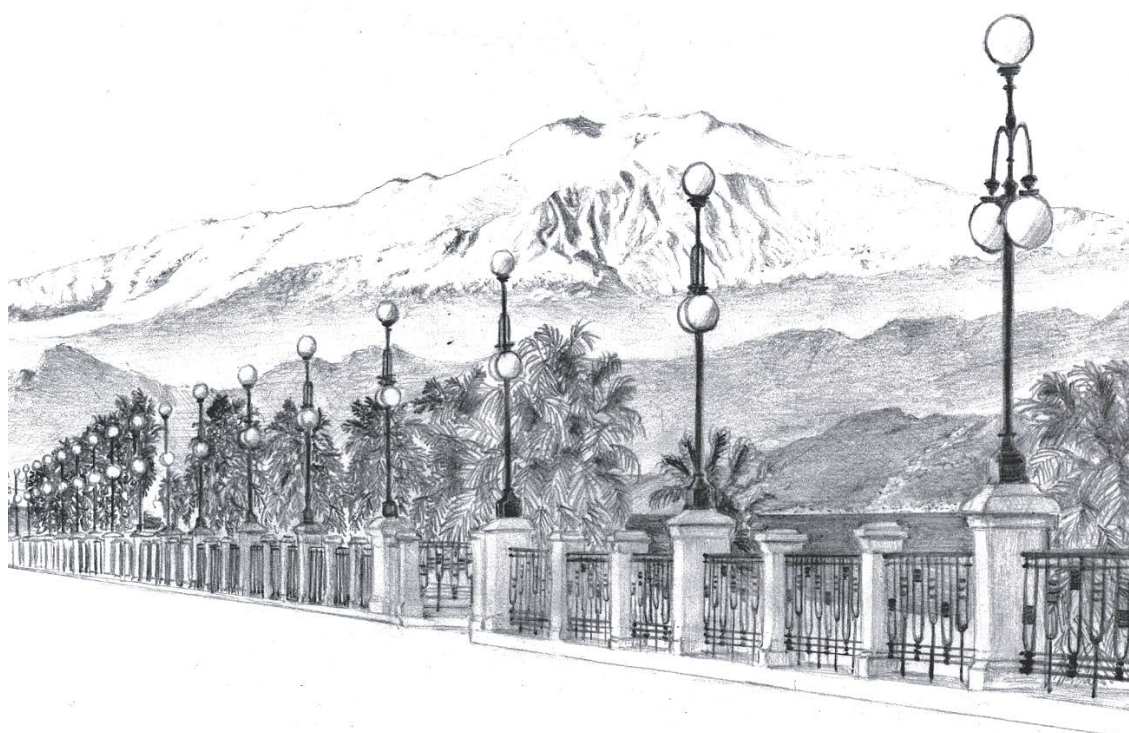


XXVII CONVEGNO NAZIONALE DI GEOTECNICA



LA GEOTECNICA PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE DEL TERRITORIO E PER LA TUTELA DELL'AMBIENTE

Reggio Calabria, 13 - 15 luglio 2022
Università Mediterranea di Reggio Calabria
Area Ingegneria Via Graziella, Feo di Vito – Reggio Calabria

**È stato richiesto il riconoscimento dei Crediti Formativi Professionali (CFP)
(3 per ciascuna giornata del Convegno) al Consiglio Nazionale degli Ingegneri**

PETROCCELLI G. , GIAFFRIDA D., CATANZARITI F., DEL VECCHIO U., DANZI M., COZZOLINO L., CAMPILONGO G.	Interventi di sistemazione idrogeologica di un costone tufaceo incombente su di una porzione di arenile nel comune di Bacoli (NA)
--	---

SESSIONE 2F – AULA E2 - 14.00 - 16.00

PINGUE L. , ROCCA O., FANTI F.	Metropolitana di Napoli - Line 6 – Stazione Municipio. Consolidamento ed impermeabilizzazione di gallerie con A.G.F., M.P.S.P. e Compensation Grouting.
SCHIENA F. , LEMBO FAZIO A., GRAZIANI A.	Analisi FEM 3D dell'interazione tra scavo meccanizzato di una galleria in un terreno a grana grossa e un edificio in muratura
MICELI G., GIORDANO R. , FORIA F., FERRARO R., PACILLI A.	Manutenzione e ammodernamento delle reti di trasporto trans-europee (TEN-T) lungo la linea Roma-Napoli: supporto alla strategia decisionale e il progetto della Galleria Olmata
BELLOMO G.	Piano di utilizzo delle terre (PUT) e problematiche ambientali in cantieri di grandi dimensioni - realizzazione della galleria naturale Caltanissetta con scavo meccanizzato
GRISOLIA M. , MARZANO I.P., IORIO G., PANETTA G., BARTOCCINI P., SERVI A.	Prove di taglio diretto in situ di grandi dimensioni per la caratterizzazione meccanica di terreni compattati
MORTARA G. , STUTZ H.H.	Modellazione teorica e numerica di problemi di interfaccia tra sabbie e superfici rigide
CECCATO F. , ZARATTINI F., SIMONINI P.	Aspetti geotecnici per la salvaguardia dell'isola di San Marco (Venezia) dalle acque alte
BARDOTTI R. , SOLARI L., PARIS E., VANNUCCHI G.	Gamberi rossi della Louisiana e permeabilità degli argini

Piano di utilizzo delle terre (PUT) e problematiche ambientali in cantieri di grandi dimensioni – Realizzazione della galleria naturale Caltanissetta con scavo meccanizzato.

G. Bellomo

Geologo libero professionista

SOMMARIO: Con la presente memoria si espone un lavoro importante e molto articolato, già concluso e che ha ricevuto tutte le necessarie approvazioni e controlli in corso d'opera da parte del Mattm e di ARPA. L'obiettivo è quello di fornire un riferimento concreto per la progettazione e la realizzazione di un valido Piano di Utilizzo delle Terre (PUT) in situazioni geologicamente complicate, con volumi in gioco notevolissimi e di fare chiarezza su alcuni punti molto discussi nella gestione dei materiali scavati, soprattutto con la tecnica dello scavo meccanizzato. La GN Caltanissetta è stata realizzata con l'impiego di grassi di stillicidio, polimeri ed additivi schiumogeni selezionati in funzione delle litologie presenti e dell'assetto idrogeologico. Neppure un m³ è stato inviato a discarica, recependo il concetto dell'"end of waste" sancito dalla Direttiva Comunitaria 2008/98/CE. I controlli del MATTM e di ARPA hanno attestato un'esecuzione dei lavori conforme al PUT ed alle prescrizioni impartite.

Keywords: PUT, biodegradazione, scavo meccanizzato, assetto litologico ed idrogeologico

1. PREMESSE

Come è noto la materia è alquanto articolata e vogliamo cogliere l'occasione della realizzazione di una galleria molto complessa da un punto di vista cantieristico e già completata per quanto riguarda gli scavi, per dare un riferimento concreto per la progettazione e realizzazione di un PUT in situazioni ambientali e geologiche molto complicate, con volumi in gioco notevolissimi e fare chiarezza su alcuni punti di rilievo per le attività professionali/imprenditoriali al fine di definire indirizzi di comportamento omogenei per gli operatori e per i controllori.

In tal senso bisogna evidenziare che quando ci riferiamo a terre e rocce da scavo (trs), queste sono classificate, *normalmente*, come rifiuti speciali che godono di una normativa derogatoria che permette al produttore, preventivamente alla loro produzione, di decidere se la loro gestione debba avvenire in regime di *sottoprodotto oppure rifiuto speciale*.

Il DPR 120/2017 disciplina l'utilizzo delle trs e stabilisce, sulla base del comma 1 dell'articolo 184-bis del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i., i criteri da soddisfare affinché le trs possano essere considerati sottoprodotti e non rifiuti ai sensi dell'articolo 183, comma 1, lettera qq) del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i.

In generale quanto disposto dal DPR 120/2017 costituisce una grande opportunità per le professiona

lità tecniche che operano nel settore dei LI.Pp. e dell'edilizia civile ed industriale. Da evidenziare che a partire dal D.Lgs. 152/06 tutte le norme succedutesi si sono sforzate di rendere sempre più chiara e facile l'applicazione della specifica deroga al regime dei rifiuti di cui godono le trs che possono essere utilizzate come sottoprodotti per rinterri, riempimenti, rimodellamenti, rilevati, ect. a determinate *rigide* condizioni cumulative quali: a) assenza di contaminazione nel rispetto dei limiti previsti dalle CSC (Concentrazioni Soglia di Contaminazione) di cui alle colonne A/B Tabella 1, Allegato 5 al titolo V parte IV del D.Lgs n. 152/06 e s.m.i. con riferimento alla specifica destinazione d'uso; b) divieto di trasformazione preliminare ad eccezione delle «normali pratiche industriali»; c) certezza del riutilizzo integrale fin dalla fase di produzione; d) garanzie sulla tutela della salute e dell'ambiente; e) redazione del PUT.

Quest'ultimo è una delle novità più importanti perché qualunque progetto che prevede l'utilizzo dei materiali scavati al di fuori del regime dei rifiuti, deve essere corredato da tale Piano, che è un vero e proprio progetto. È una novità di rilievo per l'ambiente perché permette, nel rispetto di una normativa finalmente chiara, di evitare lo smaltimento in discarica di trs idonee per altri scopi e l'inutile coltivazione dalle cave che sono una vera ferita al territorio.

Le stesse amministrazioni committenti ne hanno tratto un beneficio perché si sono drasticamente ridotte le varianti in corso d'opera per la presenza di trs contaminate non previste in fase di progetto, con

aumento dei costi spesso considerevoli. La nuova normativa imponendo, nella redazione del P.U.T., una caratterizzazione fisico-chimica molto dettagliata, eseguita con metodologie rigide e controllabili, permette di avere già in fase di progettazione un quadro chiaro sulla presenza di contaminazioni.

Nell'ultimo decennio, nel solco di una sempre maggiore sensibilità ambientalista ed ecologista e nel rispetto del concetto di sviluppo sostenibile, il *Riutilizzo* dei "materiali da scavo" ha costituito un obiettivo primario nella gestione dei cantieri e nel buon governo dei movimenti di terra in genere.

Con il DPR 120/17 sono state definite tutte quelle attività i cui processi di produzione generano materiali da scavo che, a particolari condizioni, possono essere classificati sottoprodotti e riutilizzati fuori dal regime dei rifiuti. È importante, intanto, sottolineare che nel D.P.R. succitato si parla in primis di *riutilizzo* poiché gli obiettivi primari di tutela dell'ambiente sono quelli di evitare di consumare risorse naturali (materiali da cava, ect.) e di generare rifiuti.

In questo contesto l'obiettivo di tutti gli operatori del mondo dei lavori pubblici e privati deve essere quello di ricercare le condizioni per ricorrere per quanto possibile al riutilizzo delle trs, limitando lo smaltimento presso discariche dedicate come ultima estrema possibilità da esercitare quando non vi siano assolutamente le condizioni né per il riutilizzo delle terre e rocce da scavo né per il loro recupero.

Da evidenziare che per la realizzazione della galleria Caltanissetta neppure un m³ è stato inviato a discarica/centro di recupero, recependo perfettamente il concetto comunitario dell'"END OF WASTE".

La redazione del PUT ha previsto, quindi, tutti i rilievi, le indagini e le prove tecniche necessarie per:

- individuare il grado di permeabilità e la classe granulometrica dei terreni presenti nell'area in studio (siti di produzione e siti di deposito);
- eseguire l'analisi dell'area vasta finalizzata all'individuazione delle potenziali fonti di inquinamento atmosferico, del suolo, del sottosuolo, dell'ambiente idrico superficiale e sotterraneo che possono aver interessato il sito oggetto dello studio, al fine di definire in maniera rigorosa gli analiti da ricercare, ricostruendo la storia degli insediamenti antropici e le tipologie di attività produttive che si sono succeduti nel territorio;
- definire i siti di produzione e di utilizzo delle trs (temporanei e definitivi), le loro caratteristiche geologiche, idrogeologiche e urbanistiche, suddividendo i volumi in banco nelle diverse litologie;
- analizzare i campioni di trs prelevati nel numero previsto dalla normativa vigente per confrontare i valori ottenuti con le CSC indicate nella tab. I dell'All. 5, Parte IV, del D. Lgs. 152/06 e s.m.i.;
- individuare tramite analisi su campioni delle acque di falda, le concentrazioni degli analiti della tab.2, Allegato 5, Parte IV, del D. Lgs. 152/06 e s.m.i. e verificarne le concentrazioni soglia;

- individuare i processi industriali di impiego dei materiali da scavo e le eventuali operazioni di normale pratica industriale, finalizzate a migliorare le caratteristiche merceologiche, tecniche e prestazionali dei materiali da scavo;
- definire le modalità di esecuzione e le risultanze della caratterizzazione ambientale dei materiali da scavo eseguita in fase progettuale, indicando:
 - ✓ lo studio delle caratteristiche naturali dei siti interessati che possono comportare la presenza di sostanze specifiche con concentrazioni superiori alle CSC (valori di fondo);
 - ✓ le modalità di prelievo, preparazione ed analisi dei campioni con indicazione del set dei parametri analitici considerati che tengano conto della composizione naturale delle trs, delle attività antropiche pregresse e delle tecniche di scavo che si prevede di adottare;
 - ✓ l'indicazione delle verifiche in corso d'opera e dei relativi criteri generali da eseguirsi, per confermare le ipotesi progettuali di riutilizzo delle trs, visto che lo scavo con TBM presuppone la possibilità di innescare in corso d'opera fenomeni di inquinamento legati alla specifica operatività in cantiere.

2. BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Nello specifico la GN Caltanissetta è costituita da due fornice i cui assi distano tra loro da un minimo di 35 m, (in prossimità degli imbocchi) fino ad un massimo di 85 m. Planimetricamente la canna destra, dall'imbocco lato Agrigento, dopo un rettilineo pari a 738,32 m (di cui 680,15 m in galleria) devia verso sinistra percorrendo una curva di raggio planimetrico da 1460,00 m e sviluppo pari a 360,42 m anticipata e seguita da due curve a raggio variabile (clotoidi) con parametro A=500 e sviluppo pari a 171,23 m. Successivamente il tracciato torna rettilineo per 1964,34 m fino a deviare a destra con una curva di raggio planimetrico pari a 1920,00 m e sviluppo pari a 677,05 (di cui 431,52 m in galleria) anticipata e seguita da due curve a raggio variabile (clotoidi) con parametro A=640 e sviluppo pari a 213,33 m.

La canna sinistra, partendo dall'imbocco lato Agrigento, dopo un primo tratto in rettilineo di sviluppo pari a 269,80 m (229,16 m in galleria) devia verso sinistra percorrendo una curva di raggio planimetrico da 1890,00 m e sviluppo pari a 673,45 m seguita ed anticipata da due curve a raggio variabile (clotoidi) con parametro A=630 e sviluppo pari a 210,00 m. Successivamente il tracciato torna rettilineo per 2008,77 m fino a deviare a destra con una curva di raggio planimetrico pari a 1885,00 m e sviluppo pari a 663,59 m (407,45 m in galleria) anticipata e seguita da due curve a raggio variabile (clo-

toidi) con parametro $A=630$ e sviluppo pari a 210,56 m. Il rivestimento definitivo della galleria naturale è costituito da un anello formato da 8 conci prefabbricati in c.a. di spessore pari a 0,6 m e lunghezza nominale pari a 2,0 m, oltre al “concio di chiave”.

La copertura massima in calotta è di ~ 130 m (in prossimità della prog. 15+450 m) le coperture minori in corrispondenza dei due imbocchi (~2-3 m).

L'intera tratta in naturale è stata realizzata mediante scavo meccanizzato con l'utilizzo di EPB.

In funzione delle caratteristiche geotecniche ed idrogeologiche lungo il tracciato è stata applicata una contropressione per contenere il fronte e lo sviluppo dei cedimenti in superficie. Nella tratta nei Calcari (~200 m) oltre ad una pressione al fronte pari alla massima che poteva essere esercitata dalla macchina, si è reso necessario abbassare la falda con pozzi di emungimento in superficie e realizzare consolidamenti in avanzamento per limitare sovrprofili possibili per la natura non coesiva dei calcari.

In entrambi gli imbocchi della GN Caltanissetta è stato realizzato un tratto di galleria artificiale.

All'imbocco lato Agrigento il tratto in artificiale ha una lunghezza di 34,75 m per entrambe le canne mentre lato A19 la lunghezza è di 39,98 m per la canna dx e 72,74 m per quella sinistra. Gli scavi di sbancamento sono sostenuti da paratie di pali multi tirantate, la sez. tipo è costituita da un rivestimento di calcestruzzo gettato in opera di spessore 1,60 m. Terminate le fasi di costruzione, gli scavi sono stati ritombati utilizzando le trs estratto precedentemente.

La macchina EPB, che ha garantito l'adeguata superficie di scavo di circa 177 m², è H.P.E.P.B.M. (High Performance Earth Pressure Balance Machine) progettata per una resa ed una efficienza ottimali in contesti geologici complessi e ad alte pressioni. La EPB conta su 42 punti di iniezione, distribuiti in testa, nella camera di miscelazione, nello scudo e nella coclea. Sulla base di studi sul condizionamento dei terreni, è stata ottimizzata la progettazione dei circuiti di iniezione di acqua, schiume e polimeri.

I materiali scavati e condizionati sono stati caricati su nastro trasportatore e trasferiti ad un sistema di 10 vasche di maturazione di ~1.300,00 mq circa per realizzare cumuli di ~3.000 mc. *Tenuto conto della produzione attesa, dei risultati delle analisi fisico-chimiche, della curva di biodegradabilità degli additivi e dei tempi necessari al monitoraggio al tempo T0 e T5, individuato come tempo massimo di biodegradazione degli additivi e dei grassi di stillicidio, si è progettato, con estremo dettaglio, il flusso dei materiali scavati, la loro distribuzione giornaliera nelle vasche di maturazione ed il ritmo di deposito/essiccamento/biodegradazione/trasporto nei siti di deposito finale.*

3. INDAGINI ESEGUITE

La GN Caltanissetta è stata realizzata con scavo meccanizzato TBM del tipo EPB con l'impiego di grassi di stillicidio, additivi fluidificanti e polimeri. I prodotti chimici utilizzati per la “Soil Conditioning” sono stati selezionati in funzione delle caratteristiche del terreno in situ e dell'assetto idrogeologico. Allo scopo di definire il miglior conditioning da adottare, il Contraente Generale ha commissionato al Politecnico di Torino-DIATI uno specifico studio sui materiali da scavo e sulla base dei risultati di tale studio sono state eseguite le analisi per la definizione della “curva di biodegradabilità” delle sostanze additivanti dei principali marchi presenti in commercio.

Da tenere presente che le trs condizionate con gli additivi per essere riutilizzate devono essere compatibili sotto il profilo litologico ed ambientale con i siti di deposito finale, ovvero la concentrazione delle sostanze presenti deve essere inferiore ai valori limiti della Tabella 1, Allegato 5 alla Parte IV Titolo V del D.Lgs. 152/2006. Tale circostanza deve essere preliminarmente verificata in fase di progettazione.

Il materiale prelevato è stato prima condizionato con gli additivi di tre distinte case produttrici, secondo i dosaggi indicati dallo studio del DIATI in funzione dei prodotti e dei litotipi interessati e successivamente inviato al laboratorio di analisi per determinare le concentrazioni degli analiti in relazione ai limiti tabellari previsti dalla normativa vigente.

Dalla valutazione delle schede tecniche e di sicurezza degli additivi utilizzati per l'esecuzione dello scavo, si è verificato che i composti chimici non presenti nella Tab. 1, allegato 5 alla parte IV del titolo V del D.Lgs. 152/06 sono: a) Tensioattivi anionici; b) Tensioattivi non ionici; c) Polimeri. In questi casi la tab. riporta “per le sostanze non esplicitamente indicate in tabella, i valori di concentrazione limite accettabili sono ricavabili adottando quelli indicati per la sostanza più affine tossicologicamente”. I composti su indicati non sono tra quelli compresi nella citata tabella e non sono affini a nessuna delle sostanze riportate nella Tabella 1, per cui si è reso necessario uno studio specifico per la definizione dei limiti di concentrazione massima al fine di fornire di tutte le necessarie garanzie in termini ambientali e di tutela della salute pubblica e degli ecosistemi.

Il CG ha dato incarico all'Università di Napoli ed all'Istituto Mario Negri di eseguire gli studi e le analisi ecotossicologiche per indicare, sulla base della composizione degli additivi impiegati per il condizionamento dei terreni, i parametri analitici aggiuntivi ed i rispettivi valori soglia di concentrazione ecotossicologicamente accettabili per la tutela della salute umana e degli ecosistemi. Per dar seguito alle

attività di conditioning ed alla caratterizzazione del bianco di riferimento, il C.G. ha eseguito, in corrispondenza della GN Caltanissetta, 9 sondaggi di cui 5 attrezzati a piezometro spinti a quota galleria (profondità variabile tra 35 e 134 m), finalizzati al campionamento dei terreni ad una distanza relativa inferiore ai 1000 ml di tracciato previsti dalla normativa.

I carotaggi sono stati effettuati, in accordo al D. Lgs.152/2006, con perforazione a secco senza fluido di perforazione, carotieri semplici di tipo ambientale, divisibili, idonei al prelievo di campioni rappresentativi e senza l'ausilio di lubrificanti. Durante la perforazione la velocità di rotazione è stata modulata per ridurre l'attrito tra suolo ed attrezzo campionato ed evitare il surriscaldamento del terreno e la conseguente perdita di significatività dei materiali estratti. La stabilizzazione dei fori è stata garantita mediante rivestimento provvisorio in metallo senza l'ausilio di fluido in circolazione. Al fine di garantire la rappresentatività dei campioni prelevati, durante le perforazioni non si è fatto uso di olii e grassi di origine animale, né di altre sostanze in grado di comportare alterazioni chimico-fisiche delle matrici ambientali indagate. Inoltre, al fine di evitare fenomeni di "cross-contamination", sono stati adottati i seguenti accorgimenti: a) rimozione dei lubrificanti dalle zone filettate; b) utilizzo di rivestimenti, corone e scarpe non verniciate; c) eliminazione di gocciolamenti di olii dalle parti idrauliche.

Prima e durante le operazioni di perforazione, è stato verificato il corretto funzionamento degli impianti, dei macchinari e di tutte le attrezzature utilizzate, al fine di evitare eventuali perdite di lubrificanti, carburanti o sostanze contaminanti. Prima dell'avvio delle perforazioni, tutti gli utensili (carotiere, aste, rivestimenti metallici, etc.) sono stati accuratamente lavati con acqua potabile e con idropulitrice ad alta pressione montata sulla perforatrice. Analogo procedimento è stato adottato ad ogni manovra di carotaggio, garantendo la decontaminazione delle attrezzature durante la perforazione. Per decontaminare le attrezzature è stata predisposta un'area specifica ad una distanza dal foro sufficiente ad evitare la diffusione del materiale inquinante, resa impermeabile mediante un telo plastico ad alta densità.

Durante le operazioni di perforazione ogni 3 m è stata effettuata la misura del biogas, per valutare il rischio ai sensi del D.Lgs. 81/2008 e degli artt. 56 e 58 del Regolamento di Polizia Mineraria della Regione Sicilia.

Prima di ciascuna manovra di campionamento, è stata misurata la quota del fondo foro mediante scandaglio a filo graduato e se la differenza tra la quota raggiunta con la perforazione e quella misura-

ta è risultata superiore a 10 cm, sono state messe in atto apposite manovre di pulizia del fondo foro.

Dopo i prelievi ambientali le cassette catalogatrici sono state sigillate per l'essiccazione e la frantumazione delle carote e la riduzione granulometrica del materiale per l'esecuzione delle prove di condizionamento e la determinazione della curva di degradabilità del materiale additivato. In particolare si è ritenuto di ricercare tutti gli analiti indicati nella normativa vigente con l'aggiunta di alcune sostanze indicate dall'Università di Napoli e dall'Istituto Mario Negri sulla base dell'analisi delle schede tecniche degli additivi utilizzati: *Short List normativa vigente*: Scheletro, Residuo secco a 105°C, Arsenico, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Cromo VI, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Zinco, Composti aromatici (BTEX), Idrocarburi pesanti C>12, Idrocarburi policiclici aromatici (IPA), Amianto. *Parametri aggiuntivi rilevati sulle schede di sicurezza degli additivi*: 2-metil-2,4-pentandiolo, Tensioattivi non ionici, Tensioattivi anionici, Acrilammide, Acido acrilico.

Si è stabilito un programma di prove che ha previsto 8 step di analisi da eseguire sul campione tal quale e sui campioni condizionati (da T0 a T28).

Le analisi eco tossicologiche sono state eseguite dall'Istituto Mario Negri su *Eisenia andrei*, *Daphnia magna*, *P.subcapitata*.

I campioni da sottoporre all'analisi della curva di biodegradazione sono stati preparati secondo diverse fasi successive.

- Determinazione del peso specifico, del limite di plasticità e della granulometria che deve essere simile a quella delle trs prodotte dalla fresa;
- Prelievo di un'aliquota rappresentativa, previa quartatura, del campione senza aggiunte di additivi chimici, al fine di avere il riferimento del "bianco", attraverso prove chimico-fisiche ed eco-tossicologiche. Il riferimento è indispensabile per fornire la necessaria valenza scientifica al prosieguo delle analisi e delle valutazioni sulla biodegradabilità e tossicità degli additivi.
- Determinazione dei "mix design" idonei per ogni prodotto e per le litologie interessate dallo scavo.
- Preparazione degli additivi come da "mix design" per una quantità minima di campione di circa 5-6 Kg. Ottenuto il volume del campione è stato possibile ricavare il volume di schiuma necessario all'additivazione, moltiplicando il volume per il parametro FIR del singolo "mix design". La miscelazione è stata mantenuta per il tempo necessario a raggiungere il volume di schiuma corrispondente al valore di FER del singolo mix design; la generazione della schiuma è avvenuta all'interno di un becker graduato dal volume noto di 5 l. La

schiuma così ottenuta è stata additivata al campione in unica soluzione.

Si è provveduto, infine, al campionamento delle acque profonde con lo scopo di controllare l'impatto della costruzione della GN Caltanissetta sul sistema idrogeologico superficiale e profondo, al fine di prevenirne alterazioni di tipo quali-quantitativo delle acque di falda. Il campionamento è stato effettuato in alcuni pozzi lungo il tracciato di progetto della GN Caltanissetta utilizzati anche per il controllo mediante campionamento ed analisi di laboratorio dell'acqua di falda in fase di realizzazione (Figura 1)

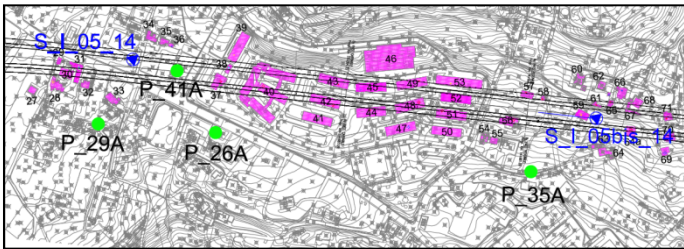


Figura 1 – Ubicazione di alcuni dei sondaggi ambientali, edifici, piezometri e pozzi monitorati

La scelta dei punti di monitoraggio si è basata sui seguenti criteri: a) caratteristiche idrogeologiche; b) vicinanza al tracciato; c) valore della risorsa (uso e disponibilità in termini quantitativi della stessa).

La scelta dei parametri da controllare è stata definita in base alle possibili sostanze ricollegabili alle attività svolte durante gli scavi in galleria e, secondo un principio di precauzione, in relazione ai potenziali impatti che la realizzazione della galleria avrebbe potuto avere sull'acquifero profondo.

Nella redazione del PUT si è tenuto conto di una lunga esperienza in materia che ci ha permesso di testare gli stessi 3 prodotti utilizzati per la GN Caltanissetta con litologie diverse e si è dimostrato come lo stesso prodotto ha comportamenti enormemente diversi a seconda della litologia scavata.

Ciò dimostra come sia indispensabile avviare, in fase di progettazione, studi molto dettagliati sulla biodegradabilità degli additivi in quanto non è ipotizzabile a priori il comportamento di ogni singolo prodotto senza un'analisi sito-specifica. *Ciò è ancor più valido per quanto riguarda la tossicità.* Nella tabella seguente sono riassunti i tempi di decadimento ottenuti, nelle varie sperimentazioni fatte per vari progetti, per singolo prodotto e litologia da cui si evince che i tempi di decadimento di uno stesso prodotto possono variare in funzione della litologia scavata e che per ogni litologia scavata, teoricamente, almeno due prodotti hanno tempi di decadimento entro 5 giorni (Figura 2).

Prodotto \ Litologia	1	2	3
Argilla	0 gg.	0 gg.	4 gg.
Sabbia Limosa	13 gg.	5 gg.	9 gg.
Sabbia Vulcanica	4 gg.	0 gg.	> 28 gg.
Sabbia media con Ghiaia	3 gg.	0 gg.	4 gg.
Breccia Vulcanoclastica	3 gg.	0 gg.	2 gg.
Lava	0 gg.	1 gg.	0 gg.
Sabbia Limosa + acqua + Polimero asciugante	3 gg.	1 gg.	> 28 gg.

Figura 2 – Risultati delle analisi di biodegradazione per singoli litotipi relativi a tre prodotti diversi

La velocità di biodegradazione dei singoli prodotti in funzione della diversa litologia interessata è fortemente collegata, ovviamente, anche al mix design che viene fuori dagli studi preliminari per definire il miglior conditioning nelle diverse condizioni di lavoro. Questo aspetto è molto delicato nella fase di progettazione perché la geologia e le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi interessati dagli scavi condizionano fortemente le quantità necessarie per ogni singolo prodotto e la scelta del migliore nei singoli casi. Uno degli obiettivi di questo lavoro è, infatti, quello di dimostrare che tale tipologia di studio è fortemente sito-specifico e non ci sono regole generali che possono essere estrapolate per situazioni geologiche e geotecniche diverse.

4. AREE DI CONFERIMENTO DEFINITIVO E TEMPORANEO

Per quanto riguarda i siti di deposito temporaneo è stata individuata un'area all'interno della fascia da infrastrutturare in prossimità dell'imbocco delle gallerie e del recapito finale del nastro trasportatore, dove sono state realizzate n. 10 vasche di maturazione al fine di realizzare i necessari cumuli per favorire l'essiccamento delle trs e la biodegradazione degli additivi e dei grassi di stillo.

Sono stati, inoltre, individuati 4 siti di deposito finale (cave abbandonate da riqualificare da un punto di vista ambientale) che sono stati oggetto di approfonditi studi di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, urbanistico, ambientale, vincolistico e di caratterizzazione chimico-fisica previsti dalla normativa vigente. Per ogni cava è stato redatto uno specifico progetto di rinaturalizzazione che con ottimi risultati ha restituito alla comunità siti perfettamente recuperati alle attività agricole tipiche della zona, eliminando ferite profonde imposte al territorio dalla coltivazione delle cave (Figura 3).



Figura 3 – Foto ante e post operam di uno dei siti di deposito finale

5. VALUTAZIONE DEL RISCHIO AMBIENTALE LEGATO ALL'USO DI AGENTI SCHIUMOGENI E POLIMERI

La tecnologia di scavo con fresa impone l'uso di notevoli quantità di acqua ed additivi schiumogeni, nonché grassi di stillicidio che impongono al territorio circostante impatti che devono essere valutati e che possono essere riassunti in impatti: a) sulla falda presente nel tratto di galleria scavata; b) sulla componente Atmosfera; c) nelle aree di deposito finale.

Rispetto al punto a) nel nostro caso la galleria intercetta la falda in corrispondenza del tratto nei calcari di base fratturati. Tale aspetto è stato particolarmente curato in fase di progettazione del PUT, con il prelievo e le analisi delle acque di falda e con la simulazione del deflusso idrico sotterraneo finalizzata a verificare quali impatti gli additivi utilizzati potessero avere sulla risorsa idrica. In fase esecutiva, in ottemperanza ad una prescrizione del Mattm, sono stati monitorati tutti i pozzi presenti ed è stato realizzato un piezometro a 100 metri dall'asse della galleria, per verificare la velocità di biodegradazione degli additivi in ambiente idrico. I risultati sotto evidenziati dimostrano che le velocità di biodegradazione degli additivi in ambiente idrico è estremamente veloce e le analisi eseguite hanno evidenziato la totale assenza o comunque concentrazioni molto

basse, nelle acque di falda, dei tensioattivi e delle altre sostanze presenti nei prodotti utilizzati.

Nella tabella seguente vengono riportati i valori più significativi tra quelli, numerosissimi, misurati nei campioni di acqua prelevati nelle 59 campagne eseguite durante la realizzazione della galleria che evidenziano come la falda non ha subito durante lo scavo alcun impatto negativo dall'uso degli additivi tenendo conto che il piezometro più vicino (PdU PZ_02) dista 100 mt dall'asse della galleria e la trasmissività dell'acquifero è pari a $1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Tabelle 1 e 2).

Tabella 1 – Risultati delle analisi di monitoraggio delle acque di falda in corrispondenza dell'avanzamento della fresa

Punto di campionamento	Tensioattivi anionici (mg/l)	Tensioattivi cationici (mg/l)	Tensioattivi non ionici (mg/l)	Tensioattivi totali (mg/l)
PdU_PZ_02	< 0,05 - < 0,5	< 0,2	< 0,2 - 1	< 0,05 - 0,82
PZ_N1	0,077 - 0,79	< 0,2	< 0,2 - 1,02	< 0,5 - 1,81
PZ_N2	< 0,05	< 0,2	< 0,2 - 0,26	< 0,5
PZ_N3	< 0,05 - 0,10	< 0,2	< 0,2	< 0,5
PZ_N4	< 0,05	< 0,2	< 0,2	< 0,5
PZ_N6	< 0,05 - 0,83	< 0,2 - < 0,5	< 0,2 - < 0,5	< 0,5 - 0,84
PZ_N8	2,14	< 0,2	< 0,5	2,56
PZ_N9	0,801	< 0,2	< 0,2	0,801
PZ_N10	< 0,05 - 0,12	< 0,2 - < 0,5	< 0,2 - 0,6	< 0,5 - 1,06
PZ_N11	< 0,05	< 0,2	< 0,2	< 0,5
PZ_2	< 0,05	< 0,2	< 0,2	< 0,5
P_26°	< 0,05	< 0,2	< 0,2	< 0,5
P_29°	< 0,05 - < 0,1	< 0,2	< 0,2	< 0,5
P_33°	< 0,05	< 0,2	< 0,2	< 0,5
P_35°	< 0,05	< 0,2	< 0,2	< 0,5
P_41°	< 0,05	< 0,2	< 0,2	< 0,5

Tabella 2 - Risultati delle analisi di monitoraggio delle acque di falda in corrispondenza dell'avanzamento della fresa

Punto di campionamento	Acrilammide (µg/l)	Acido acrilico (µg/l)	Esilenglicole (µg/l)
PdU_PZ_02	< 0,05	< 0,05 - < 0,10	< 0,05 - < 0,10
PZ_N1	< 0,05	< 0,05 - < 0,10	< 0,05 - < 0,10
PZ_N2	< 0,05	< 0,05 - < 0,10	< 0,05 - < 0,10
PZ_N3	< 0,05	< 0,05 - < 0,10	< 0,05 - < 0,10
PZ_N4	< 0,05	< 0,05 - < 0,10	< 0,05 - < 0,10
PZ_N6	< 0,05	< 0,05 - < 0,10	< 0,05 - < 0,10
PZ_N8	< 0,05	< 0,05	
PZ_N9	< 0,05	< 0,05	
PZ_N10	< 0,05	< 0,05 - < 0,10	< 0,05 - < 0,10
PZ_N11	< 0,05	< 0,05	
PZ_2	< 0,05		< 0,05
P_26°	< 0,05		< 0,05
P_29°	< 0,05	< 0,05	< 0,05 - < 0,10
P_33°	< 0,05		< 0,05
P_35°	< 0,05		< 0,05 - < 0,10
P_41°	< 0,05		< 0,05 - < 0,10

In relazione al punto b), leggendo le schede dei materiali fornite dai produttori si evince che tra i principali elementi dei prodotti schiumogeni sono state identificate praticamente solo sostanze non vo-

latili (pressione di vapore >0,001 atm). In ogni caso a causa delle bassissime concentrazioni nei prodotti di sostanze volatili ($\leq 0,001\%$) la concentrazione massima calcolata di tali impurità nell'aria della galleria durante i lavori è decisamente inferiore ai limiti di esposizione occupazionale. Anche in presenza di prodotti disciolti in aerosol non sono previsti rischi. Sebbene tutte le concentrazioni calcolate in aria nella galleria sono ben al di sotto dei limiti di esposizione professionale è stata garantita una sufficiente ventilazione.

In relazione al punto c), secondo la direttiva europea, per l'ubicazione dei siti di conferimento finale si devono prendere in considerazione i seguenti elementi: a) l'esistenza di acque freatiche e costiere e zone di protezione della natura; b) le condizioni geologiche e idrogeologiche dell'area.

Tali requisiti contribuiscono alla valutazione dei parametri quali la lisciviazione dei prodotti solubili, i processi di adsorbimento nel suolo, la mobilitazione di altri contaminanti quali metalli pesanti o la tossicità dei percolati. Sulla base dei dati disponibili e dalle ipotesi fatte dalle ditte produttrici, che sono stati verificati con le analisi fisico-chimiche eseguite in corso d'opera e validate da ARPA, l'utilizzo di additivi schiumogeni nel nostro specifico caso è risultato ambientalmente compatibile.

Si riportano, per brevità, solo i risultati di alcune delle numerosissime analisi fatte (Tabella 3).

Tabella 3 – Risultati delle analisi di monitoraggio delle acque di falda in corrispondenza dei siti di deposito finale

Punto di campionamento	Tensioattivi anionici (mg/l)	Tensioattivi cationici (mg/l)	Tensioattivi non ionici (mg/l)
PZM-01 M	< 0,05 – < 0,5	< 0,05 – < 0,5	< 0,2 - 0,595
PZM-01 V	< 0,05 – < 0,5	< 0,05 – < 0,5	< 0,2 - 0,745
P_08°	< 0,05 – 0,32	< 0,2	< 0,2
Tensioattivi totali (mg/l)	Acrilammide (µg/l)	Acido acrilico (µg/l)	Esilenglicole (µg/l)
< 0,5 - 0,595	< 0,05	< 0,05	< 0,05
< 0,5 - 0,745	< 0,05	< 0,05	< 0,05
< 0,5	< 0,05		< 0,10

6. CAMPIONAMENTO DELLE TRS E CARATTERIZZAZIONE IN CORSO D'OPERA

Visto che lo scavo meccanizzato è potenzialmente inquinante, nonostante le dettagliate caratterizzazioni in fase di progettazione, si sono previste analisi fisico-chimiche delle trs in corso d'opera i cui risultati sono visibili nella tabella allegata.

Si presentano a solo titolo di esempio alcuni dei risultati delle numerosissime analisi eseguite da cui si evince la velocità di biodegradazione degli additivi utilizzati (Tabella 4).

Tabella 4 - Risultati delle analisi di monitoraggio delle trs in corrispondenza dell'avanzamento della fresa

CANNA DX			Conformità a CSC e valore iniziale MBAS (T0)		Conformità finale		
lotto omogeneo di scavo			data	MBAS(mg/kg)	data	MBAS(mg/kg)	Tconformità
lotto n.	anello in.	anello fin.					
1	10	14	11/04/2017	69,5	28/05/2017	1,7	T47
1.1	15	20			19/04/2016	<1	T8
1.2	21	28			19/04/2016	<1	T8
1.3	29	34			19/04/2016	<1	T8
1.4	35	36			19/04/2016	<1	T8
1.5	37	38			19/04/2016	1,4	T8
1.6	39	43			19/04/2016	1,6	T8
1.7	44	46			19/04/2016	<1	T8
2	47	50	21/04/2016	<1	23/04/2016	1,3	T2
3	103	107	03/05/2016	85,2	10/05/2016	<1	T7
4	164	168	17/05/2016	28,1	20/05/2016	2,2	T3
5	232	237	28/05/2016	90,8	02/06/2016	1,9	T5
6	308	313	10/06/2016	27,5	12/06/2016	<1	T2
7	395	400	23/06/2016	54,3	25/06/2016	<1	T2
8	481	486	05/07/2016	47,4	07/07/2016	1,9	T2
9	571	576	20/07/2016	11,6	22/07/2016	<1	T2
10	661	666	30/07/2016	76,5	01/08/2016	<1	T2
11	746	751	10/08/2016	59,8	12/08/2016	<1	T2
12	836	841	30/08/2016	40,7	01/09/2016	<1	T2
13	922	927	10/09/2016	90	12/09/2016	<1	T2
14	1012	1017	22/09/2016	98,5	25/09/2016	<1	T3
15	1096	1101	07/10/2016	93,8	09/10/2016	1,6	T2
16	1171	1176	09/11/2016	18,1	12/11/2016	1,9	T3
17	1249	1254	05/12/2016	79,6	11/12/2016	2,0	T6
18	1261	1265	09/12/2016	167,4	16/12/2016	2,1	T9
19	1278	1283	14/12/2016	71,9	19/12/2016	2	T5
20	1362	1367	17/01/2017	37,3	24/01/2017	2,1	T7
21	1423	1428	02/02/2017	7	04/02/2017	2,1	T2
22	1505	1510	22/02/2017	31,4	24/02/2017	<1	T2
23	1592	1597	11/03/2017	30,7	15/03/2017	1,1	T4
24	1676	1681	28/03/2017	20,8	31/03/2017	1,7	T3
25	1764	1769	13/04/2017	34,2	17/04/2017	2,2	T4
26	1782	1787	20/04/2017	52,4	26/04/2017	1,8	T6
27	1865	1870	06/05/2017	124,8	08/05/2017	2,1	T2
28	1955	1958	01/06/2017	122,9	07/06/2017	<1	T6

A parte i valori relativi ai primi 8 lotti che sono stati influenzati da eventi meteorici eccezionali si può dire che i lotti legati dalla litologia calcarea in falda hanno fatto registrare tempi di biodegradazione maggiori, anche in relazione alla maggiore quantità di additivi utilizzati rispetto alle litologie calcareo-marnosa ed argillosa. Il volume di trs prodotto è 1.942.514,00 mc (1.387.510,00 mc in banco) di cui 966.273,00 mc dallo scavo della galleria sinistra e 977.241,00 mc dallo scavo della galleria destra. Il PUT ha previsto un'ampia area di deposito temporaneo dove sono state realizzate n. 10 vasche per la maturazione dei terreni condizionati, impermeabilizzate per evitare qualunque contatto con il suolo.

Visto che tutto il volume di terreno proveniente dallo scavo meccanizzato è stato trattato con processo di "normale pratica industriale" di maturazione e biodegradazione in cantiere e successivamente trasportato ai siti di conferimento finale per il loro recupero ambientale, sono stati prodotti n. 647 cumuli da 3.000 mc. Posto "n" uguale a 647 (numero totale dei cumuli realizzabili), il numero "m" dei cumuli da caratterizzare è dato dalla seguente formula: $m = K * n / 3$ dove $K = 5$: ne consegue che $m = 5 * 647 / 3 = 1078,33$, da cui risulta una frequenza di campionamento/caratterizzazione di 1 cumulo da 3000 mc ogni 15 cumuli, salvo i casi in cui si sono verificate variazioni del processo di produzione, della litologia o in presenza di evidenze di potenziale contaminazione.

La gestione dei cumuli, salvo singoli episodi legati ad eventi eccezionali, ha garantito la stabilità dei cumuli, l'assenza di dispersione in atmosfera di polveri e di erosione da parte delle acque, la salvaguardia della salute umana, nonché la sicurezza sui luoghi di lavoro ai sensi del D.Lgs n. 81 del 2008.

Successivamente, a fine lavori, l'ARPA ha eseguito i sondaggi e prelevato campioni nei siti di deposito finale per le necessarie verifiche. *Dai risultati delle verifiche si evince che tutti i campioni erano conformi alle prescrizioni impartite dal Mattm.*

7. PIANO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE

In conformità alle indicazioni tecniche di cui alle Linee Guida predisposte dalla CTVIA del Mattm, il CG ha redatto un PMA per verificare gli impatti derivanti dalla realizzazione della galleria e dagli interventi di recupero ambientale attraverso il riutilizzo delle trs provenienti dagli scavi della GN Caltanissetta. Il monitoraggio è stato organizzato secondo tre distinte fasi temporali: ante operam, in operam e post operam. In considerazione degli impatti presunti, le componenti ambientali monitorate sono state: Atmosfera; Rumore; Acque sotterranee e superficiali; Suolo e sottosuolo.

Il monitoraggio eseguito in contraddittorio con ARPA ha confermato l'assenza di qualsiasi fenomeno di inquinamento delle acque e del suolo ed anche la verifica nei siti di deposito finale ha confermato l'effettiva biodegradazione degli additivi.

8. CONCLUSIONI

Da quanto detto, dall'esperienza maturata durante la realizzazione della GN Caltanissetta, sotto il controllo costante dell'ARPA, chiarendo innanzitutto che le quantità di additivi realmente consumati è stata di inferiore a quella preventivata, si evince che:

- ✓ la gestione delle trs è stata coerente al PUT approvato con la Determina Direttoriale (D.D.) prot.dva-2014-0019853 del 19/06/14, previo positivo parere della CTVIA n.1503 del 23/05/14, come aggiornato con D.D. 0000251/DVA del 28/06/16 previo parere della CTVIA n.2107 del 17/06/16;
- ✓ i grassi di stillicidio hanno dimostrato di biodegradarsi completamente già al tempo T0;
- ✓ nell'operatività concreta in cantiere la biodegradazione degli additivi è stata, in genere, più veloce rispetto a quella valutata tramite le prove di laboratorio. Infatti, dalle analisi eseguite in corso d'opera sui cumuli nelle vasche di maturazione, gli additivi ed i grassi di stillicidio, in molti casi, si biodegradavano completamente già al tempo

T2 a fronte di un periodo di 5 giorni ipotizzato sulla base delle analisi eseguite per la redazione del PUT. La totale biodegradazione degli additivi e dei grassi di stillicidio è stata verificata in contraddittorio con ARPA Caltanissetta;

- ✓ la spiegazione di quanto detto prima può essere ricercata nel fatto che, nella realtà delle lavorazioni concrete, i materiali scavati, sia nel passaggio dalla coclea dove subiscono un forte rimaneggiamento, sia lungo il nastro trasportatore in un ambiente molto ventilato, sono soggetti, rispetto alle condizioni imposte nei laboratori, ad una maggiore ossigenazione che funge da fattore accelerante rispetto ai processi di biodegradazione. Anche le temperature al fronte sono certamente ben più elevate di quelle che possono essere riprodotte in laboratorio;
- ✓ fattore accelerante il processo di biodegradazione è certamente la presenza di giornate soleggiate e ventose, mentre fenomeni piovosi intensi e temperature molto rigide fungono da freno, tale condizione, infatti, non si è manifestata in corrispondenza di intensi fenomeni piovosi che hanno rallentato molto il processo di biodegradazione;
- ✓ si è verificato che in falda gli additivi si biodegradano velocemente tenuto conto che tutte le numerosissime analisi eseguite nei pozzi e nei piezometri monitorati in coincidenza con i lavori non hanno evidenziato problemi di alcun tipo;
- ✓ non si sono manifestate criticità di alcun tipo né di tipo geologico, né di tipo ambientale;
- ✓ il Piano di Monitoraggio Ambientale è stato condotto in conformità al PUT approvato;
- ✓ il Mattm ha eseguito, tramite il gruppo istruttore della CTVIA, una serie di visite in cantiere nell'ambito della procedura di Verifica di Attuazione, ex art.185, commi 6 e 7 del D.Lgs 163/2006 e ss.mm.ii., allo scopo di verificare il corretto svolgimento delle lavorazioni sotto il profilo ambientale e l'ottemperanza alle prescrizioni di cui al decreto di compatibilità ambientale;
- ✓ in relazione al PUT redatto per la realizzazione della GN Caltanissetta, con la D.D. 0000264 del 21/09/2017, previo parere della CTVIA n. 2497 del 08/09/2017, il MATTM ha ritenuto l'esecuzione dei lavori coerente e conforme al PUT ed alle prescrizioni impartite;
- ✓ è stato condotto anche un monitoraggio post operam per la verifica nei siti di deposito finale dell'effettiva biodegradazione degli additivi che ha fornito esiti positivi con la conferma, da parte di ARPA, dell'assenza di fenomeni di inquinamento nei siti di conferimento finale analizzati.

BIBLIOGRAFIA

Bellomo G., 2017. Terre e Rocce da Scavo: sottoprodotto e normale pratica industriale tra nuovo D.P.R., nuovo codice degli appalti e nuovo D.M.264/2016 – DIGESTA Ambiente Legale Numero 2/2017

ABSTRACT

PUT AND ENVIRONMENTAL ISSUES OF BIG DIMENSIONS CONSTRUCTION SITES - CREATION OF THE CALTANISSETTA NATURAL GALLERY WITH MECHANIZED EXCAVATION

Keywords: PUT, biodegradation, mechanized excavation, lithological and hydrogeological structure

This article shows an important work that has already been completed and which has received all the necessary approvals and controls in order to give a concrete reference on the project and implementation of a Land Use Plan (PUT) in geologically complicated situations with remarkable volumes. Also to clarify some very discussed points on the management of excavated materials, especially with the mechanized excavation technique.

The GN Caltanissetta was made with TBM mechanized excavation of the EPB type with the use of dripping greases, fluidifying additives and various polymers, selected according to the characteristics of the soil in situ and the hydrogeological structure. In order to define the best conditioning to be adopted, the General Contractor (GC) commissioned to DIATI a specific study on the excavated materials and based on the results of this work, analyzes were carried out for the definition of the "biodegradability curve" of the substances additives of the main brands on the market.

GC also commissioned to the University of Naples and to the Mario Negri Institute to carry out ecotoxicological studies and analyzes to indicate, based on the composition of the additives used for soil conditioning, the additional analytical parameters to be determined and the ecotoxicologically acceptable concentration threshold values for the protection of human health and ecosystems.

PUT has been studied in such a way that not even one m³ has been sent to landfills, thus incorporating the concept of "end of waste" sanctioned by the EU Directive 2008/98/EC. The controls of the MATTM and ARPA have certified that the execution of the works have been compliant with PUT and with the instructions given.