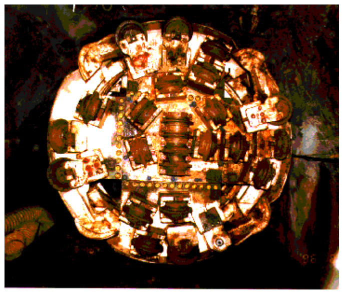
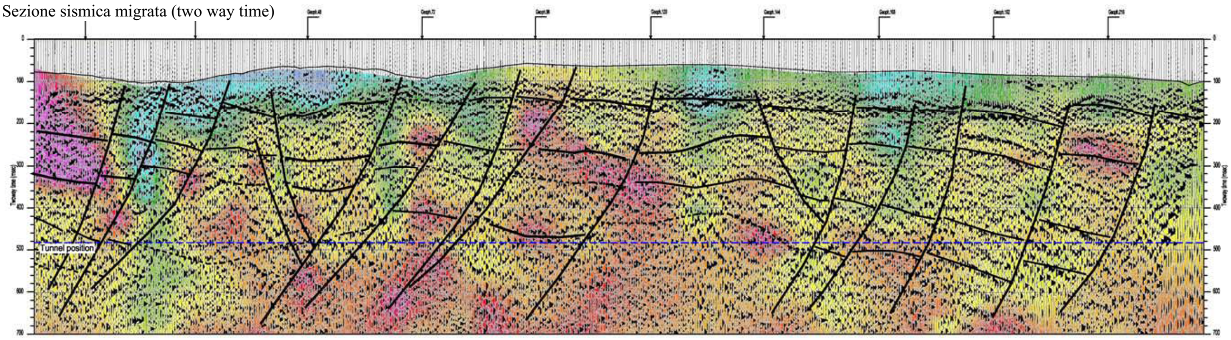
L'ELABORAZIONE DEI VALORI DELLA VELOCITÀ SISMICA DI INTERVALLO HA CONSENTITO, MEDIANTE LA COSTRUZIONE DI UN MODELLO STATISTICO-NEURALE, DI PREDEFINIRE I TEMPI DI SCAVO DI UNA GALLERIA CON TBM.

Antonio Maria Baldi – S.G.G. - Siena (Italia) baldi@sgg.it
Gabriele Ceveneini – Dipartimento di Chirurgia e Bioingegneria Università degli Studi di Siena – Siena (Italia) cevenini@unisi.it
Roberto Gambassi – Microcosmos – Siena (Italia) roberto@microcosmos.coop
Duccio Notari – S.G.G. - Siena (Italia) notari@sgg.it

Durante lo scavo di una galleria idraulica, della lunghezza di circa 26 km, realizzata mediante l'attacco dai due fronti con due TBM, si è offerta la possibilità di costruire un modello di simulazione che riuscisse a prevedere le zone di difficoltà nello scavo ed in subordine il tempo complessivo di scavo. La galleria interessava esclusivamente dei litotipi vulcanici effusivi ed era caratterizzata da una copertura media di 700 m con un massimo di ben 1.200 m. L'interpretazione del profilo sismico a riflessione con copertura 24esima ha permesso di ricostruire l'assetto stratigrafico e tettonico sull'asse della galleria.
L'elaborazione dei dati sperimentali ha altresì permesso di definire, in corrispondenza dell'asse della galleria, la velocità intervallo desunta su ogni singola traccia che costituisce l'insieme del profilo. Tale valore numerico, non corrisponde alla velocità sismica che si ottiene con la sismica a rifrazione, ma fornisce ugualmente un'idea complessiva delle caratteristiche di resistenza della roccia. Tale valore di velocità si ricava dalle singole tracce sismiche in relazione ai vari orizzonti riflettenti; il valore di velocità di intervallo può comunque essere posto in relazione con le caratteristiche di resistenza della roccia e fornisce un elemento riassuntivo della sua integrità o alterazione.
Sulla base di tale parametro è stato predisposto un modello di elaborazione statistica lungo tutto l'asse della galleria con passo di campionamento, sia per la parte già perforata che per quella ancora da perforare, di 1 metro.



Sezione sismica migrata (two way time)



Velocità intervallo
(Formula di Dix)

$$Vi = \sqrt{\frac{v_2 t_2 - v_1 t_1}{t_2 - t_1}}$$

PER LA ZONA GIÀ ESCAVATA	PER LE PARTI DA ESCAVARE
- *Litologia effettiva*	- *Litologia presunta*
- *Spessore copertura*	- *Spessore copertura*
- *Velocità oraria di avanzamento TBM*	- *Aree di rischio geologico presunto*
- *Tempi legati alla logistica di cantiere*	
- *Velocità giornaliera di avanzamento TBM*	
- *Dati macchina (giri/minuto, efficienza, pressione)*	
- *RMR*	
- *Classe di scavo*	
- *Presenza di acqua*	
- *Velocità sismica di intervallo*	- *Velocità sismica di intervallo*
- *Presenza di lineazioni tettoniche (compresa una fascia di approssimazione)*	- *Presenza di lineazioni tettoniche (compresa una fascia di approssimazione)*

Per le parti già escavate dalla TBM la velocità di intervallo è stata posta in relazione con la velocità oraria di avanzamento della fresa ed inoltre si è tenuto conto anche di tutti i tempi di manutenzione; più in particolare i parametri su cui è stata possibile la costruzione del modello sono stati quelli della tabella riportata a fianco.
Il modello statistico neurale consente, una volta verificata la bontà del fitting del modello stesso sui dati provenienti dalla zona già scavata, di estendere le stime alla zona in predizione oltre il fronte di scavo e fornire indicazioni circa i vari tempi di avanzamento previsti per la TBM in relazione all'interpretazione del profilo sismico a riflessione. Alle varie progressive individuate sono state altresì poste delle indicazioni circa la presenza di lineazioni, le caratteristiche litologiche attese.

Dati provenienti dalla TBM

Progressiva (km)	Spessore copertura (m)	Data	Scheda n°	Giorni di blocco	Avanzamento giornaliero (m)	Tempo per 1 metro (h)	% tempo utile	Avanzamento specifico della giornata	Tempo impiegato per l'escavazione (h)	Tempo impiegato per riparazione guasti (h)	Tempo impiegato per ritardi logistici (h)	Tempo impiegato per motivi geologici (h)	Tempo impiegato per problemi al laser (h)	Tempo impiegato per problemi vari (h)	Manutenzione (h)	Litologia 1=H B, 2=B B, 3=A B, 4=B O, 5=W A/T, 6= P T 7=...	RMR	Classe	Presenza acqua assente=0, venuta minore =1, venuta principale=2	Efficienza %	Giri minuto	Pressione N=1 NH=2 H=3 SH=4
POSIZ	SPESCOP	DATA	SCHEDA	GGBLOCCO	METRGG	T_METRO	PERCUTIL	METRH	TESCAV	TRIPAR	TRITAR	TGEOL	TLASER	TVARI	TMANUT	LITOL	RMR	CLASSE	ACQUA	EFFIC	GIRIMIN	PRESS
19+044	355	15/01/07	533		21.8	1.10	47.0	2.64	11.3	0.0	1.6	0.0	0.0	1.0	10.1	5	32	4	0	34.3	99.9	0
19+045	355	15/01/07	533		21.8	1.10	47.0	2.64	11.3	0.0	1.6	0.0	0.0	1.0	10.1	5	32	4	0	34.3	99.9	0
19+046	355	15/01/07	533		21.8	1.10	47.0	2.64	11.3	0.0	1.6	0.0	0.0	1.0	10.1	5	32	4	0	34.3	99.9	0
19+047	355	15/01/07	533		21.8	1.10	47.0	2.64	11.3	0.0	1.6	0.0	0.0	1.0	10.1	5	32	4	0	34.3	99.9	0
19+048	355	15/01/07	533		21.8	1.10	47.0	2.64	11.3	0.0	1.6	0.0	0.0	1.0	10.1	5	32	4	0	34.3	99.9	0
19+049	355	15/01/07	533		21.8	1.10	47.0	2.64	11.3	0.0	1.6	0.0	0.0	1.0	10.1	5	81	1	0	34.3	99.9	0
19+050	350	15/01/07	533		21.8	1.10	47.0	2.64	11.3	0.0	1.6	0.0	0.0	1.0	10.1	5	81	1	0	34.3	99.9	0
17+297	860																					
17+298	860																					
17+299	860																					
17+300	855																					
17+301	855																					
17+302	855																					
17+303	855																					
17+304	855																					
17+305	855																					

Dati provenienti dall'interpretazione geofisica

Progressiva (km)	Formazione: Bot=1 Tj=2 Rj=3 Bw=4	Orizzonti Dot=31 D=32 Rj=33 Bw=34 Tj=35 Al=36 Tm=7	Effetto richiamo valle 1=presente	Superficie 1=esposta 2=rilassata	Tettonica: 1=fratture 2=faglie	Rigetto tettonico: 1=basso 2=alto	Zona con cunei distensivi 1=aperti	Velocità sismica (m/s)
POSIZ	FORMAZ	ORIZZ	EFFVALLE	SUPESPOS	TETTON	RIGTETT	CUNEI	VELSISM
19+044	3	36	0	1	0	0	0	3917
19+045	3	36	0	1	0	0	0	3917
19+046	3	36	0	1	0	0	0	3917
19+047	3	36	0	1	0	0	0	3917
19+048	3	36	0	1	0	0	1	3917
19+049	3	36	0	1	0	0	1	3917
19+050	3	36	0	1	0	0	1	3933
17+297	2	35	0	0	0	0	0	4154
17+298	2	35	0	0	0	0	0	4154
17+299	2	35	0	0	0	0	0	4154
17+300	2	35	0	0	0	0	0	4154
17+301	2	35	0	0	0	0	0	4154
17+302	2	35	0	0	0	0	0	4154
17+303	2	35	0	0	0	0	0	4154
17+304	2	35	0	0	0	0	0	4154
17+305	2	35	0	0	0	0	0	4152

Dati predittivi dal modello

Progressiva (km)	% di tempo utile previsto	pressione indicata	classe predetta	RMR predetto	velocità di scavo in metri giornalieri	giorni stimati per scavare un metro	ore stimate per scavare un metro	stima velocità di scavo, uguale METRGG_S quando non ci sono dati reali. Se negativa c'è un sospetto di blocco	giorni progressivi
	STIME (N.B.: al posto delle stime ci sono i valori reali)								
POSIZ	PUTIL_S	PRESS_S	CLASS_S	RMR_S	METRGG_S	GG_METR	ORE_METR	M_GG_MOD	GG_PROGR
19+044	46.96	0	4	32	21.8	0.05	1.1	22.2	0.05
19+045	46.96	0	4	32	21.8	0.05	1.1	22.2	0.10
19+046	46.96	0	4	32	21.8	0.05	1.1	22.2	0.15
19+047	46.96	0	4	32	21.8	0.05	1.1	22.2	0.20
19+048	46.96	0	4	32	21.8	0.05	1.1	21.4	0.25
19+049	46.96	0	1	81	21.8	0.05	1.1	23.4	0.30
19+050	46.96	0	1	81	21.8	0.05	1.1	23.4	0.35
17+297	37.94	0	1	53	1.0	1.00	24.0	-1.0	9.308
17+298	37.94	0	1	53	1.0	1.00	24.0	-1.0	9.309
17+299	37.94	0	1	53	1.0	1.00	24.0	-1.0	9.310
17+300	37.81	0	1	53	1.0	1.00	24.0	-1.0	9.311
17+301	37.81	0	1	53	1.0	1.00	24.0	-1.0	9.312
17+302	37.81	0	1	53	1.0	1.00	24.0	-1.0	9.313
17+303	37.81	0	1	53	1.0	1.00	24.0	-1.0	9.314
17+304	37.81	0	1	53	1.0	1.00	24.0	-1.0	9.315
17+305	37.81	0	1	53	1.0	1.00	24.0	-1.0	9.316

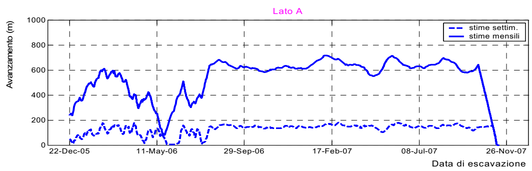
Più in particolare l'elaborazione ha indicato la previsione quantitativa, fino alla conclusione degli scavi stessi, in termini di :

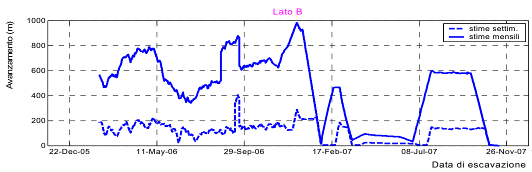
- *Ipotesi di avanzamento giornaliero (m/giorno)*
- *Progressiva raggiunta in relazione al giorno di calendario;*
- *Data di ricongiungimento delle due TBM.*

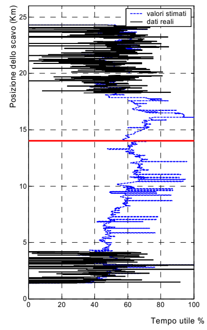
differenziandone le uscite in base a

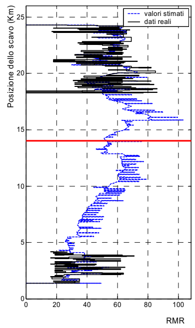
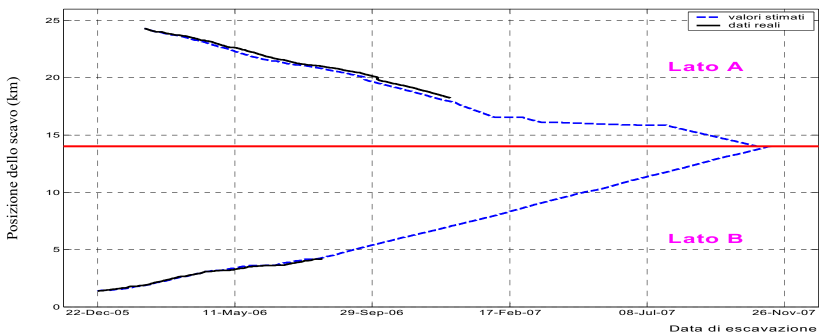
- *Le ore di funzionamento della fresa (m/ora)*
- *La Classe di scavo prevista*
- *La RMR previsto*

elementi questi, che potevano essere lasciati liberi di variare in corso d'opera anche con la finalità di ottimizzare la gestione ordinaria del lavoro sui due tratti di scavo.









Inoltre il modello rigenerava automaticamente la previsione utilizzando i nuovi dati relativi allo scavo introdotti a seguito dell'avanzamento delle due TBM, fino a perfezionare le stime con una tecnica di apprendimento progressivo che finisce per raggiungere una sempre maggiore attendibilità della previsione essendo la stessa supportata da un maggior numero di dati di ingresso.
Si ritiene quindi che l'analisi statistico-neurale che utilizza come dati di ingresso le risultanze della prospezione sismica, raggiunga la sua massima utilità e fornisca informazioni preziose fin dalla fase della progettazione delle gallerie.
Questa metodologia, che è stata sperimentata in una situazione particolarmente complessa derivata dalla presenza di serie vulcaniche effusive, è sicuramente più facilmente applicabile in caso di profili di scavo caratterizzati da terreni sedimentari e/o metamorfici.