

Nuove tecniche di campionamento ed analisi di rocce granulari o coesive da scavo durante i grandi progetti geo-ingegneristici

Marcello Panarese¹, Pietro Vannocci²

¹Dipartimento ARPAT di Arezzo, - Environmental Protection Agency Tuscany m.panarese@arpat.toscana.it viale Maginardo, 1 CAP 52100 Arezzo fax +39 0575939115

²Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze, vannocci@geo.unifi.it

New Sampling and Analysis Techniques for Rock Waste during Large Geo-Engineering Works

ABSTRACT: Large civil engineering works frequently have a considerable impact on the environment and produce enormous amount of waste rocks. In accordance with the UNI 10802 regulation, two experimental methods have been developed to work this rock waste in situ for composing homogeneous samples with the equivalent features of the whole mass of rocks. The in situ treatment of rocks includes the sieving and volumetric reduction of a primary sample to form a secondary sample, to be sent to a geotechnical and a chemical laboratory; this sampling step is an integral part of the analytic process. The sampling program had the aim of ensuring that the laboratory samples exhibited the most representative chemical and physical characteristics, analysing the heterometric waste from cliffs after tunnelling and trench foundations during large civil engineering works. Those sampling methods are founded on the preventive study of the lithologic features of the digged geological formations and their use can allow to reach the analytic results by the experimental application of the technical regulations, that are indispensable to enforce the laws on the waste. An attempt has been made to suggest the relevant scientific and technical instruments needed by the planner, the builders or the public administrators, with regard to the legal and technical rules associated with the re-use of excavated rock. This work deals with the waste rocks produced during the construction of the railway tunnel for the high speed trains between Florence and Bologna, and in particular, the Tuscan stretch. ARPAT (Environmental Protection Agency for Tuscany) was responsible for assessing the environmental impact throughout the construction phase and the Earth Sciences Department, Firenze University, co-operated on the rock waste analysis. The results refer to the lithological characteristics of the geological formations encountered during these works.

Key terms: Tunnel, Sampling Program, Grain Size Analyses, Re-Use

Termini chiave: Gallerie, Programma di Campionamento, Analisi granulometriche, Riutilizzo

Riassunto

Le grandi opere di ingegneria civile hanno una notevole ricaduta sulle matrici ambientali e producono enormi quantità di rocce come scarto di lavorazione. In accordo con la norma UNI 10802 sono state messe a punto due tecniche sperimentali di trattamento in situ di queste rocce, finalizzate alla formazione di campioni omogenei e di caratteristiche tali da rispettare l'intera massa delle rocce oggetto di campionamento. Il trattamento in situ comprende la riduzione granulometrica e volumetrica per la formazione del campione da inviare ai laboratori geotecnici e chimici ed è parte integrante del procedimento analitico. I metodi, presentati in questo lavoro, vogliono essere una proposta operativa che, eliminando ogni forma di soggettività nei campionamenti di rocce granulari o coesive, fornisca una risposta quantitativa e ripetibile allo studio di masse fortemente eterometriche. I metodi di campionamento sono il frutto di una valutazione preventiva sulle caratteristiche litologiche delle formazioni geologiche

interessate e della sperimentazione sull'applicabilità delle normative tecniche per il raggiungimento dei risultati analitici necessari al confronto con il quadro legislativo vigente sui rifiuti. La possibilità di realizzare dei campioni rappresentativi dei materiali da analizzare rende possibile progettare il concreto riutilizzo delle rocce di scarto dello scavo, in modo da ridurre il consumo di risorse naturali e di territorio. Lo studio ha per oggetto la caratterizzazione delle rocce di scarto prodotte dalla realizzazione delle gallerie durante l'esecuzione della tratta Bologna – Firenze del treno Alta Velocità.

ARPAT (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana) responsabile della valutazione dell'impatto sulle matrici ambientali e il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze hanno cooperato nello studio delle rocce da scavo. I risultati, che sono stati raggiunti e qui illustrati, sono riferiti alle formazioni geologiche attraversate dalle gallerie ed ai metodi di scavo utilizzati per l'avanzamento.

1. Premessa

Ogni tipo di scavo per opere di ingegneria civile crea la produzione di una quantità di rocce di risulta che, nel caso delle gallerie e delle grandi opere sono dell'ordine dei milioni di metri cubi. La risposta ad eventuali problemi realizzativi, originati spesso da una modellizzazione geologica e geotecnica inadeguata del sistema di reazione dell'ammasso roccioso al detensionamento dovuto allo scavo, è data attraverso la dovizia di strumenti di stabilizzazione e controllo delle deformazioni (Lunardi, 1994; Lunardi e Focaracci, 2000). L'esito di queste lavorazioni comporta un aumento della pericolosità ambientale delle rocce a valle dello scavo (D.Lgs 22/97; DM 471/99). Oltre che da questi problemi il riutilizzo dei materiali è limitato anche dalla difficoltà di quantificare le caratteristiche geotecniche e programmare la lavorazione

più opportuna in assenza di metodi di campionamento ed analisi che garantiscano la rappresentatività del campione e la qualità dell'analisi (L. 443/01 e s.m.i.).

Da questa esigenza traggono origine i metodi, presentati in questo lavoro che, riducendo la soggettività nei campionamenti di rocce granulari o coesive, forniscono una risposta quantitativa e ripetibile allo studio di masse fortemente eterometriche. Metodi peraltro applicati con successo nel caso dei cantieri delle gallerie della linea Alta Velocità fra Firenze e Bologna. Il campionamento, principalmente finalizzato all'analisi granulometrica, è stato effettuato su tutte le litologie presenti sui fronti di scavo attivi durante il programma della caratterizzazione dei materiali di scavo durato più di due anni (Fig. 1) (Abbate et alii, 1982).

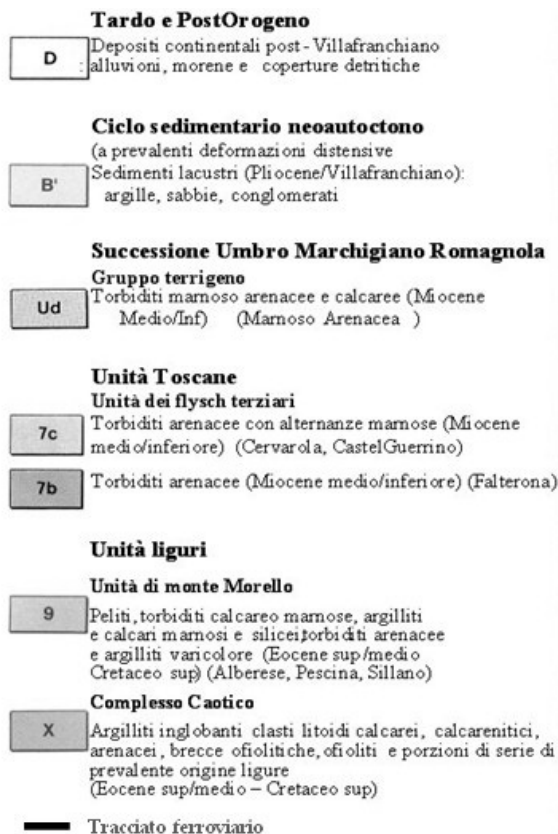


Fig. 1: Unità geologiche attraversate dallo scavo (da Abbate et al., 1982) La linea in grassetto mostra il tracciato della galleria

Geological Units along the tunnel (after Abbate et al. 1982)

2. Il campionamento ed il trattamento in situ

La programmazione del campionamento è stata effettuata, sulla base della norma UNI 10802/99 (recentemente aggiornata nel 2004), definendo metodi di formazione del campione che mantenessero il più possibile la

rappresentatività delle caratteristiche fisiche e chimiche del cumulo oggetto del campionamento.

I diversi passaggi logici per la definizione del piano di campionamento, finalizzato ad ottenere un campione finale rappresentativo, sono:

Perché campionare e dove? La programmazione del

riutilizzo produttivo di grandi volumi di scarti lapidei passa in primo luogo attraverso la possibilità di catalogarli o escluderli dal regime dei rifiuti - pericolosi o non pericolosi. Tuttavia ogni esclusione o riutilizzo, sulla base della normativa europea e nazionale, è determinata dalla conoscenza delle caratteristiche fisico-chimiche e geotecniche delle rocce prima e dopo lo scavo. L'utilità del procedimento non è limitata esclusivamente ad un progetto specifico, ma ricomprende almeno tutte le grandi opere infrastrutturali.

Che cosa campionare e quando? È necessario tenere conto dei processi produttivi e delle limitazioni logistiche al contorno. Nei casi che abbiamo affrontato, il prelievo di ogni singolo campione è stato effettuato sulle rocce provenienti da ogni fronte di scavo delle gallerie, che erano in corso di realizzazione, in ragione di variazioni significative:

1. delle litologie in banco e delle loro condizioni strutturali;
2. del codice di scavo;
3. del metodo di scavo.

Tutti i fattori sopra elencati sono elementi caratteristici della fase realizzativa delle gallerie o di altre opere di scavo ed influenzano direttamente le condizioni granulometriche e chimiche delle rocce frantumate in uscita dalle finestre d'imbocco, entrando in diretta relazione con le caratteristiche geotecniche che ne rendono possibile il riutilizzo (Bell, 1993). Ogni **variazione litologica e delle condizioni strutturali** ha come conseguenza una evidente modificazione delle specifiche geotecniche in quanto condiziona:

1. i tenori di silicati o calcio;
2. l'assortimento granulometrico;
3. il grado di umidità naturale;
4. la durezza;
5. la stabilità mineralogica e petrologica in acqua, oltre che all'alterazione;
6. la plasticità;
7. le proprietà specifiche di resistenza meccanica all'abrasione ed alla compressione.

Per **codice di scavo** si intende la gamma ed il volume dei sistemi di stabilizzazione utilizzati, che comportano un differente carico inquinante nelle rocce in uscita dovuto a tutti i prodotti utilizzati.

Per **metodo di scavo** si intende il sistema di abbattimento della roccia in banco, di tipo tradizionale (esplosivo, mezzi idraulici) o con TBM (Tunnel Boring Machine).

Il campionamento delle rocce provenienti dallo scavo tradizionale è avvenuto in piazzole di stoccaggio opportunamente realizzate e per ogni fronte di galleria si è proceduto allo stoccaggio temporaneo dei materiali di scavo di sezioni litologicamente omogenee, ottenute da fasi di scavo scelte sulla base delle esigenze operative, in attesa della loro caratterizzazione chimica e granulometrica.

Le piazzole sono state realizzate con uno strato di

stabilizzato dello spessore di alcune decine di centimetri, il rilevato era contornato da canalette di scolo delle acque meteoriche e di raccolta delle percolazioni, le caratteristiche geometriche dei cumuli di caratterizzazione erano contenute nel volume teorico corrispondente al prodotto della superficie di base per l'altezza massima derivante dalla proiezione verticale dell'angolo di riposo del materiale in condizioni sature, tenuto conto degli spazi necessari per operare in sicurezza nelle operazioni di deposito del materiale e per le operazioni di prelievo dei materiali. La movimentazione dei materiali dalle piazzole di caratterizzazione doveva tenere conto dei flussi in ingresso ed uscita in modo da non mescolare i materiali da caratterizzare con quelli da inviare alla fase di smaltimento o utilizzo.

3. Numero di incrementi e loro massa

Il numero totale degli incrementi necessari per formare il campione primario per ogni cumulo da campionare è stato determinato sulla base di una prova di consistenza dei risultati dell'analisi chimica, usando come parametro gli idrocarburi alifatici, ed è direttamente proporzionale al quantitativo di rifiuti lapidei depositati in piazzola. La massa necessaria per i singoli incrementi, variabile per le esigenze distinte dell'analisi chimica e di quella geotecnica, è stata determinata dalla dimensione delle benne degli escavatori, variando fra 0,5 ed 1 m³.

4. Strategie di campionamento

Le tecniche di campionamento progettate si suddividono fra campionamento finalizzato alle analisi chimiche e campionamento finalizzato alla formazione del provino per le analisi granulometriche, nello scavo tradizionale e nello scavo con TBM da roccia. Il tentativo è stato quello di tenere il più possibile uniti i due procedimenti per poter fornire la corrispondenza necessaria fra i risultati ottenuti da una e dall'altra analisi

5. Tecniche di campionamento nello scavo tradizionale

La composizione dei cumuli di materiale, proveniente dallo scavo tradizionale da campionare, è stata determinata sulla base delle azioni elencate di seguito:

1. dal fronte di scavo della galleria, lo smarino era caricato direttamente su Dumpers che lo trasportavano all'esterno nelle apposite piazzole;
2. ogni cumulo era formato da sezioni di galleria prevalentemente omogenee per litologia, metodo di scavo e sezione tipo di progetto;
3. ogni piazzola era individuata da un modello di verbale allegato che definiva in modo particolareggiato le caratteristiche della roccia in banco e delle operazioni svolte prima del suo abbattimento.

Il procedimento si articola schematicamente in questi

passaggi successivi e visivamente descritti in fig. 2:

- 1) prelievo degli incrementi con un escavatore meccanico in modo casuale in più punti del cumulo posti su quote differenti secondo la schematizzazione contenuta nella norma UNI 10802;
- 2) carico del campione primario su un autocarro per il trasporto ad una pesa nel cantiere CAVET o nella disponibilità dello stesso;
- 3) pesatura del tal quale;
- 4) vagliatura in due stadi (griglie di 200 e 100 mm di diametro) con successiva pesatura delle frazioni di sopra e sotto vaglio per la definizione del rapporto percentuale in peso con il campione primario tal quale;
- 5) formazione per mezzo di successive quartature di un campione secondario, in tre aliquote di circa 35 kg l'una, sul sottovaglio a 100 mm da sottoporre alle successive analisi in un laboratorio geotecnico;
- 6) vagliatura ed essiccazione del campione secondario in accordo con le norme A.G.I (1994)
- 7) le successive correzioni relative all'umidità del campione secondario sono applicate al solo passante a 100 mm.

La normativa UNI 10802 nel caso in esame non dettava uno specifico criterio di campionamento da seguire ed è stata progettata una specifica modalità, che rispettasse il criterio di casualità nella formazione dei singoli incrementi, da riunire nella formazione del campione primario composito. Si è, in tal modo, definita una strategia di campionamento "prevalentemente" casuale, dove le differenze rispetto a un campionamento "effettivamente" casuale sono legate alla capacità del braccio meccanico dell'escavatore, utilizzato per la formazione degli incrementi, e alla necessità di permettere a tutti gli operatori ed i tecnici coinvolti nel procedimento di lavorare in sicurezza.

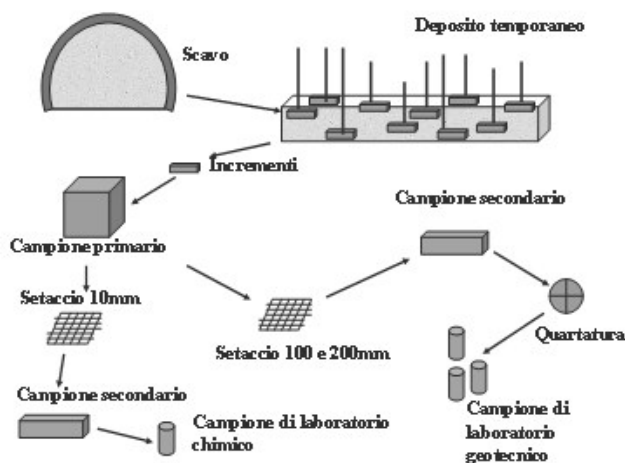


Fig. 2: Schema di formazione dei campioni per i laboratori, nello scavo tradizionale

Sampling technique in traditional excavations

6. Tecniche di campionamento nello scavo con Tunnel Boring Machine (TBM) da roccia

Il campionamento è avvenuto a valle di un nastro trasportatore che, in varie sezioni, proveniva direttamente dalla TBM (Marcheselli, 2000). La metodica del campionamento tiene conto della forma finale del cumulo ai piedi del nastro trasportatore, conica a base leggermente ellittica con l'asse maggiore orientato lungo la direzione del nastro trasportatore. La sua crescita volumetrica avviene per l'impilamento progressivo del materiale in superfici coniche successive di dimensione crescente nel tempo: i clasti scaricati prima si trovano al centro del cono e le granulometrie tendono ad aumentare di dimensione sul lato del cono più distante dal nastro per via della maggiore quantità di moto dei clasti con massa maggiore.

In questo caso la dimensione media dei granuli di massimo diametro è circa pari a 90 mm. Ciò semplifica la formazione del campione in quanto non rende necessaria l'effettuazione della riduzione volumetrica del campione primario attraverso la vagliatura in situ a 200 ed a 100 mm, come per il metodo precedentemente descritto, e permette di accoppiare ancora più strettamente i due campionamenti geotecnico e chimico in un'unica operazione di prelievo per ogni incremento. Inoltre la minore onerosità in termini di uomini e mezzi di questo procedimento permette una più frequente effettuazione dei campionamenti.

La strumentazione necessaria per ogni campionatura consiste in:

- 1) una sessola delle dimensioni previste dalla norma UNI 10802 (pagina 42 prospetto 11);
- 2) pala manuale pulita;
- 3) secchio;
- 4) pala meccanica;
- 5) telo in geotessile o plastica;
- 6) vaglio da 10 mm;
- 7) 4 barattoli a bocca larga di polietilene per alimenti con capienza da un litro;
- 8) 6 sacchetti in plastica puliti resistenti fino a 30 kg di carico;
- 9) piano di appoggio di dimensioni idonee alla quartatura ed alla setacciatura in geotessile;
- 10) bilancia fino a 50 kg.

Il procedimento per la formazione del campione per la granulometria si articola schematicamente in questi passaggi successivi:

- 1) arresto del nastro trasportatore dopo la deposizione per caduta della quantità di materiale da campionare;
- 2) prelievo dei primi 4 incrementi lungo il perimetro esterno del cono ad altezza casuale ogni 90° con una sessola lungo i fianchi del cumulo;
- 3) taglio del cono a 1/3 dell'altezza, eliminando circa il 45 % della massa;
- 4) prelievo con la sessola degli altri incrementi ogni 60° lungo cerchi concentrici all'asse verticale sulla superficie della sezione del cono ed al centro dello

stesso;

- 5) omogeneizzazione degli incrementi su un telo;
- 6) quartatura con pala manuale;
- 7) formazione del campione per l'analisi granulometrica in 3 aliquote di 30 kg l'uno;
- 8) vagliatura ed essiccazione del campione in accordo con le norme A.G.I (1994) o altro standard geotecnico internazionale (ASTM, BS).

Le operazioni di formazione del campione si concludono con il prelievo di due aliquote da 30 kg.

In sintesi le procedure eseguite per il confezionamento dei campioni sono illustrate in fig. 3.



Fig. 3: Schema di formazione dei campioni per i laboratori nello scavo con TBM da roccia

Sampling technique in hard rock TBM excavations

7. Considerazioni sui dati granulometrici in situ nello scavo tradizionale

La possibilità di riuscire a trattare con un campionamento casuale, fornita dal metodo utilizzato per ridurre e misurare le granulometrie degli scarti lapidei in uscita dallo scavo, permette di riconoscere alcune caratteristiche dello scavo in rapporto alle litologie interessate.

I risultati ottenuti indicano nella vagliatura in situ una percentuale di passante a 200 generalmente più uniforme rispetto a quella del passante a 100 e quasi sempre superiore al 50 % del campione primario. I campioni provenienti dai cantieri del comune di Firenzuola hanno sempre la percentuale più bassa di passante in quanto sono quasi tutti scavati nei vari membri della Formazione Marnoso Arenacea (FMA)(S.G.I., 1992), tranne i campioni che sono scavati nel Complesso Caotico, incontrato nella realizzazione della galleria di Firenzuola. Anche il campione della Formazione del Monte Cervarola (CEV) presenta un andamento assimilabile a quello dei campioni della Formazione Marnoso Arenacea (fig. 4).

Gli altri campioni, pur provenendo da formazioni differenti e da litologie fortemente diversificate, presentano

una notevole uniformità durante la vagliatura in situ indipendentemente dal sistema di abbattimento che, nel caso delle rocce con $\sigma_c > 30$ MPa (arenarie, calcari marnosi e marne poco fratturate), è effettuato con esplosivo, al contrario per $\sigma_c < 30$ MPa (argilliti, formazioni molto tettonizzate, sedimenti pliocenico-quadernari) con l'utilizzo di martellone e ripper (Lunardi e Focaracci, 2000).

La ragione di un simile risultato può essere addebitata alla uniformazione della fratturazione più grossolana dei clasti, dovuta alla disposizione simile dei fori per l'esplosivo, che interagisce nel caso delle formazioni più competenti con la resistenza alla rottura degli strati arenacei. Questi si suddividono in clasti in base alla disposizione dei sistemi di fratture e dei piani di debolezza caratteristici della microstruttura della roccia nel fronte interessato e della macrostruttura dovuta allo stile tettonico generale della formazione.

Senza voler entrare nella descrizione delle geometrie di disposizione dei fori per l'esplosivo, che non è oggetto di questo articolo, si può affermare che, pur influenzando la quantità complessiva dello sfondo e dello scavo per singolo evento, l'azione dell'esplosivo determina la granulometria dei clasti solo in rapporto alla quantità di esplosivo ed al numero dei fori.

Nel caso di rocce in banco molto fratturate, perché interessate da più famiglie di discontinuità naturali, i gas della detonazione si espandono all'interno delle fratture, seguendo vie preferenziali che dipendono dalle caratteristiche idrauliche dei giunti più o meno aperti. Il risultato è che l'ammasso viene, nella maggior parte dei casi, scomposto nei singoli elementi di blocchi e cunei in funzione dello stato di fratturazione della roccia preesistente allo scoppio.

I campioni in generale presentano un'ottima correlazione fra la percentuale del passante a 100 e quella del passante a 200.

Il gruppo dei campioni che si addensa nell'intervallo centrale, riquadrato nella fig. 4, rappresenta il risultato del trattamento in situ delle formazioni scavate con esplosivo e che presentano delle caratteristiche geomeccaniche simili. In particolare per i campioni della Marnoso Arenacea (fig. 5), è possibile distinguere i campioni scavati con tecniche differenti, oltre che quelli caratterizzati da strati arenacei di ridotta potenza e aventi una presenza di marne e peliti in banco percentualmente superiore agli altri.

Se si confrontano i risultati ottenuti dal trattamento in situ per i campioni provenienti da diversi cantieri si nota come, con l'esclusione di due campioni, gli altri siano compresi nell'area sottesa dal rettangolo con valori del passante a 100 mm compresi fra 45,7 % e 53,5 %. Sono tutti campioni prelevati in due membri della formazione Marnoso Arenacea, che nel comportamento successivo allo scavo presentano forti analogie. Anche il campione del cantiere T17, dove il fronte Bologna, scavato nel Complesso Caotico, è frammisto al fronte Firenze, scavato nella Marnoso Arenacea, nella granulometria in situ (effettuata su

un quantitativo di 10.290 kg con blocchi di diametro massimo fino a 500 mm) è relativamente poco influenzato dalla parte fine, che mostra la sua influenza nelle analisi granulometriche di laboratorio.

I due campioni che fanno eccezione sono il T12fin-7092 ed il T14F-4035.

Il primo è stato scavato nel Membro di Osteto (De Jager, 1979) ed è caratterizzato da un rapporto A/P pari circa 1/5 con strati arenacei dello spessore decimetrico. In questo caso la frantumazione della roccia in posto, a seguito

dell'esplosione, sembra avere una maggiore capacità di ridurre le granulometrie.

Il campione T14F-4035 è scavato vicino all'imbocco della galleria "Firenzuola" dove lo scavo dell'arco rovescio e dello "strozzo" è effettuato utilizzando prevalentemente il demolitore idraulico, che tende ad abbattere gli strati arenacei in blocchi anche di dimensioni ciclopiche, senza frantumare la roccia come avviene quando si utilizza l'esplosivo.

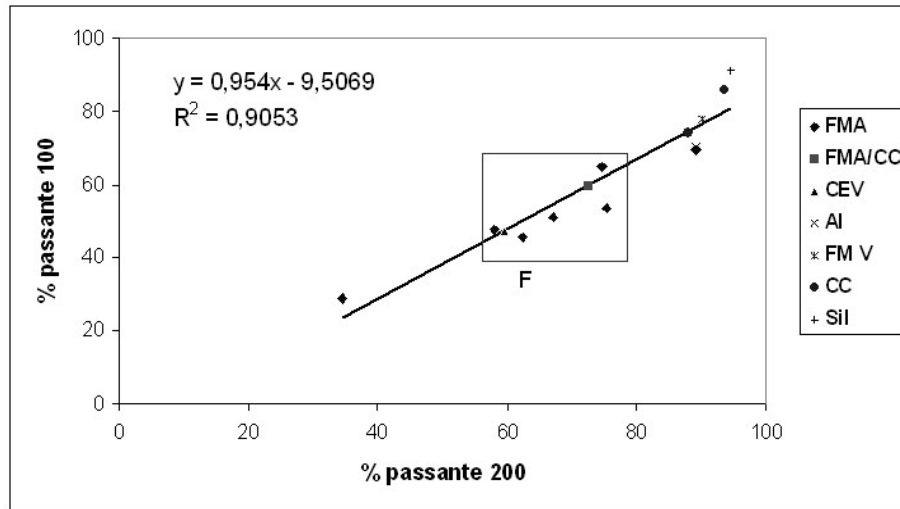


Fig. 4: Equazione della retta di regressione e valore dello scarto quadratico medio nel trattamento in situ. MA = Marnoso Arenacea; MA/C = Passaggio Marnosa Arenacea-Caotico; CEV = Formazione del Monte Cervarola; Al = Alberese; FMV = Marne Varicolori; CC = Complesso Caotico; Sil = Sillano

Linear regression equation and root mean squared error of the in situ treatment

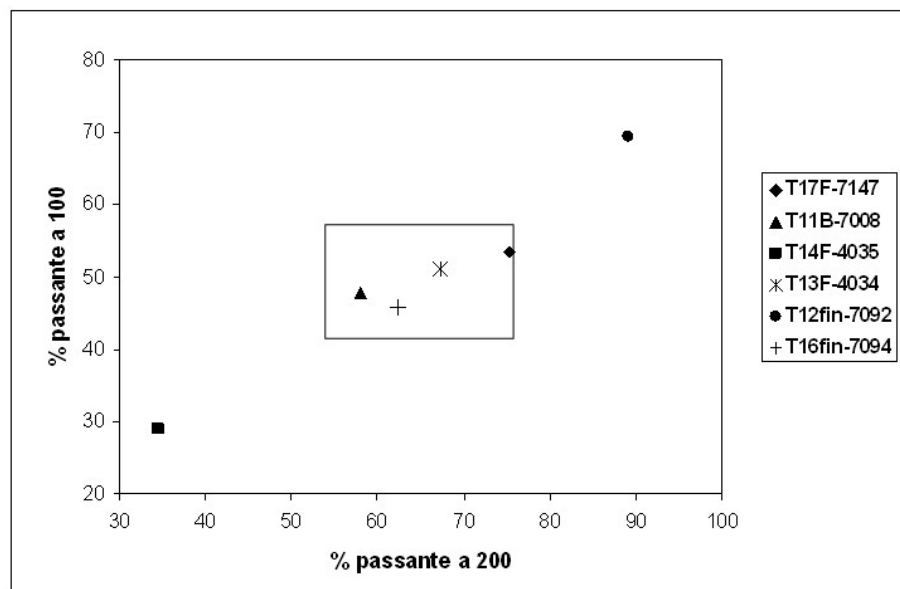


Fig. 5: Relazione fra metodo di scavo e litologia nei campioni della Formazione Marnoso Arenacea. T17F = cantiere T17 fronte Firenze; T11B = cantiere T11 fronte Bologna; T14F = cantiere T14 fronte Firenze; T13F = cantiere T13 fronte Firenze; T12fin = cantiere T12 scavo finestra d'imbocco; T16fin = cantiere T16 scavo finestra d'imbocco

Relationship between excavation technique and lithology in the samples of Marnoso Arenacea Formation

Questi risultati possono indirizzare verso la definizione di alcune possibilità di riutilizzo, attraverso la semplice operazione di vagliatura tal quale degli scarti in uscita dalla galleria o attraverso una semplice operazione di frantumazione dei blocchi più grossolani. Una geometria dei fori per l'esplosivo, studiata in base allo stato strutturale della roccia, ridurrebbe la necessità di lavorazioni successive.

8. Considerazioni sui dati granulometrici nello scavo con TBM

Le specifiche caratteristiche di questo tipo di scavo (Marcheselli, 2000), che non hanno reso necessaria l'effettuazione della riduzione volumetrica e granulometrica in situ, hanno permesso una più semplice formazione dei campioni, limitati a cinque unicamente dal ritardo con cui si è riusciti a concordare con la ditta realizzatrice l'attuazione del procedimento di caratterizzazione. Solo da quel momento è stato possibile iniziare a formare i campioni fino alla conclusione della realizzazione del cunicolo esplorativo, in buona parte già eseguito. I campioni provengono dalle progressive da 8+583 fino alla 9+300, intervallati ogni 140 m circa di avanzamento dello scavo. La zona del prelievo corrisponde al tratto compreso fra l'ultimo incrocio del cunicolo con la galleria di linea e la fuoriuscita della fresa in superficie alla finestra Cardini nel comune di Vaglia, tutta nella Formazione di Monte Morello (MML).

Come si nota immediatamente osservando la fig. 6, i risultati delle granulometrie dei campioni provenienti dallo scavo meccanizzato sono con buona approssimazione sovrapponibili. Le granulometrie in uscita dal nastro trasportatore sono classate allo stesso modo dal processo di scavo e dalla triturazione ad opera dei disk-cutter e delle

bocchette rostrate dello scudo. L'uniformità del risultato di laboratorio conferma anche la validità del metodo di campionamento, in quanto ad un procedimento fortemente industrializzato ed uniformato dello scavo, si contrappone una notevole costanza nei risultati dell'analisi granulometrica, come era da attendersi. Le fasi che vanno dalla formazione del provino al risultato finale possono considerarsi affidabili entro il limite della modesta quantitativa del numero dei campioni.

Le curve presentano una distribuzione bimodale con picchi di massimo assoluto al vaglio di 8 mm e di massimo relativo a 2 mm. Anche il campione 4652, prelevato nel punto in cui la fresa sarebbe stata a pochi metri dalla fuoriuscita, conferma il dato. Questo campione avrebbe dovuto permettere di verificare come e quanto la granulometria avrebbe risentito dell'allentamento dei giunti della roccia, dovuto alla preparazione della finestra di uscita, scavata con metodi tradizionali, e quantificare l'interazione con le consolidazioni del fronte tradizionale, che avrebbe dovuto comportare un aumento relativo dei livelli di inquinamento.

Le ipotesi che possono giustificare entrambi i picchi sono legate sempre al metodo di scavo, in special modo il picco di 8 mm, tuttavia anche quello di 2 mm è più evidente rispetto ad altre formazioni e presente senza soluzione di continuità anche nei campioni di MML misto al Sillano e di MML del T5, entrambi scavati con metodi tradizionali. Per giustificare la ricorrenza, se si esclude l'ipotesi legata alle caratteristiche microstrutturali proprie della formazione di Monte Morello nell'area d'esame, rimane l'ipotesi sull'errata spaziatura delle maglie dei setacci, tuttavia qui la si lascia in forma di ipotesi in quanto sarà interessante verificare con ulteriori analisi questa specificità.

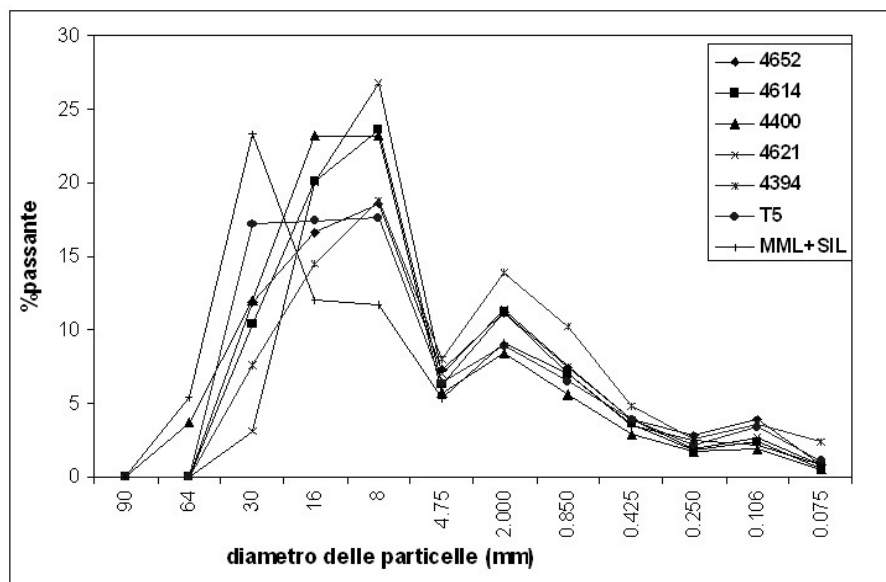


Fig. 6: Percentuale in peso del trattenuto sui setacci in laboratorio per i campioni di Alberese (MML). 4652, 4621, 4614, 4400, 4394 = campioni TBM; T5 = cantiere T5; MML + SIL = cantiere T1 passaggio Alberese - Sillano
Percentage in weight of the retained material in a sieve analysis of Alberese samples

9. Conclusioni

È possibile affermare in conclusione, che è stato raggiunto il risultato di fornire due metodi per il campionamento e la valutazione quantitativa dell'impatto inquinante per formazione e specifiche dello scavo. I risultati della campagna di campionamenti e le considerazioni, sopra esposte, permettono di valutare positivamente la rappresentatività del campione primario, che è il primo ed essenziale momento della formazione dei campioni, su cui si basano le operazioni successive di analisi in situ e in laboratorio. Inoltre forniscono la base campionaria, non

affetta da soggettività, per una valutazione quantitativa delle caratteristiche geotecniche delle rocce scavate, quantificandone alcune peculiarità, suddivise in base alla formazione geologica, alle specifiche tecniche delle opere di stabilizzazione e del metodo di scavo. La possibilità di valutare l'inquinamento su campioni rappresentativi dell'intera massa permette di indirizzare gli enormi quantitativi di roccia estratta verso gli impieghi meno impattanti, fra quelli già definiti in fase di progetto o verso lo smaltimento.

Bibliografia

- Abbate E., Boccaletti M., Braga G., Coli M., Dallan Nardi L., Marchetti G., Nardi R., Pochini A. & Puccinelli A. (1982) - *Carta strutturale dell'Appennino Settentrionale in scala 1:250.000: Note illustrative*. C.N.R., Prog. Fin. Geod., pubbl. 429
- Abbate E., Boccaletti M., Braga G., Coli M., Dallan Nardi L., Marchetti G., Nardi R., Pochini A. & Puccinelli A. (1982) - *Le Unità Toscane. In "Note illustrative della carta strutturale dell'Appennino Settentrionale"*. C.N.R., Prog. Fin. Geodinamica, pubbl.429: 46-65.
- A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana (1994, gennaio) - Raccomandazione sulle prove geotecniche di laboratorio.
- Bell F.D. (1993) - *Engineering geology*. Blackwell Sc. Publ., Oxford, UK.
- Decreto Legislativo 5 Febbraio 1997, N. 22 "attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi, e 94/62/CEE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio"
- Decreto Ministeriale del 25 ottobre 1999 n° 471
- "Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del D.Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modificazioni e integrazioni." Gazz. Uff. 15 dicembre 1999, n. 293, S.O.
- De Jager J. (1979)- The relation between tectonics and sedimentation along the "Sillaro Line" Geol. Ultraiectica., Utrecht, 19, 97
- Legge 21 Dicembre 2001, N. 443 - Delega al Governo in materia di infrastrutture ed insediamenti produttivi strategici ed altri interventi per il rilancio delle attività produttive. Gazz. Uff. 27 dicembre 2001 n. 299, S. O.
- Lunardi P. (1994) - "Progetto e costruzione delle gallerie secondo l'approccio basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli" (articolo in tre parti), Quarry and Construction, marzo 1994, marzo 1995, aprile 1996.
- Lunardi P. & Focaracci A. (2000) - "Il progetto dello scavo nella realizzazione di opere in sotterraneo". S.I.G. (società Italiana Gallerie)
- Conferenze permanenti Alta Velocità - 4a sessione "Lo scavo: metodi tecniche e attrezzature nella progettazione e costruzione della tratta Bologna - Firenze" Autodromo Internazionale del Mugello Scarperia (FI), 3 - 18.
- Marcheselli P.P. (2000) - "Scavo con fresa - generalità del progetto" S.I.G. (società Italiana Gallerie) Conferenze permanenti Alta Velocità - 4a sessione "Lo scavo: metodi tecniche e attrezzature nella progettazione e costruzione della tratta Bologna - Firenze" Autodromo Internazionale del Mugello Scarperia (FI), 67 - 76.
- S.G.I. - Servizio Geologico Italiano (1992) - Carta Geologica d'Italia 1:50.000: guida al rilevamento. Quaderni, ser.III/11, Ist.Poligr. Zecca dello Stato, 203.
- UNI 10802 (1999, 2002, 2004) "Rifiuti liquidi, granulari, pastosi e fanghi - Campionamento manuale e preparazione ed analisi degli eluati", Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.