Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale

Sapienza Università di Roma

GEEG Geotechnical & Environmental Engineering Group

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

FOIR

Convegno

Ricerca e Innovazione per lo sviluppo di opere di ingegneria in sotterraneo

Roma, 26 Febbraio 2026 - Aula del Chiostro - San Pietro in Vincoli - Via Eudossiana 18, Roma

Ing. Salvatore Barrasso

Consorzio Hirpinia AV

Dott. Stefano Lupi

AB Tunnelling

Galleria Rocchetta - Esperienza di scavo in arenaria: sfide e soluzioni innovative

HirpiniaAV

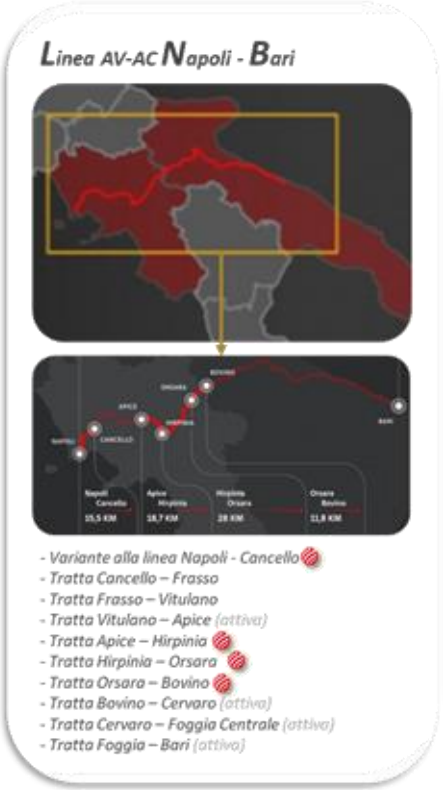
AB Tunnelling

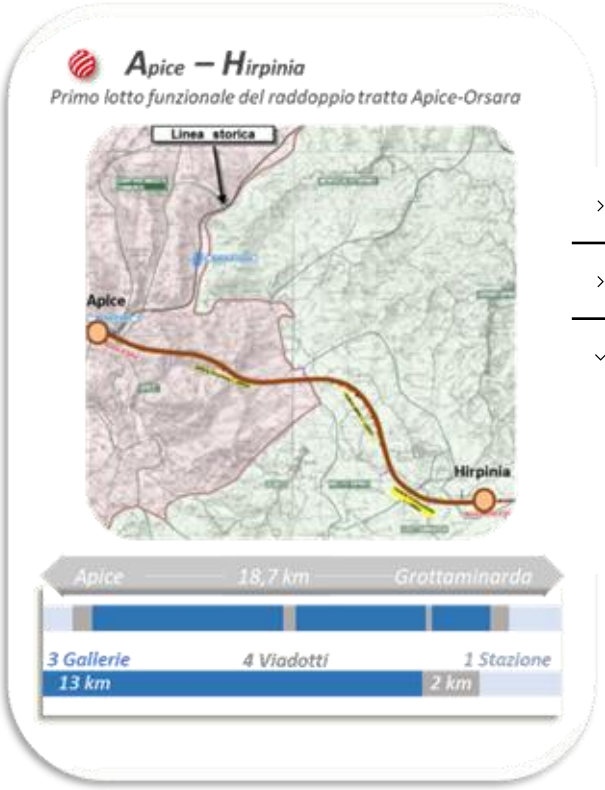
www.ing.uniroma1.it - www.geeg.it – www.ording.roma.it

Indice

- I lavori del lotto Apice Hirpinia
- Inquadramento geologico
- Abrasività della BNA3
- Problematiche riscontrate
- Equipaggiamento della TBM
- I parametri della TBM ed il condizionamento
- L'usura dei taglienti
- Strategie per minimizzare l'effetto dell'usura
- Risultati
- Conclusioni

I lavori del lotto Apice Hirpinia

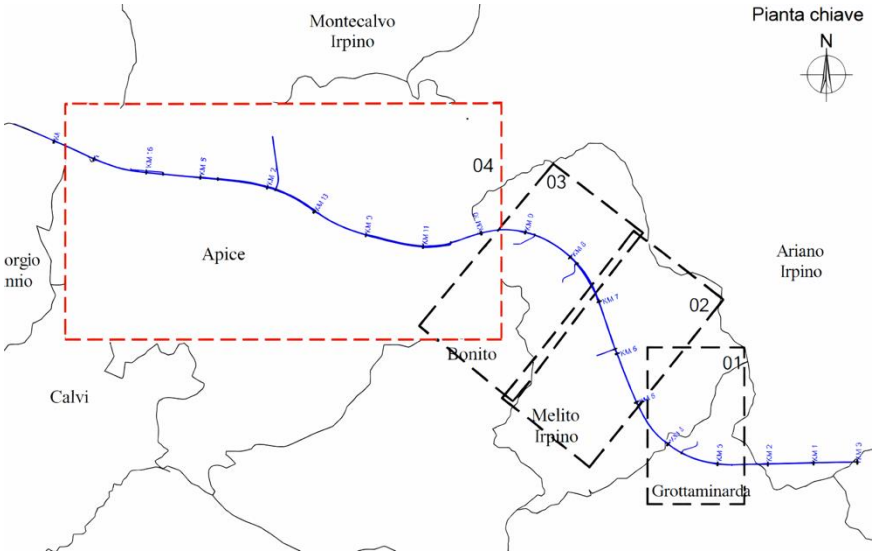




›	Galleria Grottaminarda	1.965 m
›	Galleria Melito	4.413 m
⌄	**Galleria Rocchetta**	**6.455 m**

Diametro di scavo:	12.200 mm
Diametro interno:	10.800 mm
Pendenza:	1% salita
Min. raggio di curvatura:	2.002 m
Lunghezza avanzamento	1,80 m

Inquadramento geologico
Galleria Rocchetta



Il tracciato della galleria Rocchetta intercetta interamente la **Formazione della Baronia:**

Dall'imbocco lato Napoli (pk 16+565) fino alla pk 15+125:
BNA3: Membro sabbioso di Apollosa - sabbie alternate ad areniti giallastre a grana media e fine, poco cementate.

Dalla pk 15+125 fino al termine dello scavo:
BNA2: Membro pelitico - arenaceo del F. Miscano - marne ed argille marnose di colore grigiastro.

Abrasività della BNA3

Analisi su tre campioni del litotipo BNA3:

Blocchi di sabbia addensata

(campione A)

Blocchi di roccia – arenaria

(campione B)

Spezzone di carota lapideo

(campione C)

	A	B	C
Analisi mineralogica quantitativa (DRX)	x	x	x
Determinazione dell'indice di abrasione CAI (prova CERCHAR)		x	x
Analisi granulometrica	x		
Determinazione dell'indice di abrasione LAC (prova LCPC)	x		
Determinazione dell'indice DRI • prova di perforabilità Sievers - paramentro SJ • prova di Brittleness - parametro S_{20}		x	

Analisi mineralogica quantitativa

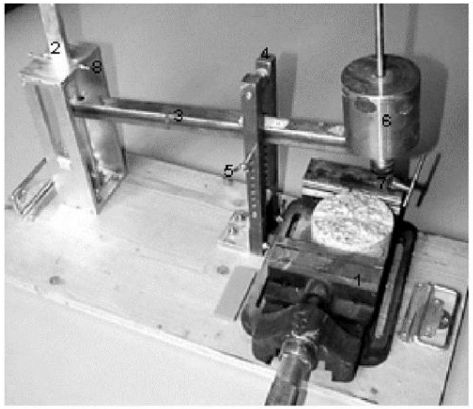
Minerali identificati	Durezza Vickers dei minerali* (kg/mm^2)	Campioni		
		A	B	C
Quarzo	1060	58	47	35
Calcite	125	12	24	33
Plagioclasi	800	11	12	15
K-feldspato	730	8	11	6
Mica/Illite	110	5	4	5
Caolinite	-	3	-	3
Clorite	50	2	1	2
Dolomite	365	1	1	1

Tutti i campioni risultano composti principalmente da quarzo, calcite, plagioclasi e k-feldspato, con modeste frazioni di minerali argillosi, mica, clorite e dolomite. Il campione A presenta il maggior contenuto in quarzo.

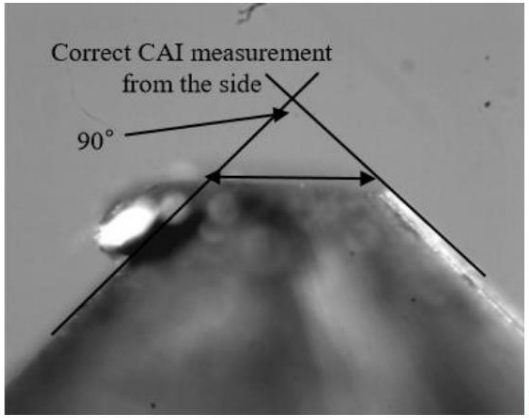
Determinazione dell'indice di abrasività

Prova Cerchar – Indice di abrasione CAI

Questa prova, standardizzata dalla ASTM D7625, permette di valutare l'abrasività della roccia attraverso l'indice CAI (Cerchar Abrasivity Index), correlato al consumo dei cutters. La prova consiste nella misura del consumo di una punta d'acciaio di durezza HRC 55 fatta scorrere per 10 mm in 10 s sulla superficie di un campione di roccia, sotto un carico di 70 N. L'indice CAI si ottiene moltiplicando per 10 la larghezza usurata della punta d'acciaio espressa in centesimi di mm, misurata con un microscopio.



a)



b)

a) Apparecchiatura della prova Cerchar; b) dettaglio della punta usurata dopo la prova

Determinazione dell'indice di abrasività

Indice di abrasione LCPC

La prova LCPC è stata sviluppata nel 1990 dai Laboratoires des Ponts et Chaussées.
L'apparato di prova consiste in una barretta d'acciaio che ruota per 5 minuti all'interno di un campione da 500 g, costituito da roccia frantumata o terreno con una granulometria compresa tra 4.0 e 6.3 mm. La barretta ha dimensioni di 25 mm x 50 mm x 5 mm ed è realizzata in una lega di acciaio relativamente tenera, con una durezza Rockwell B compresa tra 60 e 75.
La velocità di rotazione è 4500 rpm.

Dopo il test, la perdita di peso dell'utensile viene misurata per ottenere il coefficiente di abrasività LCPC calcolato come:

$LAC=(m0-m) / M$ [g/t]

dove (m_0 - m) è la perdita di peso in grammi della barretta e M è il peso del campione.

Indice di abrasività litotipo BNA3

Campione	CAI
B	2.4
C	2.28

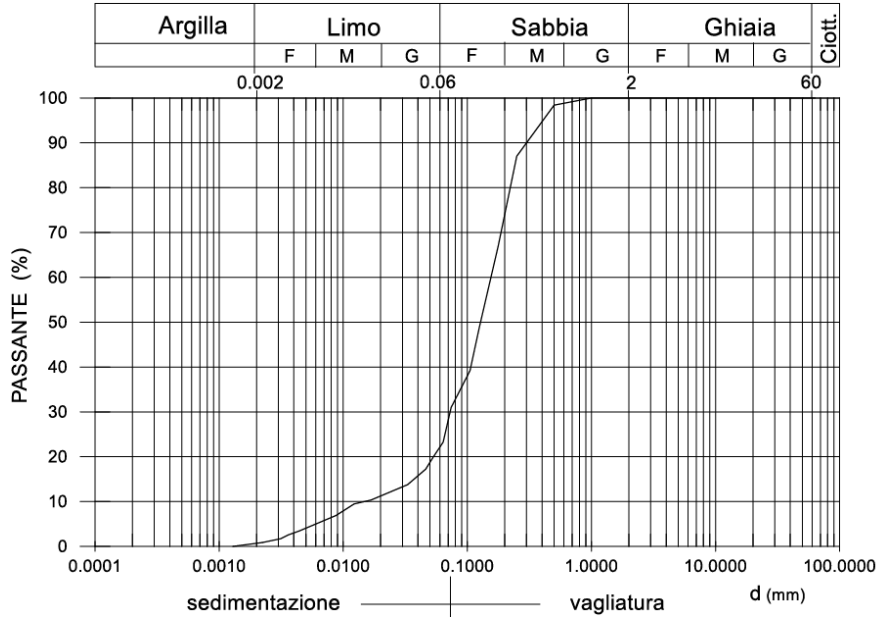
Class	Mean *CAI*	Classification
I	0.1-0.4	Extremely low
II	0.5-0.9	Very low
III	1.0-1.9	Low
IV	2.0-2.9	Medium
V	3.0-3.9	High
VI	4.0-4.9	Very high
VII	5.0	Extremely high

L'indice CAI ottenuto per entrambi i campioni risulta essere "medio".

Campione B → blocchi di roccia – arenaria - 47% quarzo
Campione C → spezzone di carota lapideo – 35% quarzo

Indice di abrasività litotipo BNA3

L'analisi granulometrica del **campione A** mostra che i blocchi di sabbia addensata sono composti per l'80% da sabbia e per il 20% da limo.

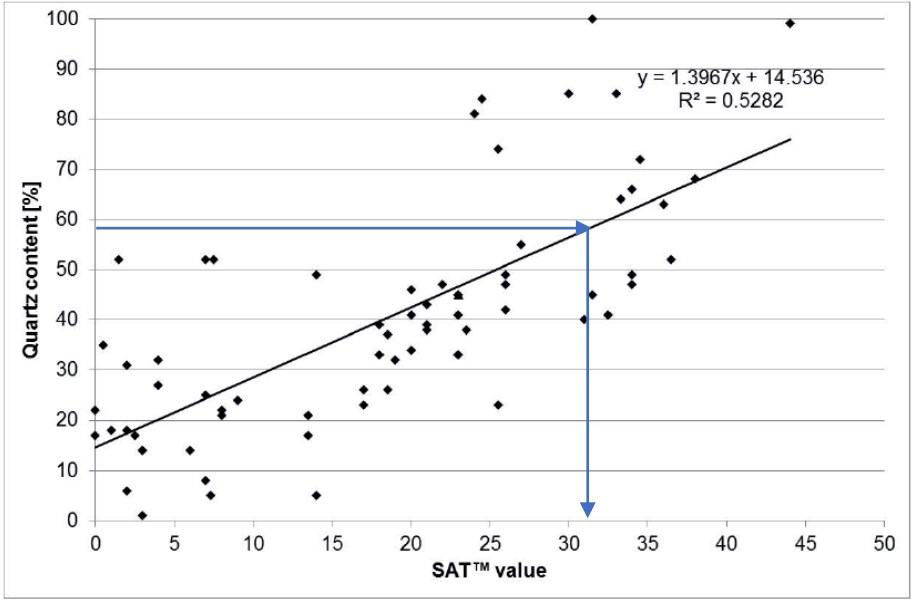


Curva granulometrica del campione A

Questa granulometria impedisce la determinazione dell'abrasività sia attraverso la prova Cerchar che LCPC (valido per granulometrie comprese tra 4 e 6.3 mm).

Indice di abrasività litotipo BNA3

Per il **campione A** si è scelto di valutare il valore dell'indice SAT (Soil Abrasion Test), piuttosto diffuso per valutare l'abrasività dei terreni sciolti, correlandolo al quantitativo di quarzo.



Correlazione tra SAT e contenuto di quarzo

Un indice SAT di 30 indica che l'abrasività del materiale implica una usura costante dei componenti

Problematiche riscontrate

MANUTENZIONI FREQUENTI

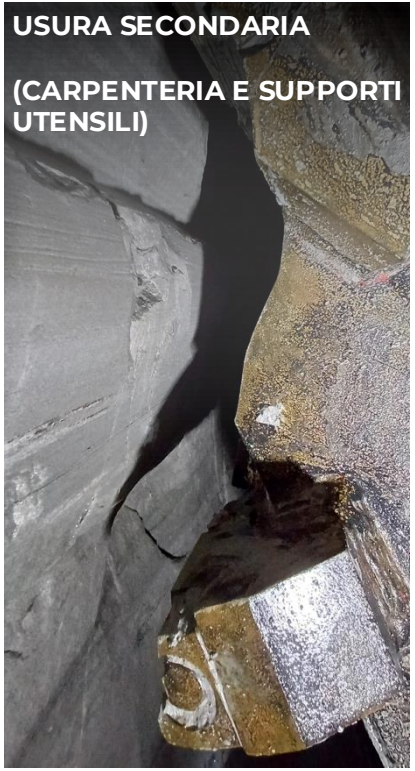
ELEVATA PERCENTUALE DI UTENSILI SOSTITUITA

USURA CUTTER ANOMALA

PARAMETRI MACCHINA COMPROMESSI

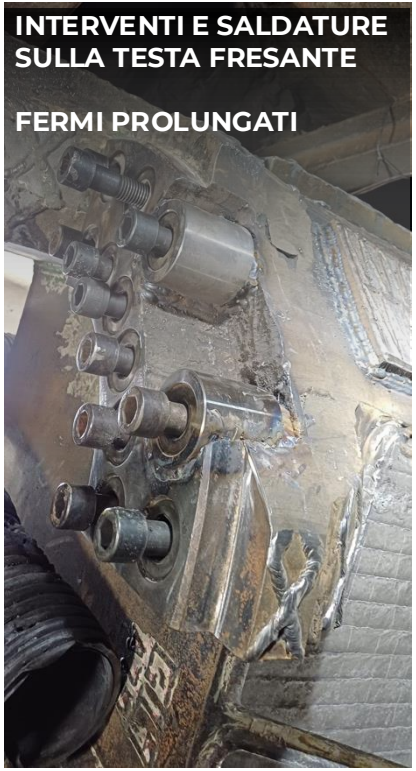
USURA SECONDARIA

(CARPENTERIA E SUPPORTI UTENSILI)

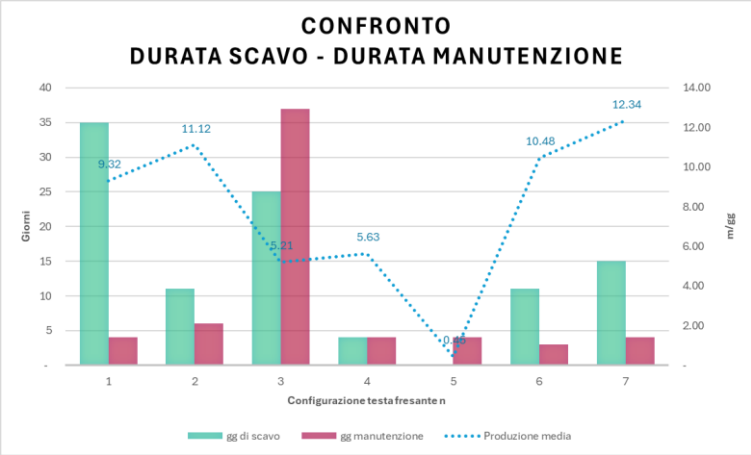


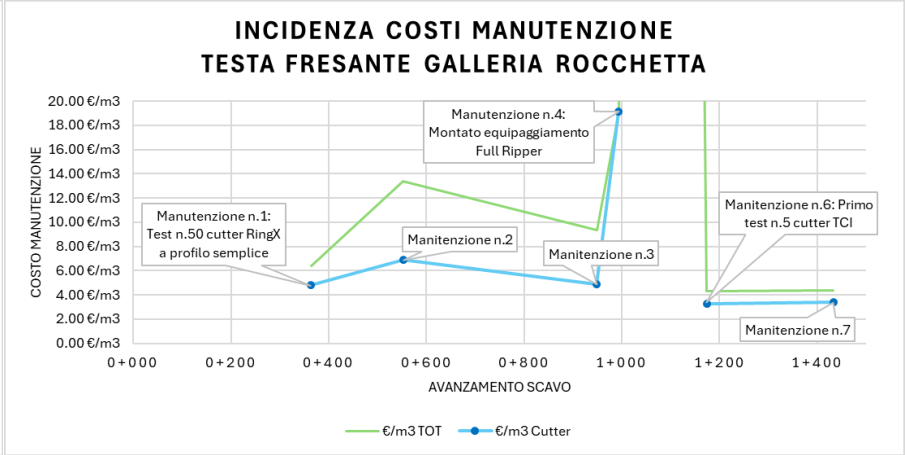
INTERVENTI E SALDATURE SULLA TESTA FRESANTE

FERMI PROLUNGATI



Problematiche riscontrate





Mediamente:

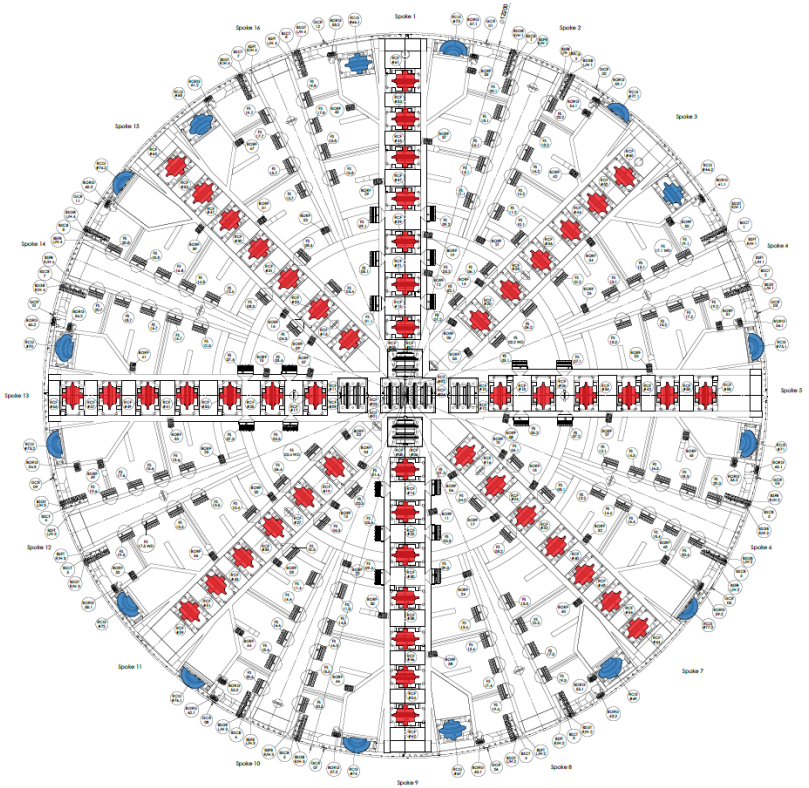
- 9 giorni di manutenzione ogni 15 giorni di scavo
- Avanzamento produttivo: 7,8 m/gg
- Incidenza economica cutter sostituiti: 7,07 €/m3

I parametri della TBM ed il condizionamento

- Avanzamento (15 ÷ 18 mm/giro)
- RPM testa 1,8
- Spinta totale 25.000 kN

- Condizionamento:
  - **% agente schiumogeno** 1,2
  - **FER** 1:9 ÷ 1:13
  - **FIR** > 100%
  - **Acqua aggiunta** : 100 m^3/anello (escluso acqua schiume)

Equipaggiamento ottimizzato della TBM



73	rippers,
112	scrapers
16	bucket periferici
6	bidisco 18” centrali
69	cutter singoli 18”

16x Tagliente 18” RingX migliorato

53x Tagliente 18” TCI + HF

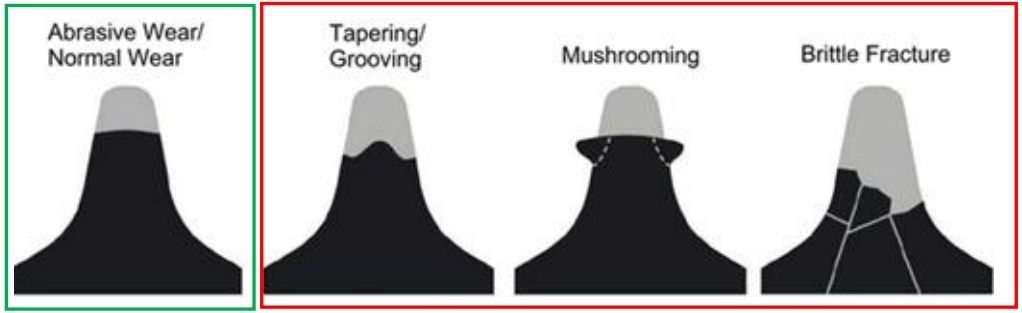
L’usura dei taglienti

Meccanismi di consumo del tagliente

I meccanismi di consumo «indesiderati» dei taglienti sono per la maggior parte attribuibili:

> All’effetto dell’usura della roccia (tapering);
> Alla ricalcatura del profilo (mushrooming);
> Alle sollecitazioni d’urto (brittle fracture).

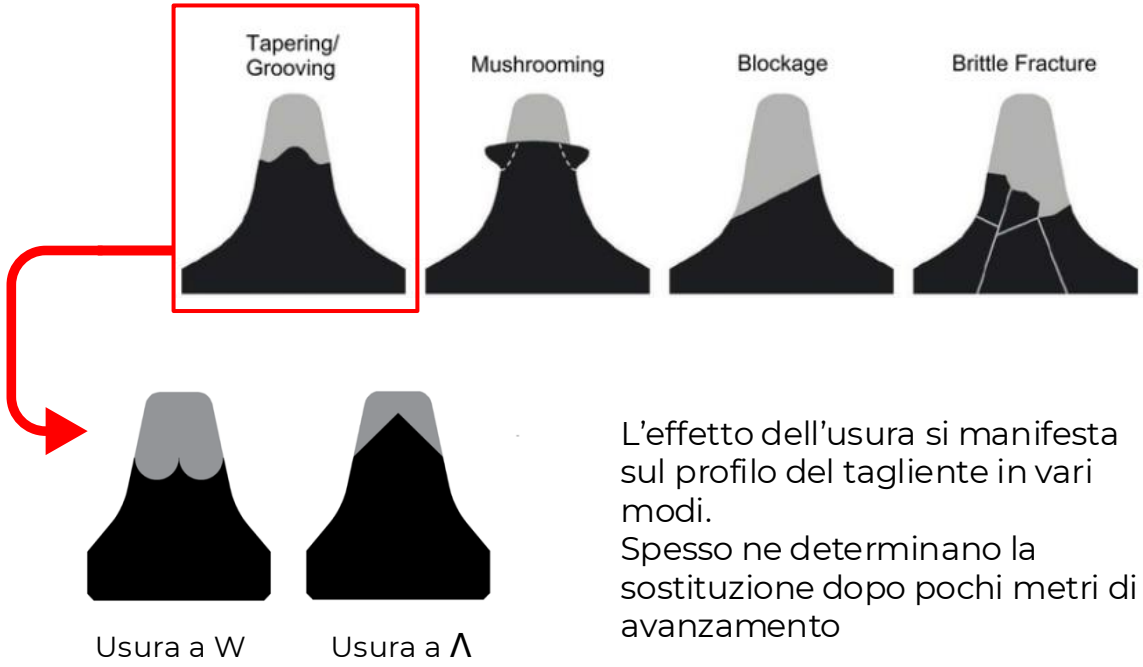
Usura regolare, sufficientemente prevedibile, tale da permettere una pianificazione dell’attività manutentiva.



L’usura secondaria del tagliente rappresenta una problematica pericolosa per lo scavo in quanto si tratta di fenomeni irregolari e imprevedibili, da cui si può sviluppare anche una usura sulla testa di scavo.

L’usura dei taglienti

L’ usura del tagliente – la famiglia del Tapering / Grooving

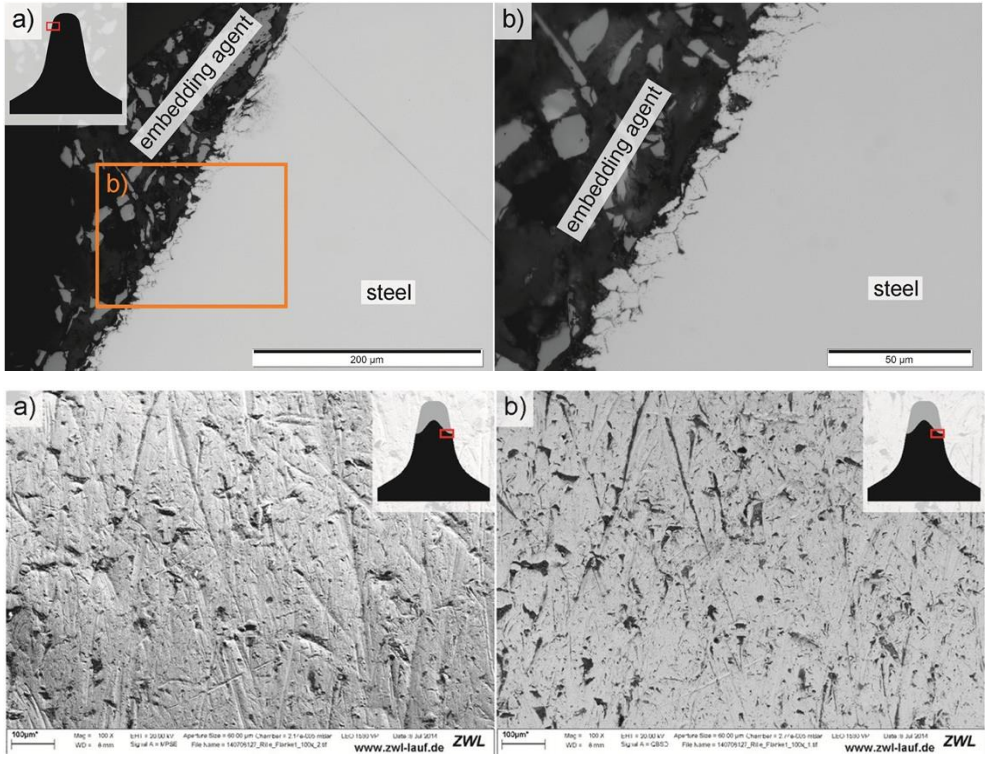


L’effetto dell’usura si manifesta sul profilo del tagliente in vari modi.
Spesso ne determinano la sostituzione dopo pochi metri di avanzamento

ROCCHETTA - Usura a W

L’usura dei taglienti

Usura meccanica



Azione meccanica

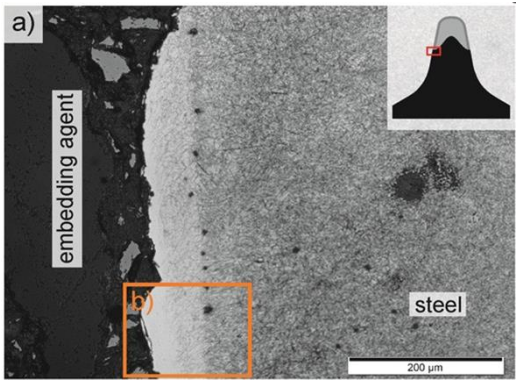
Le particelle minerali penetrano nell'acciaio.

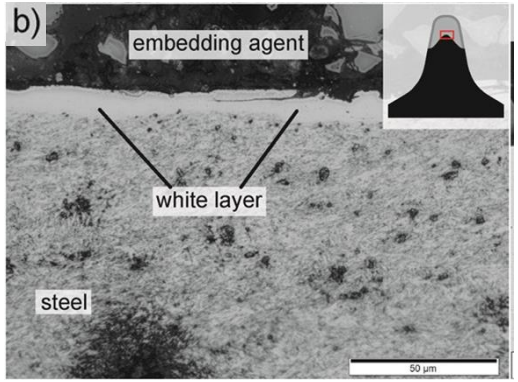
I minerali che possono intaccare l'acciaio sono quelli più duri dei cristalli dell'acciaio.

Il quarzo penetra nella struttura cristallina dell’acciaio.

L’usura dei taglienti

Il White Etching Effects – Effetti di attacco bianco





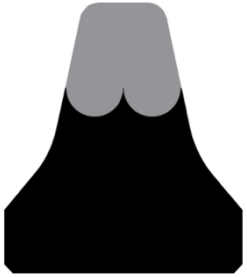
Cosa è

A causa di stress meccanici e termici intensi, la struttura originale dell'acciaio subisce un cambiamento drastico.

Si formano zone (bianche) particolarmente dure e fragili che si staccano (spalling) dal corpo dell’utensile.

Il tagliente affetto da questo fenomeno appare lucido e brillante.

Causa dell’usura a W



Usura Meccanica

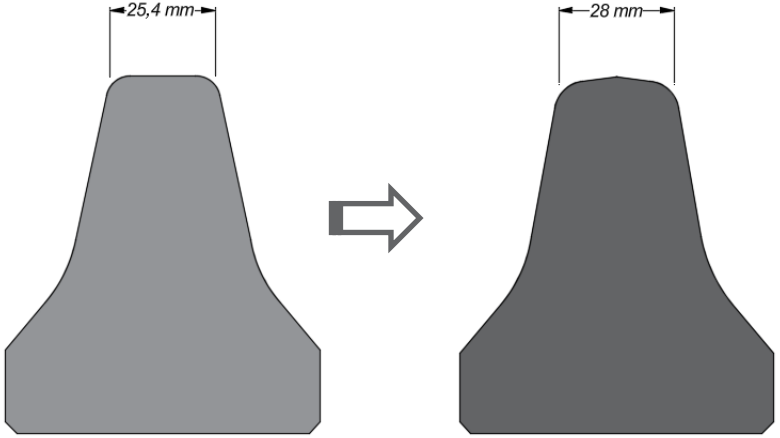
L'arenaria descritta precedentemente (con alta % di quarzo), i granuli di silice sono più duri della struttura cristallina dell’acciaio.
I detriti di scavo rimangono intrappolati tra la cuspide piatta del tagliente e la roccia. Non potendo defluire, agiscono come una mola abrasiva.
Sulla cuspide piatta si crea una zona di ristagno di materiale abrasivo che è la principale causa della formazione dell’usura a W del tagliente

Il ruolo del White Etching Layer

Il White Etching si forma a causa delle alte pressioni cicliche con cui il materiale abrasivo ristagna sulla cuspide del tagliente durante il rotolamento dell’utensile.
A causa ci ciò si forma uno strato molto duro ma estremamente fragile che si scheggia sotto i micro-urti dei granuli di quarzo.
Una volta rimosso lo strato il metallo sottostante viene nuovamente esposto a questo trattamento e il processo ricomincia.

Strategie per minimizzare l’effetto dell’usura

Azioni correttive

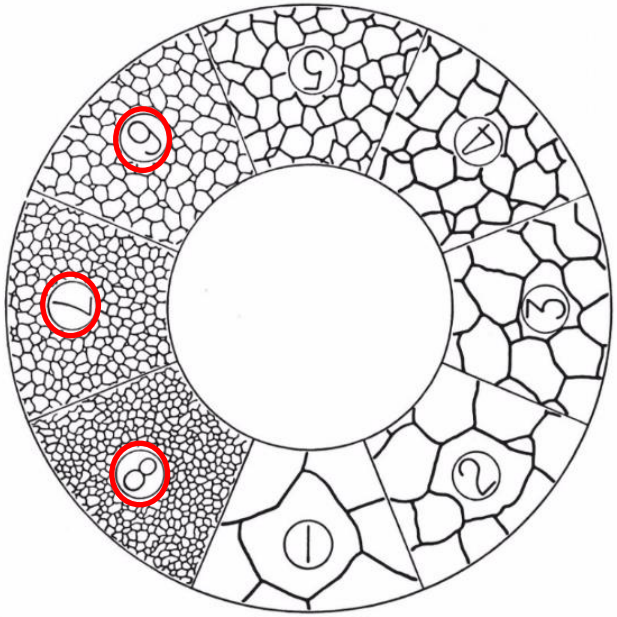


Modifica design del profilo

L'angolo sulla cuspide favorisce la fratturazione laterale.
La punta "punge" la roccia e scarica immediatamente i detriti verso l'esterno. Questo riduce il tempo di permanenza della polvere abrasiva sulla faccia dell'utensile, limitando l'usura localizzata che causa la sella centrale.

Strategie per minimizzare l’effetto dell’usura

Azioni correttive



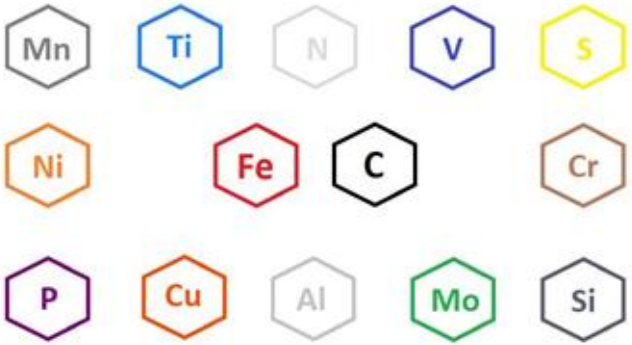
Affinamento del grano cristallino dell’acciaio

La norma ASTM E112 caratterizza la dimensione media del grano nei materiali metallici.

Per aumentare la resistenza all’abrasione è importante avere un grano cristallino fine (almeno G6), questo perché la densità dei bordi di grano è altissima e se inizia una micro-fessura dovuta allo sfregamento, questa viene bloccata molto più velocemente dalla fitta rete di bordi di grano, limitando l’effetto dell'usura.

Strategie per minimizzare l’effetto dell’usura

Azioni correttive



Chimica dell’acciaio

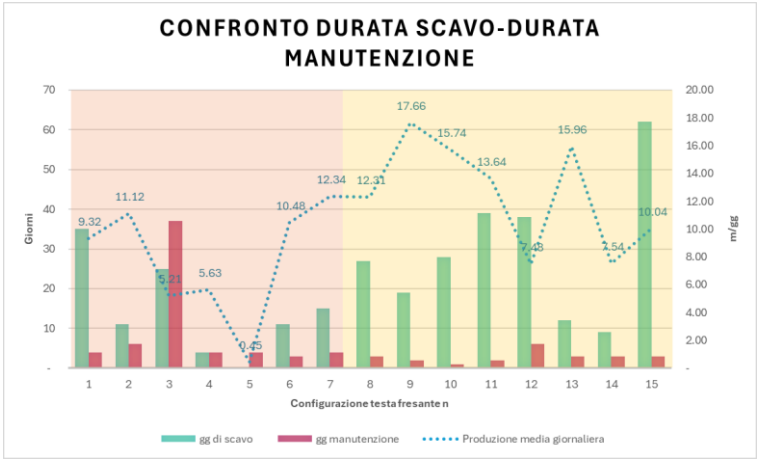
Per aumentare la resistenza all’abrasione, l’acciaio deve essere ricco di vanadio e cromo, due elementi capaci di formare carburi particolarmente resistenti all’abrasione.

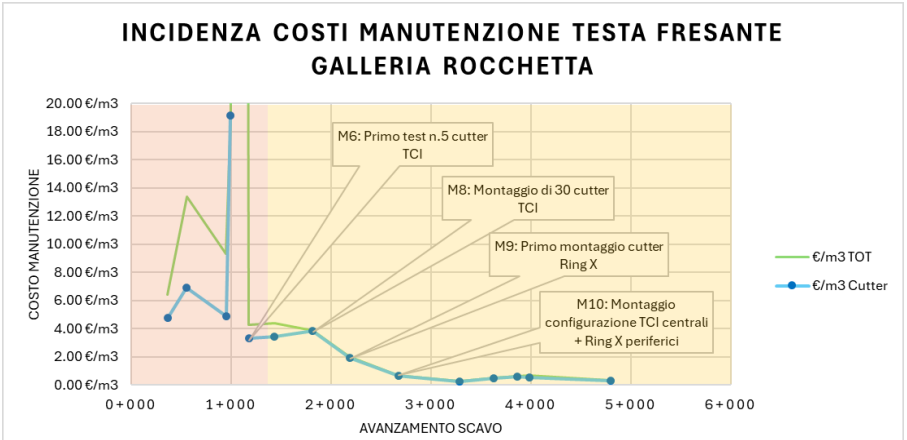
Risultati

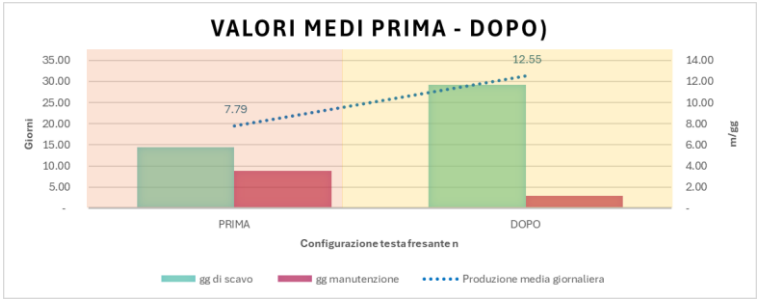
L’usura del profilo è più uniforme e molto rallentata nel tempo.

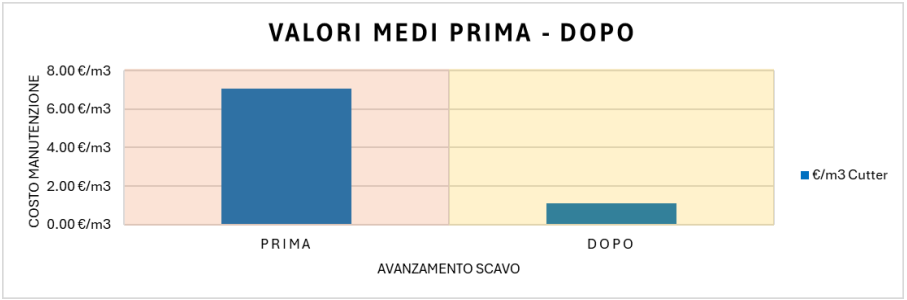
Nelle 16 posizioni periferiche dove viene impiegato questa tipologia di tagliente, i cutters vengono sostituiti dopo 350 ÷ 400 metri.

Conclusioni









COLLABORAZIONE
CONDIVISIONE
FIDUCIA

Grandi risultati conseguibili solo mediante la sinergia tra impresa e fornitore

Contatti

Ing. Salvatore Barrasso
s.barrasso@hirpinia-av.it
+39 3895136484

Dott. Stefano Lupi
lupi@abtunnelling.it
+39 3666059253