0,00	124,31
275	36,24	2,05	38,29	5,35	54,71	1,31	0,00	0,00	109,36
276	29,36	1,76	31,13	5,66	46,48	1,10	0,00	0,00	84,85
277	30,60	1,91	32,50	5,87	48,58	1,15	0,00	0,00	97,87
278	33,02	2,05	35,06	5,83	55,57	1,28	0,00	0,00	90,38
279	32,98	2,00	34,98	5,73	51,89	1,22	0,00	0,00	105,72
280	29,56	1,78	31,34	5,69	57,33	1,15	0,00	0,00	78,89
281	30,43	1,79	32,22	5,56	47,08	1,25	0,00	0,00	129,04
282	30,11	1,76	31,87	5,53	51,97	1,33	0,00	0,00	85,61
283	30,57	1,72	32,28	5,32	49,26	1,25	0,00	0,00	120,04
284	30,44	1,78	32,22	5,51	52,31	1,33	0,00	0,00	102,84
285	31,72	1,76	33,49	5,26	49,09	1,26	0,00	0,00	114,61
286	31,96	1,82	33,78	5,38	49,82	1,28	0,00	0,00	115,44
287	30,51	1,89	32,39	5,82	50,34	1,27	0,00	0,00	96,06
288	29,90	1,59	31,49	5,05	55,31	1,41	0,00	0,00	110,95
289	31,65	1,87	33,52	5,58	54,58	1,39	0,00	0,00	110,42
290	30,34	1,74	32,08	5,43	55,76	1,41	0,00	0,00	117,40

N°	CONDAT GR 30 EP2 (kg)	CONDAT HBW (kg)	CONDAT WR89(kg)	CONSUMO TBM (kWh)	Cu	FRESABILITA' (mm/rot)/MN)	Livello di avanzamento
192	17,60	22,43	405,54	8361,00	0,46	0,34	0,88
193	13,94	17,82	397,53	8362,00	0,42	0,45	0,76
194	14,65	18,90	338,82	8363,00	0,44	0,46	0,83
195	17,48	21,07	314,78	8364,00	0,41	0,47	0,86
196	22,37	28,24	366,34	8365,00	0,20	0,39	0,83
197	13,47	17,84	379,93	7387,11	0,25	0,44	0,34
198	19,05	25,07	368,43	8680,61	0,25	0,39	0,46
199	20,03	23,86	394,04	6670,48	0,47	0,34	1,21

200	19,52	25,82	531,66	8032,92	0,42	0,35	1,08
201	14,96	20,10	375,75	6751,05	0,24	0,40	0,82
202	48,76	68,98	375,75	10663,81	0,22	0,34	1,50
203	16,99	22,15	374,18	6041,05	0,53	0,44	1,31
204	24,79	31,99	930,04	6786,50	0,32	0,50	1,46
205	25,36	31,39	1281,74	6316,00	0,36	0,50	1,04
206	16,31	18,94	321,40	5614,84	0,33	0,53	0,82
207	25,17	34,72	436,89	8531,28	0,26	0,34	1,23
208	15,99	21,96	326,28	5912,55	0,51	0,46	1,17
209	20,03	25,54	684,77	8277,95	0,26	0,39	0,71
210	15,50	21,26	326,97	7028,19	0,33	0,42	0,52
211	13,02	17,75	710,73	5400,58	0,55	0,49	1,33
212	15,95	21,33	509,18	7051,47	0,30	0,48	0,45
213	17,17	26,14	330,46	8227,11	0,26	0,44	0,79
214	12,13	19,65	311,64	6191,88	0,44	0,43	1,10
215	12,16	18,82	320,01	5848,98	0,42	0,44	0,86
216	15,21	23,52	332,72	7360,56	0,49	0,39	1,20
217	15,02	24,22	597,85	8462,98	0,14	0,38	0,21
218	14,50	23,81	415,47	6660,05	0,43	0,39	1,07
219	23,39	39,07	395,26	8203,78	0,34	0,42	1,62
220	14,21	21,22	294,92	6297,25	0,52	0,47	1,33
221	13,41	20,25	316,17	6127,83	0,40	0,47	0,75
222	17,65	27,46	311,65	7486,28	0,33	0,46	0,98
223	21,08	35,09	329,94	8408,33	0,37	0,41	1,33
224	19,21	31,27	363,38	12034,95	0,11	0,36	0,20
225	18,49	31,74	357,63	8630,92	0,37	0,30	1,38
226	23,63	47,38	684,25	13424,92	0,13	0,30	1,16
227	25,94	45,65	439,86	13200,53	0,19	0,30	0,81
228	31,50	49,03	628,68	14294,53	0,10	0,33	1,78
229	23,37	33,54	414,77	9425,95	0,30	0,30	1,09
230	33,50	45,19	622,58	11833,44	0,47	0,29	1,50
231	24,67	29,68	517,37	10657,00	0,47	0,27	0,97
232	23,27	27,48	846,95	8748,27	0,49	0,28	1,69
233	20,93	23,11	455,53	7897,39	0,51	0,32	1,08
234	35,94	39,21	491,07	12023,88	0,37	0,26	1,55
235	19,72	21,74	400,84	8706,25	0,46	0,30	1,27
236	24,68	27,46	474,52	11427,00	0,37	0,26	1,13
237	28,87	30,96	598,89	12408,00	0,42	0,23	1,49
238	5,57	22,80	413,03	8318,83	0,53	0,32	1,28
239	24,48	34,18	515,80	10464,64	0,40	0,28	1,18
240	19,49	26,26	445,08	9256,95	0,41	0,35	1,45
241	19,14	29,54	378,02	8274,00	0,43	0,45	1,37
242	21,02	29,61	464,59	9965,09	0,46	0,38	1,27
243	18,49	26,14	439,68	9040,55	0,55	0,40	1,57
244	23,63	32,83	367,21	11543,91	0,46	0,31	1,13
245	32,80	48,15	586,53	15470,50	0,14	0,25	0,21
246	16,04	22,29	531,65	9495,77	0,22	0,31	0,30
247	20,92	30,47	394,74	13716,50	0,23	0,28	1,11
248	20,81	25,29	395,96	10798,84	0,16	0,35	0,28
249	17,32	22,00	367,74	7737,27	0,50	0,31	1,37
250	22,75	29,38	429,23	12467,30	0,14	0,29	1,18
251	16,35	20,24	420,34	7202,64	0,43	0,34	1,08
252	18,06	22,18	990,66	8728,00	0,44	0,36	1,19
253	25,28	35,28	839,80	11135,55	0,33	0,33	1,73
254	18,26	23,43	385,16	7588,78	0,52	0,43	1,63
255	19,25	24,20	377,49	7550,59	0,51	0,43	1,45
256	20,24	26,48	418,08	8886,22	0,35	0,41	1,39
257	11,38	17,08	264,78	11749,39	0,20	0,34	0,98
258	11,30	16,20	253,29	9670,19	0,40	0,36	1,19
259	19,65	27,74	426,79	11376,49	0,09	0,36	0,36
260	24,59	37,01	844,51	35605,81	0,04	0,31	0,10
261	17,90	29,19	544,37	9908,44	0,42	0,23	0,85
262	30,35	51,59	883,01	17360,48	0,36	0,22	1,65
263	22,42	34,44	575,20	10641,09	0,40	0,32	1,01
264	18,86	26,69	552,73	8638,75	0,55	0,37	1,39
265	19,46	28,43	511,80	10768,72	0,27	0,43	0,89

266	23,21	33,76	471,38	11783,63	0,30	0,39	0,78
267	19,68	27,53	475,22	9962,28	0,47	0,41	1,14
268	21,86	31,84	773,61	10430,44	0,48	0,37	1,69
269	21,14	31,10	495,25	10954,83	0,41	0,45	1,34
270	24,92	37,51	491,07	12912,02	0,23	0,40	1,27
271	20,54	31,76	429,05	11119,19	0,25	0,48	1,42
272	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
273	138,44	325,46	1002,15	14237,00	0,28	0,26	1,28
274	16,16	27,45	417,73	8577,63	0,47	0,41	1,17
275	49,79	112,35	420,17	19642,41	0,12	0,44	0,68
276	18,30	37,80	379,41	11605,75	0,26	0,41	0,39
277	18,93	33,85	441,42	10371,91	0,39	0,42	1,07
278	22,45	43,17	458,15	12646,72	0,20	0,40	0,94
279	25,69	44,75	555,69	14725,63	0,23	0,43	0,36
280	28,04	50,95	380,11	14553,66	0,35	0,47	1,12
281	25,09	42,24	514,24	10668,88	0,50	0,30	1,46
282	26,21	48,30	540,89	11743,53	0,27	0,45	1,27
283	28,50	48,87	521,20	13525,88	0,34	0,37	1,34
284	29,11	52,84	480,79	13300,94	0,33	0,39	1,20
285	25,55	45,13	629,38	11317,84	0,37	0,28	1,25
286	31,35	48,25	632,51	12701,50	0,37	0,36	1,52
287	25,48	35,46	558,13	10723,75	0,50	0,35	1,39
288	27,17	42,82	544,72	13571,31	0,34	0,31	1,46
289	27,87	40,91	514,24	11414,97	0,46	0,34	1,70
290	38,22	58,99	719,61	17105,72	0,28	0,23	1,62

N°	Livello di efficienza	volume scavato / malta iniettata	Indice di qualità diretta del terreno (D.Q.I.)	Indice di Qualità Indiretta del terreno (I.Q.I.)
192	0,01	13,77	2875,95	1,10
193	0,02	15,24	2168,93	0,83
194	0,03	14,93	2130,39	0,84
195	0,11	13,87	2039,43	0,84
196	0,55	15,74	2536,96	0,98
197	0,02	15,71	2171,15	0,85
198	0,19	15,19	2562,33	0,93
199	0,14	14,85	2894,12	1,03
200	0,19	15,24	2875,04	1,13
201	0,47	15,06	2308,11	1,10
202	0,63	15,27	2810,00	1,15
203	0,07	15,42	2212,43	0,97
204	0,46	15,35	1944,06	0,79
205	0,29	15,44	1939,89	0,85
206	0,26	15,46	1816,85	0,55
207	0,53	13,41	2719,28	1,07
208	0,06	15,10	2006,67	1,01
209	0,39	15,90	2407,41	1,15
210	0,05	17,24	2358,77	1,00
211	0,03	16,69	1998,16	0,95
212	0,04	16,82	2039,82	0,94
213	0,40	14,59	2279,46	0,97
214	0,16	17,55	2059,98	0,97
215	0,09	16,32	2031,86	1,08
216	0,10	16,63	2348,59	1,31
217	0,21	17,81	2342,64	1,19
218	0,17	15,31	2252,65	1,08
219	0,46	15,29	2041,38	1,16
220	0,10	15,94	1860,68	1,18
221	0,06	15,21	1815,93	1,17
222	0,33	15,51	1925,54	1,15
223	0,35	14,66	2171,46	1,32
224	0,34	15,57	2644,83	1,39
225	0,36	14,70	2969,63	1,55
226	0,76	14,77	3177,14	1,56
227	0,58	13,03	3021,49	1,80

228	0,84	12,69	2547,92	1,30
229	0,43	11,62	2719,50	1,32
230	0,22	11,00	2974,39	2,01
231	0,04	8,97	2476,70	1,67
232	0,22	8,90	2448,36	1,33
233	0,01	11,13	2132,98	1,26
234	0,39	10,67	2572,98	1,54
235	0,18	13,60	2273,96	1,40
236	0,30	13,57	2706,03	1,63
237	0,30	9,67	3370,90	1,91
238	0,05	13,02	2742,62	1,74
239	0,27	12,67	3318,69	2,24
240	0,31	12,38	2503,90	1,77
241	0,25	12,34	1937,92	1,64
242	0,18	11,35	2270,92	2,01
243	0,11	11,54	2135,60	1,96
244	0,14	11,15	2695,24	2,30
245	0,21	10,84	2650,44	1,66
246	0,04	11,37	2125,64	1,12
247	0,56	10,71	2520,63	1,67
248	0,24	12,65	1860,01	1,24
249	0,14	12,49	2136,60	1,37
250	0,74	12,67	2293,12	1,35
251	0,17	12,26	1938,15	1,21
252	0,19	12,10	1914,86	1,36
253	0,48	13,11	2453,23	1,58
254	0,16	12,90	2056,85	1,73
255	0,14	12,75	2055,41	1,65
256	0,40	13,16	2136,56	1,79
257	0,61	23,68	2597,92	1,86
258	0,26	22,96	2529,92	1,83
259	0,66	12,04	2500,96	1,85
260	0,54	10,12	3206,65	1,62
261	0,08	12,99	3938,22	2,04
262	0,43	11,25	4140,78	2,81
263	0,21	11,95	2997,22	2,06
264	0,05	11,47	2635,78	1,88
265	0,43	11,48	2318,22	1,71
266	0,31	11,31	2384,42	2,00
267	0,11	11,20	2253,80	2,13
268	0,24	11,24	2598,51	2,11
269	0,29	11,11	2171,38	2,18
270	0,59	11,11	2343,41	2,14
271	0,58	11,68	1953,50	1,74
272	0,00	0,00	0,00	0,00
273	0,49	13,51	3648,73	2,14
274	0,13	11,91	2452,55	1,83
275	0,71	10,00	2259,70	1,90
276	0,10	12,31	2128,82	1,96
277	0,24	11,78	2160,68	1,88
278	0,58	10,92	2158,05	1,77
279	0,12	10,95	2245,13	1,88
280	0,33	12,22	1832,80	1,85
281	0,16	11,89	3077,08	2,58
282	0,51	12,02	2156,30	1,97
283	0,42	11,86	2742,45	2,19
284	0,40	11,89	2543,12	2,14
285	0,34	11,44	3683,73	1,83
286	0,38	11,34	2636,77	2,22
287	0,14	11,82	2512,66	2,23
288	0,44	12,16	2741,88	2,18
289	0,27	11,43	2448,70	1,74
290	0,55	11,94	3832,08	2,39