



TECNOLOGIA

# Iniezioni



# Tecnologia

La tecnica delle iniezioni viene utilizzata nel campo dell'ingegneria civile per migliorare le caratteristiche idrauliche e meccaniche di terreni, rocce e manufatti (*opere murarie o in calcestruzzo*).

Da un punto di vista funzionale si possono distinguere interventi per la realizzazione di trattamenti:

- **a scopo provvisorio**, per consentire l'esecuzione di scavi in terreni instabili o sotto falda.
- **con funzione permanente**, per il consolidamento di terreni di fondazione, per la creazione di schermi impermeabili, per il restauro strutturale di opere murarie o in calcestruzzo.



Iniezioni a scopo provvisorio - Metropolitana di Milano, Linea 3. Iniezioni di impermeabilizzazione e consolidamento.



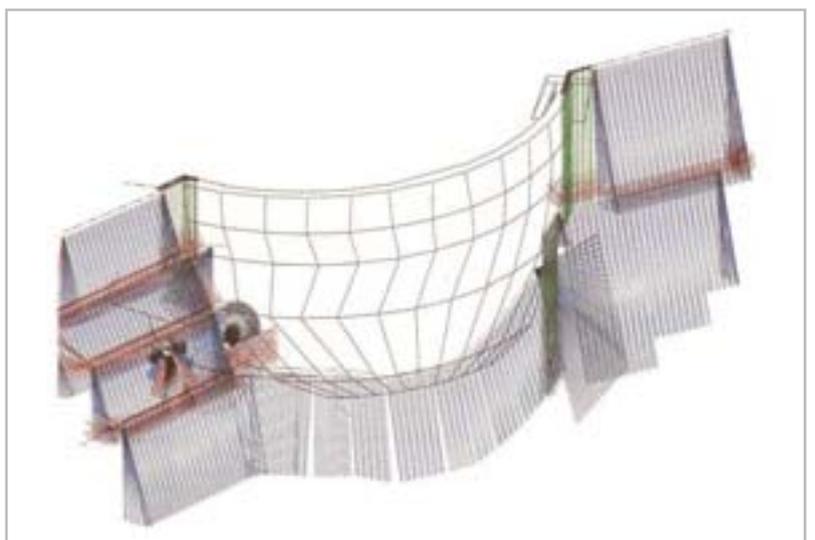
Iniezioni con funzione permanente - Bamyan, Afghanistan. Iniezioni di consolidamento della roccia della nicchia del Grande Buddah.



Iniezioni a scopo provvisorio - Metropolitana di Napoli, Stazione Toledo. Iniezioni di preconsolidamento e impermeabilizzazione della galleria di scavalco.



Iniezioni con funzione permanente - Torre di Pisa. Iniezioni di consolidamento sulla muratura a sacco.



Iniezioni con funzione permanente - Diga di El Cajon, Honduras. Iniezioni di impermeabilizzazione per la creazione di uno schermo idraulico intorno e sotto la diga.

# Sistemi di Iniezione

## Sistemi con Packer in roccia

Da un punto di vista operativo si distinguono iniezioni in terreni sciolti ed iniezioni in roccia.

L'iniezione in **roccia fessurata** viene realizzata direttamente nel foro aperto. In questo caso, si possono distinguere sistemi in avanzamento o in risalita.

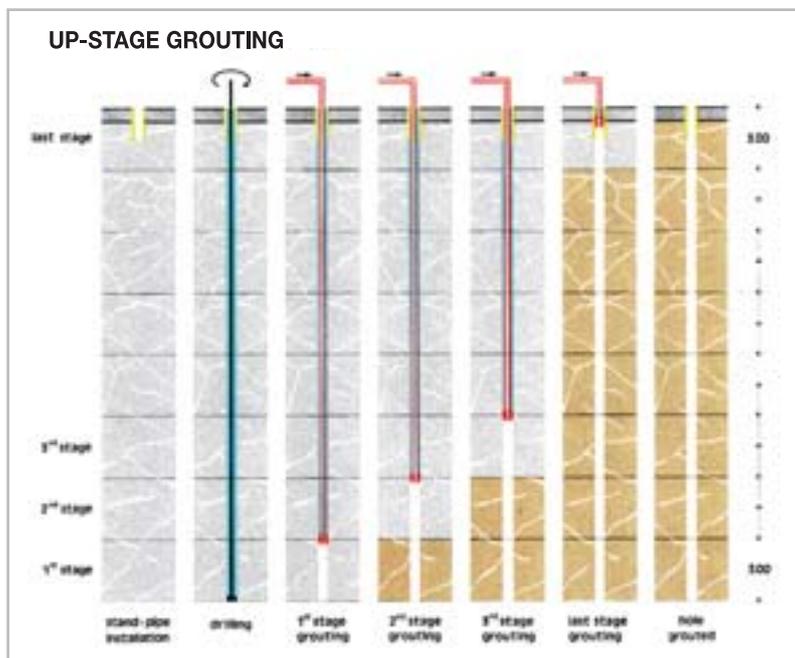
- Con il sistema in risalita (*noto anche come "ascending stage" o "up-stage"*), il foro viene eseguito fino alla profondità di progetto; quindi si procede all'iniezione per zone, in risalita, utilizzando un apposito otturatore (*packer semplice*), che seziona le diverse tratte di foro. Dato la procedura, questo sistema risulta adatto per iniezione in fori che rimangono stabili su notevoli lunghezze, in assenza di fanghi di perforazione o di rivestimenti provvisori.

- In presenza di fori instabili, si deve invece applicare il sistema in avanzamento (*"descending-stage" o "down-stage"*): si esegue un tratto di foro, si ritira per qualche metro l'utensile e si procede all'iniezione. Si deve quindi attendere l'indurimento della miscela, prima di riperforare il tratto iniettato e proseguire con lo stesso sistema per tratti successivi.

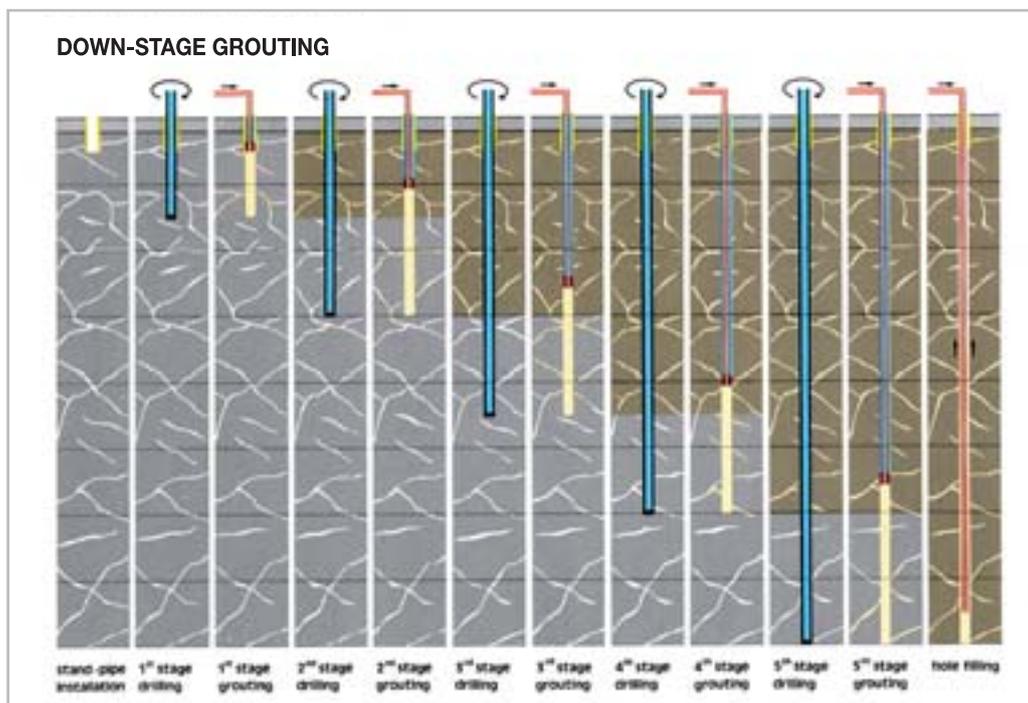
In entrambi i casi l'inclinazione dei fori deve essere definita in funzione della giacitura degli strati e dell'orientamento delle discontinuità, in modo da intercettare il maggior numero di giunti o fessure.

	ROCK			SOIL		
	STABLE	UNSTABLE		SLEEVE PIPE	LANCE OR CASING	
	OPEN HOLE	MPSP	DRILL ROD			
SINGLE STAGE	●		●	●		●
MULTI STAGE		●			●	
ASCENDING ST.	●	●	●	●	●	●
DESCENDING ST.		●	●		●	●

Classificazione dei Sistemi di esecuzione delle iniezioni secondo la Normativa Europea (EN 12715 "Grouting", Capitolo 8.4, tabella 4)



Iniezioni in risalita con packer in roccia (*ascending o up-stage*)



Iniezioni in avanzamento con packer in roccia (*descending o down-stage*)

# Sistemi di Iniezione

## MPSP e TAM

Per le iniezioni in **rocce degradate** o **terreni sciolti**, le iniezioni possono essere eseguite attraverso tubi valvolati, installati nel terreno dopo la perforazione. Le valvole sono generalmente costituite da manicotti in gomma, posizionati sopra sezioni di tubo opportunamente punzonate, che dilatandosi sotto pressione consentono l'uscita della miscela, ma ne impediscono il ritorno.

L'iniezione viene effettuata isolando le singole sezioni con un doppio otturatore ad espansione. In ogni foro viene posizionato un tubo di iniezione. Attraverso il doppio otturatore, collegato ad una singola pompa di iniezione, la miscela viene iniettata valvola per valvola.

In particolare, si utilizza:

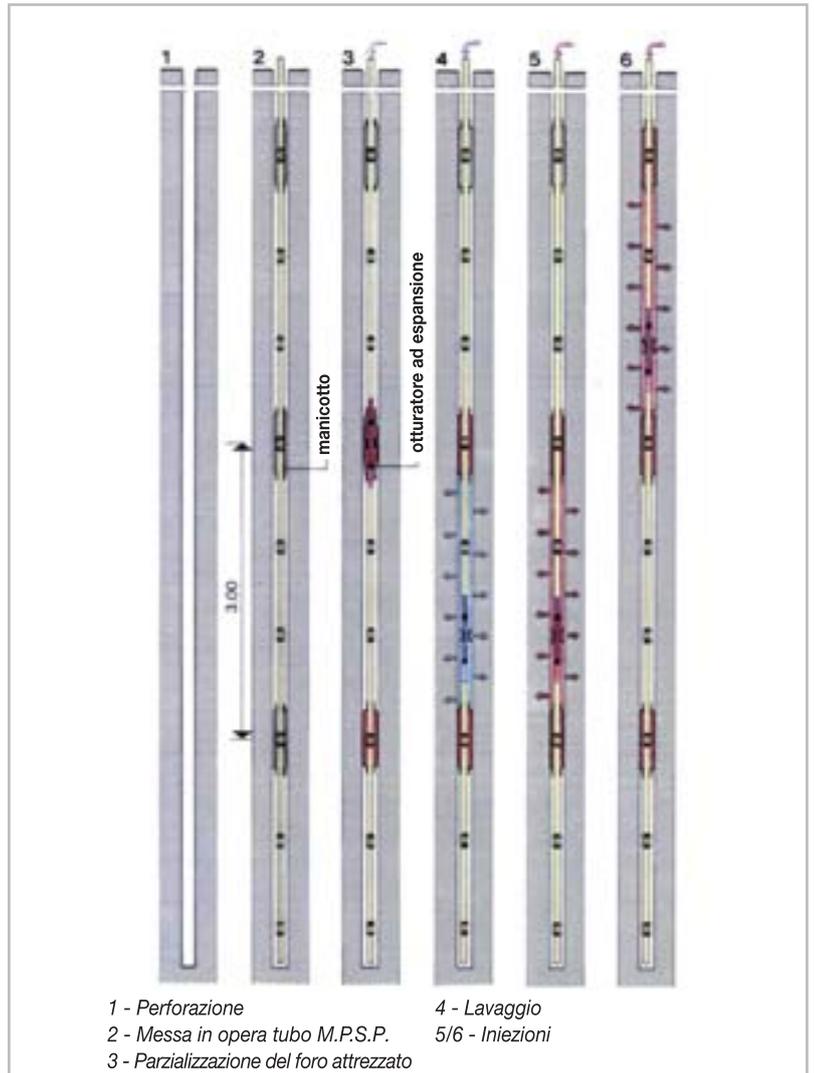
- la **tecnica MPSP ad otturatori multipli** (*Multi Packer Sleeve Pipe*), ideata e sviluppata dalla RODIO-TREVI, per il trattamento delle rocce degradate. Con questa tecnica non si utilizza guaina; il foro viene sezionato in tratte tramite sacchi otturatori montati ad intervalli di alcuni metri. L'iniezione avviene tratta per tratta.
- la **classica canna valvolata** ("*Tube A Manchette*" TAM), resa solidale al terreno tramite miscela di guaina, per la permeazione di terreni sciolti. Le valvole sono montate in numero da 1 a 3 per metro; l'iniezione avviene valvola per valvola.



Manfredonia, Discarica Conte di Troia (2010)  
Iniezioni di impermeabilizzazione in roccia: installazione canna MPSP e iniezione



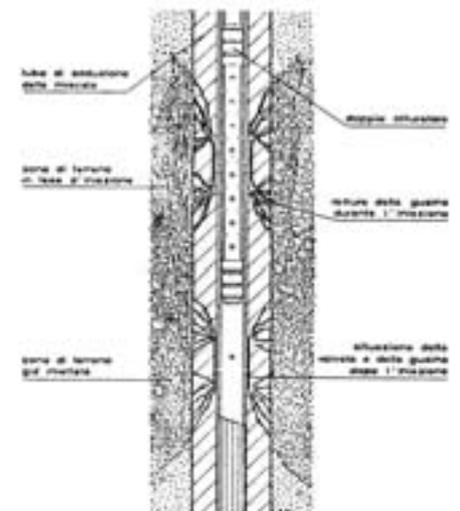
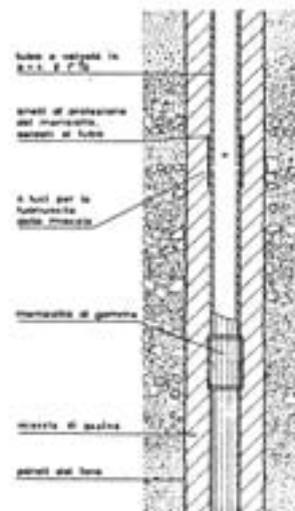
Metropolitana di Roma, Linea C (2010)  
Iniezione del terreno sciolto con canne valvolate (TAM)



Schema di funzionamento dell'iniezione di roccia con sistema MPSP

Prima dell'iniezione

Durante l'iniezione



Schema di funzionamento dell'iniezione di terreni sciolti mediante canna valvolata (TAM)

# Sistemi di Iniezione

## TMG (Trevi Multi Grouting)

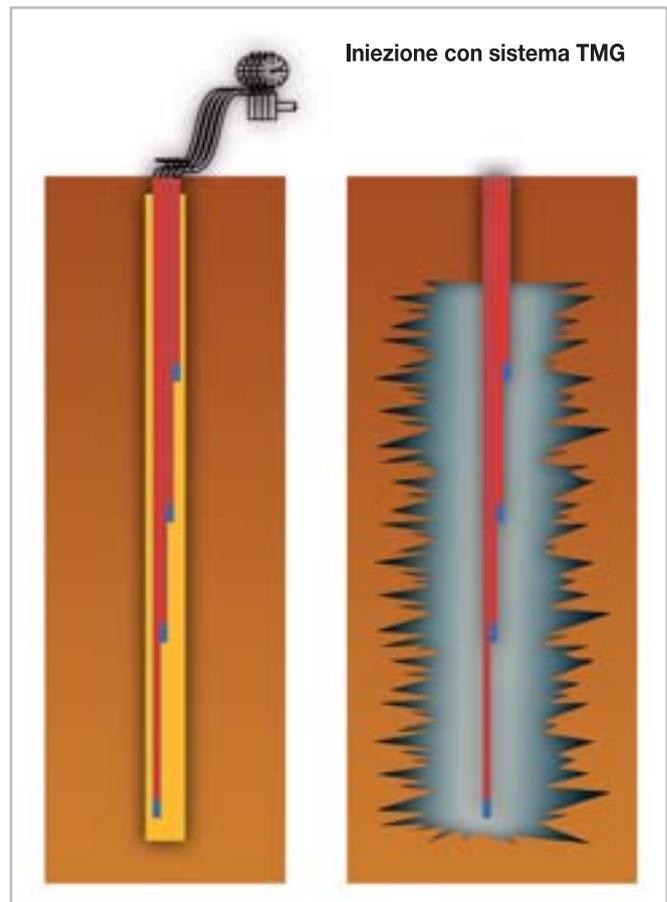
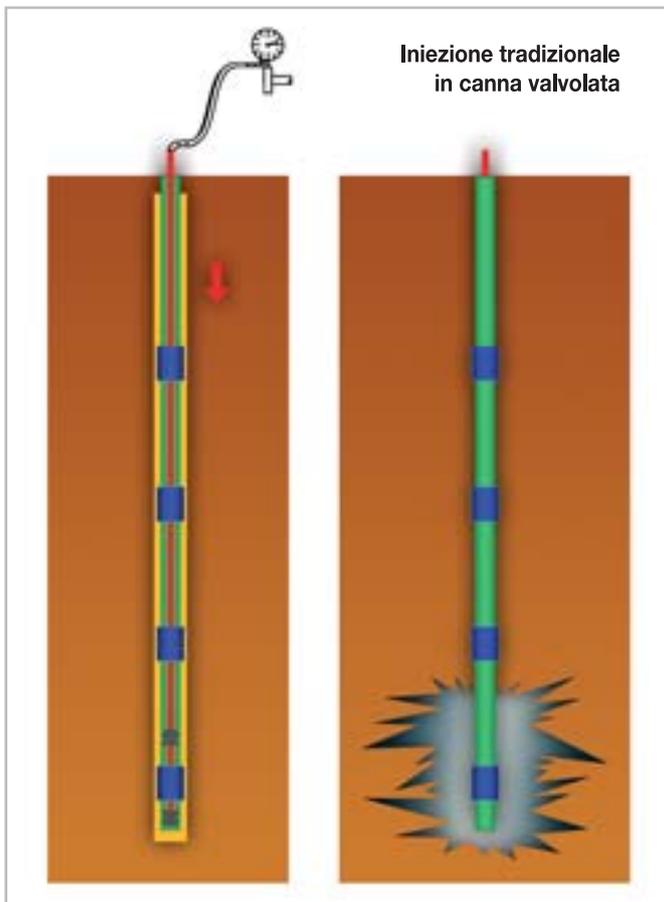
Per l'iniezione in terreni a grana fine, Trevi ha sviluppato il **sistema TMG (Trevi Multi Grouting)**: in ogni foro si mette in opera un fascio di canne monovalvola, di piccolo diametro e diversa lunghezza).

Ogni cannetta viene collegata direttamente ad una linea di mandata della miscela separata ed indipendente, senza richiedere l'introduzione del packer nel foro. In questo modo, si possono iniettare in modo selettivo (*con parametri predeterminati e diversi*) contemporaneamente diversi livelli dello stesso foro. Il vantaggio principale risiede nella possibilità di limitare la portata delle pompe di iniezione e quindi la pressione di iniezione della miscela a valori molto più bassi rispetto ai sistemi MPSP e TAM.

Di conseguenza si evita la idrofratturazione senza penalizzare la produzione complessiva. Il fascio è composto da cannette (*con alta resistenza allo scoppio*) di colore diverso, ciascuna identificata da

numero progressivo correlato alla profondità della valvola. Per iniettare molte cannette contemporaneamente: si usano impianti con decine di pompe a bassa portata, ognuna connessa al computer di controllo e registrazione dei parametri d'iniezione.

In funzione delle caratteristiche del mezzo da trattare (grado di fessurazione/porosità) e dell'intervento richiesto (consolidamento e/o impermeabilizzazione), viene redatto il progetto, che deve definire la distanza tra fori, il tipo di miscela più adeguato, i parametri d'iniezione da adottare. I parametri d'iniezione (volumi, pressioni, portate) vengono controllati e registrati costantemente nel corso di ciascuna fase dell'iniezione. I risultati ottenuti vengono elaborati ed analizzati con lo scopo di verificare l'efficacia del trattamento fino a quel momento eseguito e di consentire la più corretta gestione di tutte le eventuali successive fasi d'iniezione.



Iniezione in canne monovalvola con sistema TMG



# Miscele di iniezione

Per le iniezioni in terreni in roccia o in terreni sciolti a granulometria grossolana, vengono in genere utilizzate **miscele a base cementizia**.

Le miscele cementizie possono essere rese stabili mediante l'impiego di bentonite pre-idratata, e sono rese meno coesive e più fluide mediante aggiunta di speciali formulazioni e di additivi deflocculanti-fluidificanti (**Miscela MISTRA**).

Come ben dimostrato in letteratura, il successo di un intervento di iniezione dipende in primo luogo dalle dimensioni delle particelle solide della miscela iniettata in relazione a quelle dei vuoti o delle fessure di roccia da iniettare.

- Per **l'iniezione di rocce sottilmente fessurate e di terreni granulometricamente più fini**, si raccomanda perciò l'iniezione di cementi fini o microcementi.
- Per **l'iniezione di terreni a grana fine o rocce microfessure** si possono usare miscele a base **Silicatica-Minerale (SILACSOL)**, che consentono di ottenere al contempo buoni risultati sia in termini di consolidamento che di impermeabilizzazione, o di Silicagel "tenero" per la sola impermeabilizzazione.
- Per **terreni ancora più fini**, si può infine prevedere l'impiego di silice colloidale (*nanosilice*). Da tempo Trevi ha messo a punto una miscela a base di nanosilice in soluzione acquosa colloidale senza aggiunta di agenti minerali o sali insolubili (**Miscela ROSIL**). L'iniezione delle miscele Rosil viene realizzata in un'unica fase, regolando il tempo di presa, attraverso il dosaggio del sale inorganico.

Una volta in posto, le miscele Rosil solidificano, generando un prodotto stabile e privo di sineresi.

- All'opposto, per il riempimento di cavità o grandi porosità, possono essere impiegate **Miscela Espendenti**.

Le miscele cementizie espanse sono normali miscele stabili a base cementizia in cui l'introduzione di uno specifico agente provoca lo sviluppo di minuscole bolle che rimangono intrappolate nella miscela provocandone il rigonfiamento.

Il sistema si comporta inizialmente come una miscela tradizionale facilmente pompabile. Successivamente, la miscela espande trasformandosi in una schiuma rigida. Le miscele espanse possono essere utilmente sfruttate in molteplici applicazioni: riempimenti di grandi cavità naturali o artificiali, intasamenti e ricompressione di terreni sconvolti da franamenti, iniezioni di contatto in galleria, ecc.



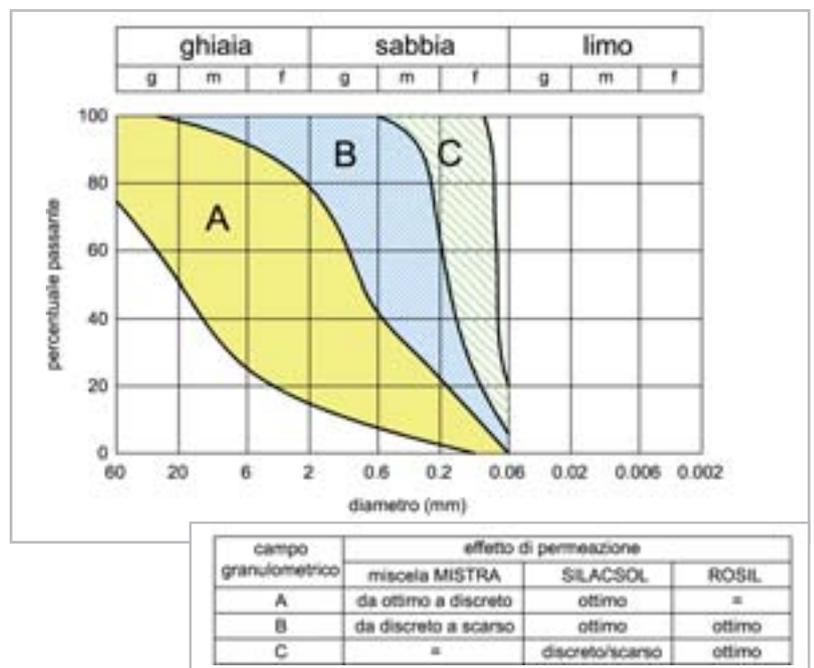
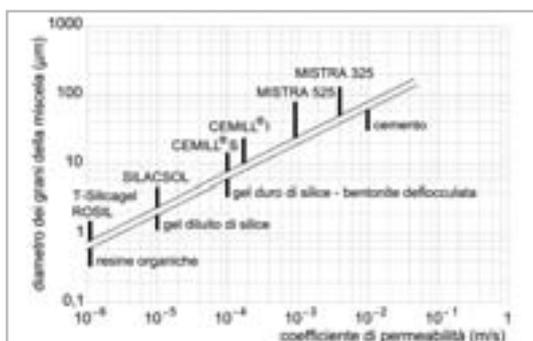
Miscela MISTRA e SILACSOL iniettati nella calcarenite (Discariche di Manfredonia, 2010).



Miscela Cementizia iniettata nei giunti della formazione calcarea (Bari, parcheggio sotterraneo di Piazza Cesare Battisti, 2007).



Miscela SILACSOL iniettata nel tufo (Metropolitana di Napoli, 2007)



# Impianti di iniezione e controllo dei parametri



Impianti di preparazione miscele di iniezione

Le miscele di iniezione vengono confezionate e pompate mediante apposite centrali di miscelazione ed iniezione. Gli impianti di stoccaggio, dosaggio e miscelazione possono comprendere attrezzature diverse per consentire la preparazione dei diversi tipi di miscele cementizie o chimiche.

Gli impianti di iniezione includono agitatori per lo stoccaggio delle miscele pronte da iniettare che alimentano pompe ed iniettori per l'invio delle miscele al foro, che può distare anche alcune centinaia di metri.



Impianto di iniezione SOILMEC SGJ-8



Sistema di tubazioni di invio delle miscele in pressione

Trevi ha progettato, realizzato e sviluppato in proprio un sistema computerizzato per il controllo automatico, l'acquisizione dei dati e la registrazione automatica dei parametri dell'iniezione (*GPC Grouting Parameter Control*). Il sistema è costituito da una serie di sensori installati sugli iniettori (*all'impianto centrale o a bocca foro*) e da un computer con apposito software. Il sistema computerizzato consente l'introduzione di un "Progetto" che definisce per ogni singola valvola/stage di ogni foro i parametri di iniezione che devono essere implementati. Sensori, flussimetri e manometri digitali rilevano in tempo reale i parametri applicati, che vengono trasmessi al sistema centrale, che li acquisisce, li elabora ed esegue il controllo dell'iniezione comandando automaticamente il funzionamento degli iniettori.



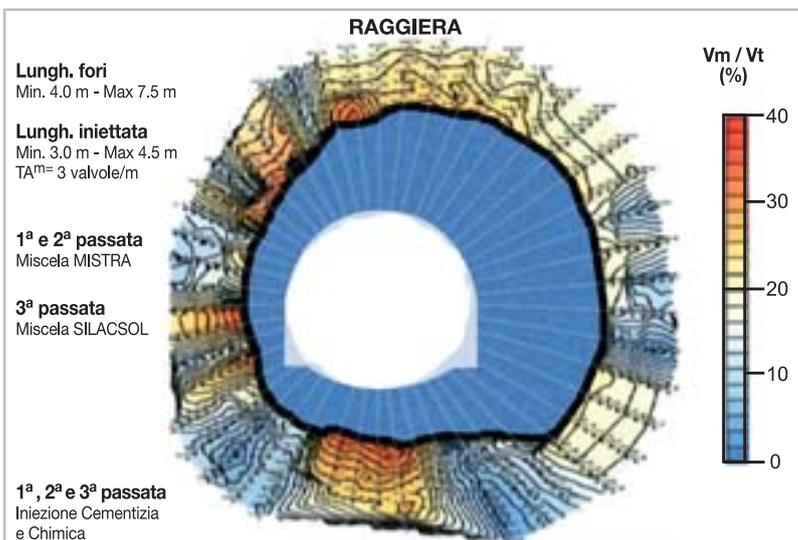
GPC: Input dei dati e controllo dei parametri in corso di esecuzione

Tale attrezzatura è quindi in grado di

- **mantenere i parametri operativi entro i limiti imposti dalle specifiche tecniche**, sulla base dei dati man mano acquisiti;
- **modificare automaticamente tali parametri in funzione della risposta al trattamento**, misurata nel terreno e al contorno;
- **intervenire in tempo reale** per adattare il programma di iniezioni a particolari situazioni locali non previste in progetto.

Il controllo dell'intero processo di iniezione consente di adeguare automaticamente il trattamento di iniezione, in funzione delle caratteristiche geotecniche e dei dati rilevati in corso d'opera, assicurando allo stesso tempo un elevato livello qualitativo del trattamento e una semplificazione nella gestione del processo.

Il sistema consente inoltre la restituzione dei dati in forma tabulata e grafica, per l'analisi e la documentazione del lavoro eseguito.



GPC: Esempio di restituzione grafica dei parametri di iniezione

# Compensation Grouting

La realizzazione di scavi e tunnel sotto basse coperture, induce quasi inevitabilmente cedimenti e quindi danni su manufatti eventualmente presenti in superficie. Per mitigare o azzerare l'effetto di tali cedimenti, viene impiegata **la tecnologia delle iniezioni di compensazione, meglio nota come Compensation Grouting**.

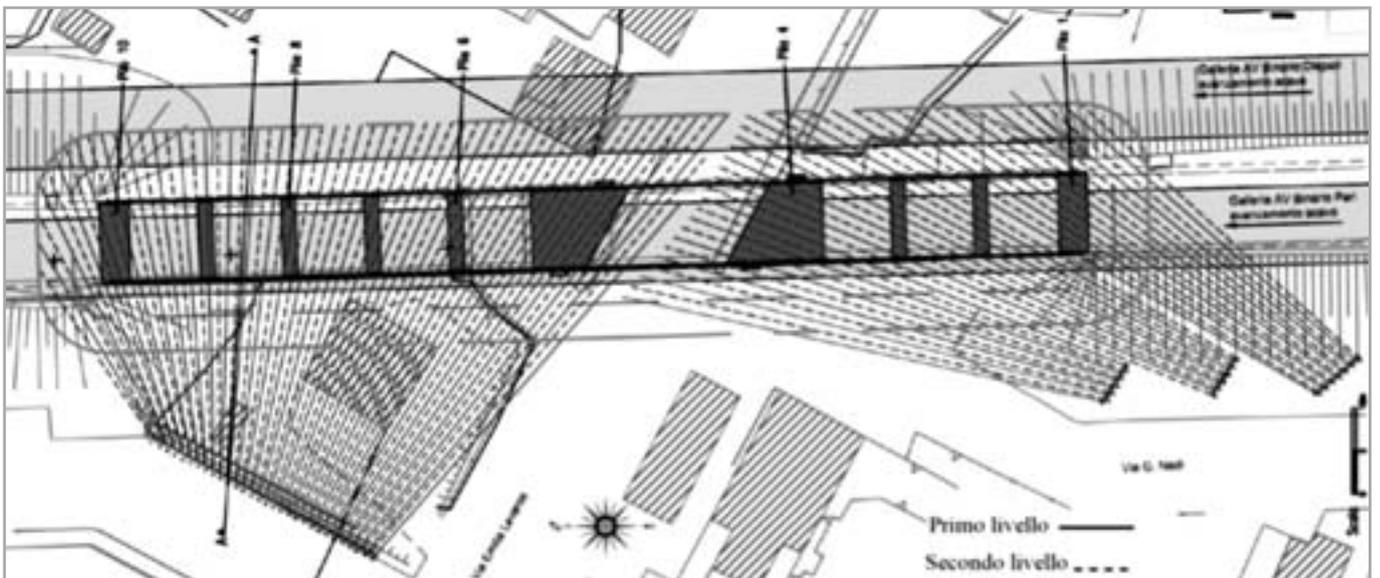
**La Compensation Grouting consiste nell'iniettare miscele tra lo scavo e la struttura a rischio, in modo da compensare, con sollevamenti indotti e controllati, i cedimenti causati dallo scavo stesso.**

A questo scopo si iniettano, con pressioni relativamente elevate, miscele capaci di spostare il terreno attraverso un sistema di fratture localizzate o per compattazione. In pratica si eseguono interventi di iniezione di miscele a bassa mobilità, in maniera selettiva e ripetuta, attraverso canne valvolate sub orizzontali, opportunamente ubicate e tra loro distanziate.

In genere, le perforazioni per la messa in opera delle canne d'iniezione vengono fatte partire da un pozzo, realizzato in prossimità della struttura da sotto-iniettare. In alternativa, si può ricorrere alla perforazione curvilinea, per eseguire perforazioni a partire dalla superficie che devono raggiungere una profondità prestabilita. In entrambi i casi, le perforazioni vengono eseguite con tecnica di perforazione direzionata, in modo da ubicare in modo preciso e corretto le canne di iniezione, anche su lunghe distanze. Il monitoraggio delle deformazioni indotte, ovvero dei cedimenti provocati dallo scavo, e dei sollevamenti indotti dalle iniezioni, viene effettuato attraverso sensori opportunamente installati in prossimità della struttura. I dati raccolti sono trasmessi ad apposita strumentazione computerizzata che gestisce e visualizza i dati in tempo reale, in modo da poter seguire l'evolversi della situazione ed eventualmente correggere o arrestare le iniezioni secondo metodo osservazionale.



*Alta Velocità Milano-Napoli, nodo di Bologna Cantiere San Ruffillo (2005)*



*Nodo di Bologna, cantiere San Ruffillo: Planimetria del viadotto con l'impronta delle gallerie e dei tubi di iniezione*

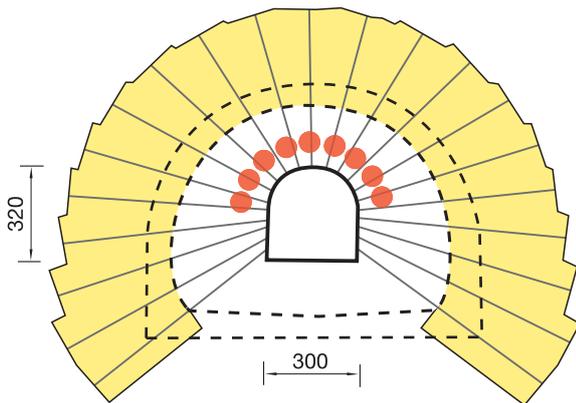
# Esempi applicativi

Le iniezioni possono trovare applicazione per interventi di miglioramento dei terreni e delle rocce di fondazione di nuove opere, ad esempio:

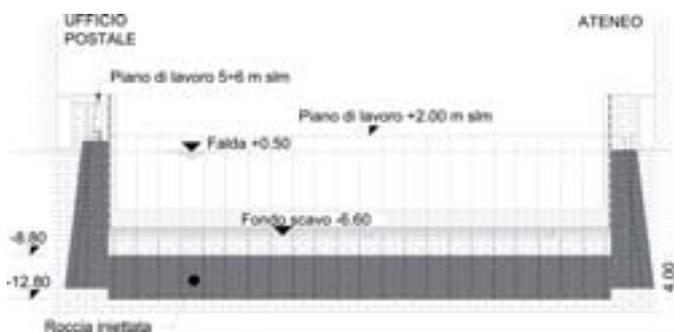
- **Consolidamento e/o di impermeabilizzazione di terreni e rocce prima dello scavo di tunnel o metropolitane**
- **Realizzazione di fondelli impermeabili, per consentire lo scavo sotto falda**

- **Realizzazione di schermi impermeabili sotto nuove dighe**

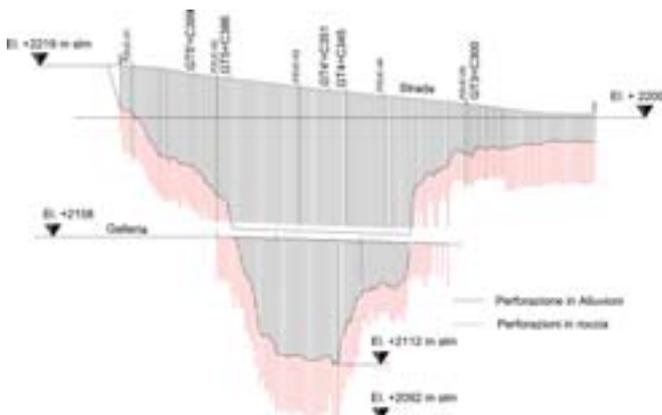
- **Consolidamento del terreno di fondazione di nuove strutture o edifici**



Metropolitana Milano, Linea 3 (1985/88) - Trattamento di impermeabilizzazione e consolidazione del terreno da cunicolo



Nuovo Parcheggio di Piazza Cesare Battisti, Bari (2006/7) - Trattamento di iniezione del calcare di bari per consentire lo scavo sotto falda ed in adiacenza degli edifici storici adiacenti



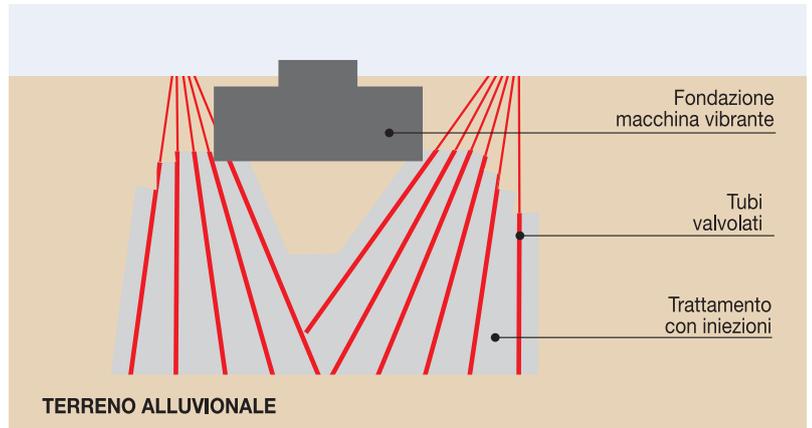
Parbati Hydroelectric Project, Himachal Pradesh, India (2006-2008) - Iniezioni di impermeabilizzazione per la creazione di uno schermo idraulico in corrispondenza del paleovalve

# Esempi applicativi

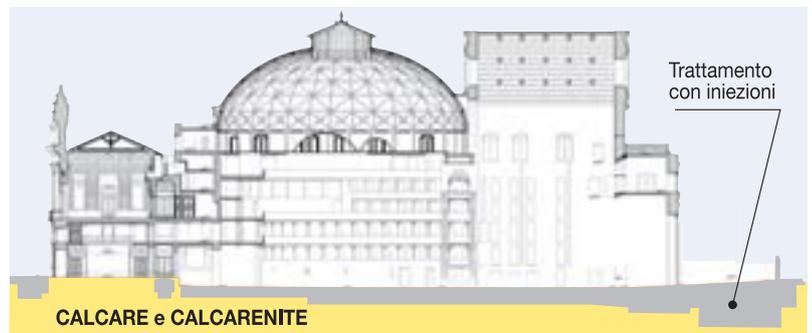
Le iniezioni possono inoltre trovare applicazione per interventi di ripristino, adeguamento o messa in sicurezza di strutture esistenti.

Ad esempio:

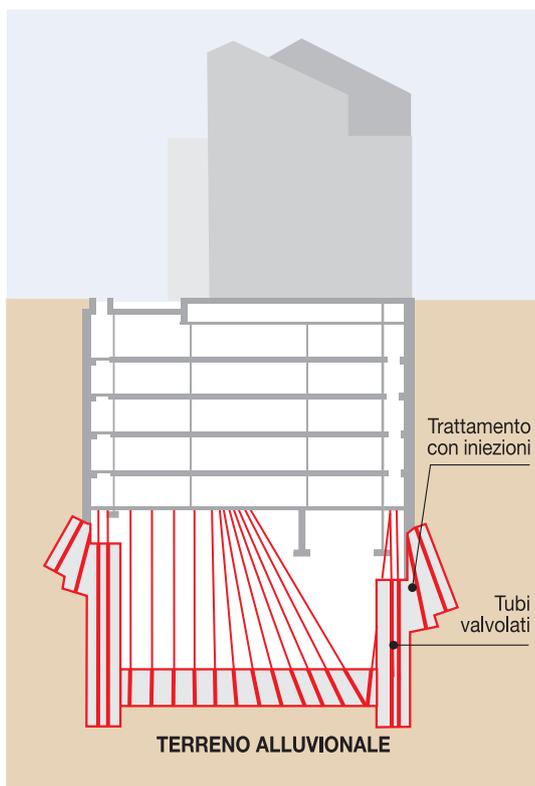
- Ripristino di fondazioni esistenti (1)
- Adeguamento funzionale di strutture (2)
- Recupero di ambienti interrati sotto falda (3)
- Interventi su dighe esistenti, con realizzazione o integrazione di schermi impermeabili (4) o di sigillatura di fessure del corpo diga (5)
- Ripristino e adeguamento di gallerie (6)
- Realizzazione di barriere a bassa permeabilità sotto aree inquinate (7)



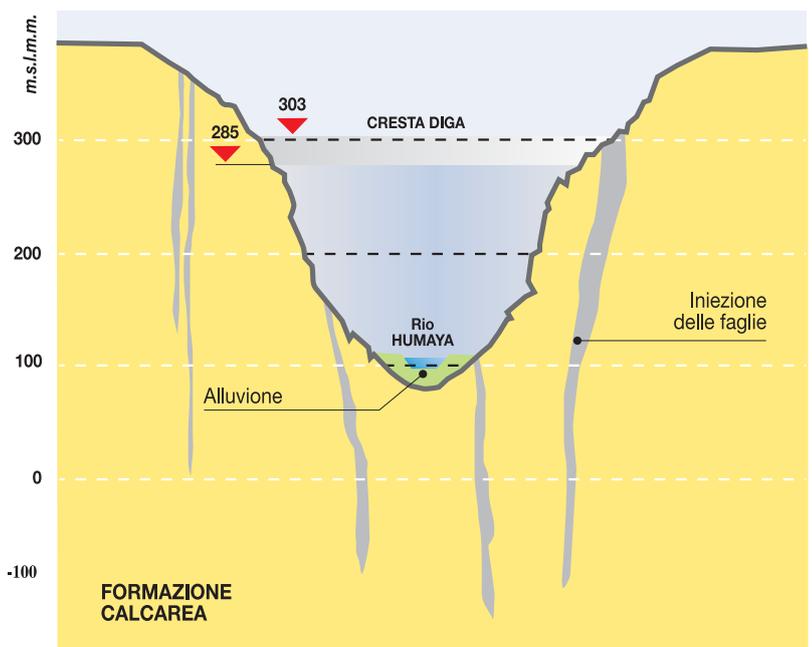
1 - Villesse (1992): iniezioni di consolidamento del terreno di fondazione di una macchina vibrante mediante iniezioni di permeazione con sabbie sciolte e ghiaie



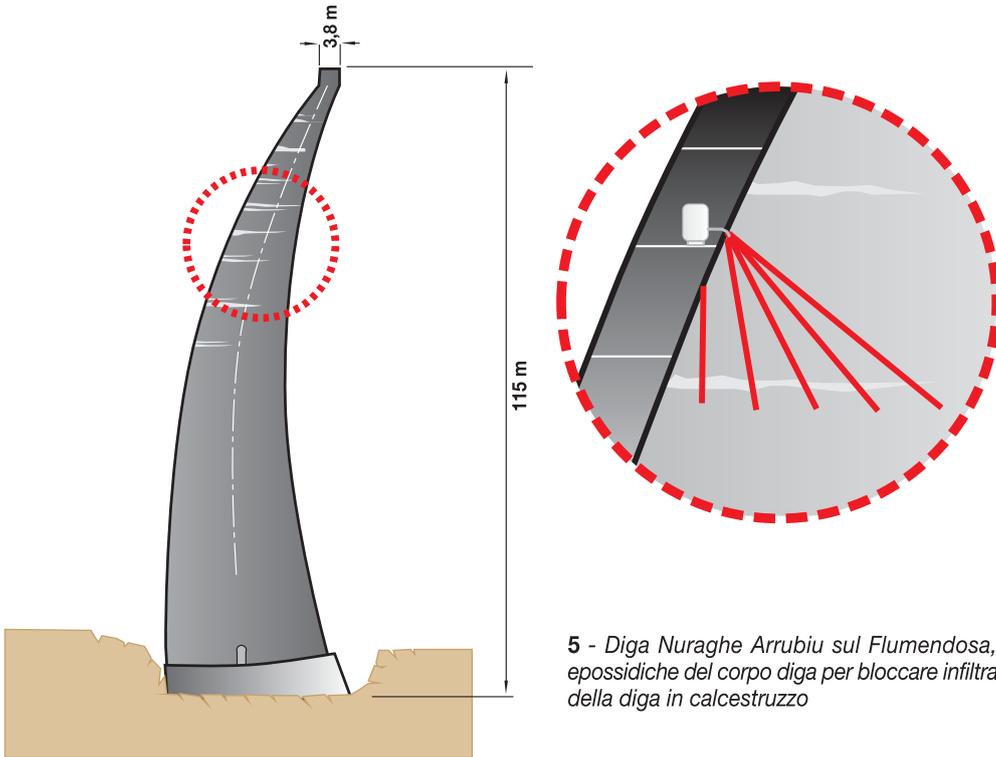
2 - Teatro Petruzzelli, Bari (2004): lavori di restauro strutturale ed architettonico - Scavi sotto falda con iniezioni di consolidamento e impermeabilizzazione



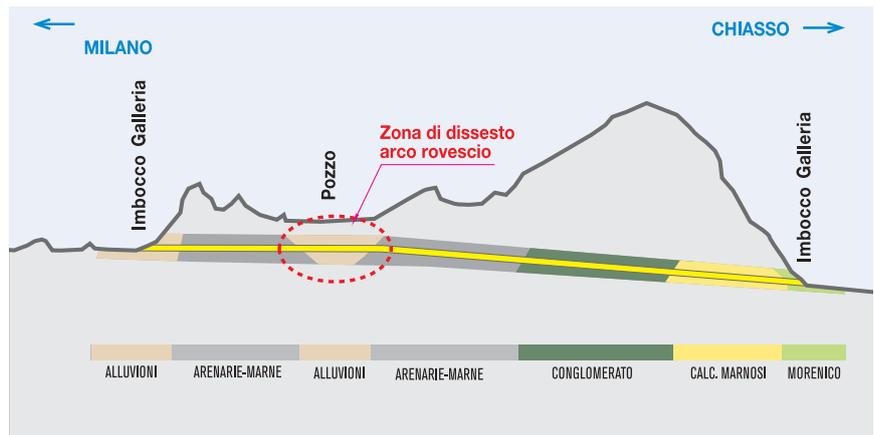
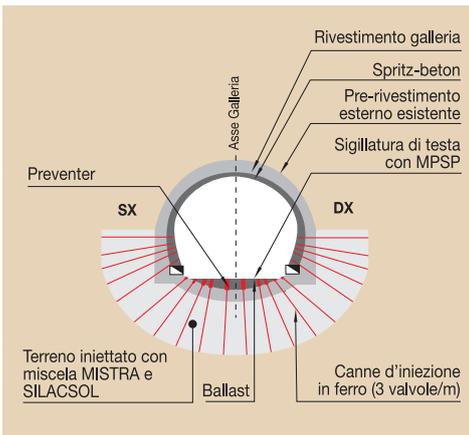
3 - Edificio in Via Borgospesso, Milano (1994): lavori di recupero del sesto piano interrato allagato a causa dell'innalzamento del livello della falda



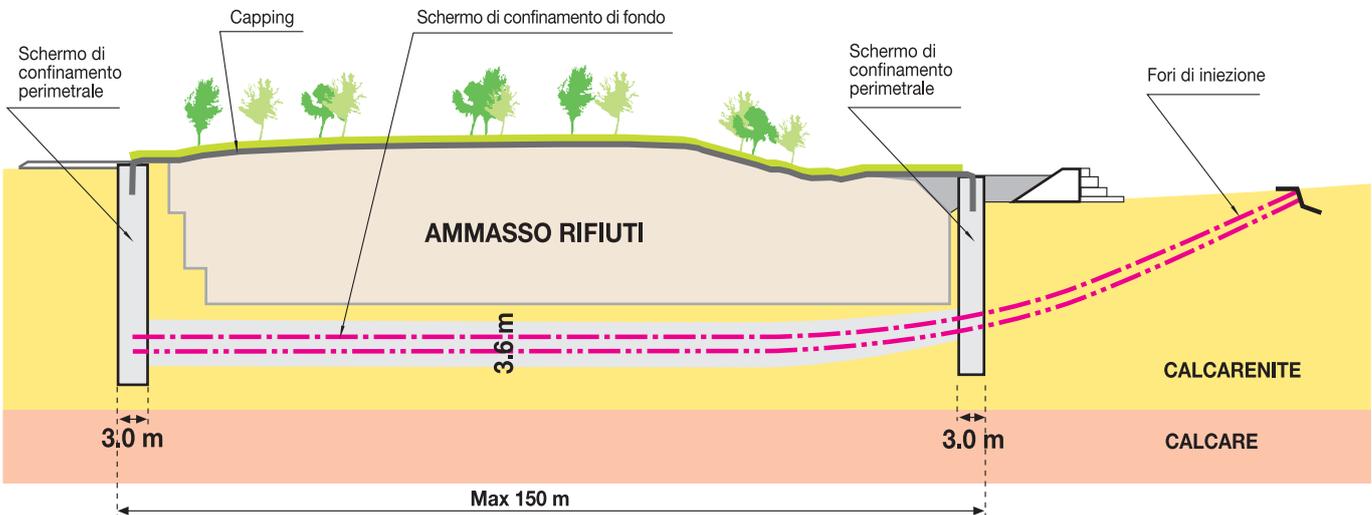
4 - Diga "Francisco Morazan", El Cajon- Honduras (1992-1996): integrazione e ripristino dello schermo di iniezione esistente. La diga ad arco, in calcestruzzo alta 226 m, appoggia su un calcare affetto da fenomeni di carsismo e attraversato da 4 serie di faglie. Dopo l' invaso i materiali argillosi presenti all'interno delle 4 faglie erano stati localmente erosi, aumentando e l'entità della filtrazione d'acqua. Il trattamento di iniezione, eseguito dai cunicoli ad invaso pieno (battente idraulico fino a 180 m, fori fino a 250 m di profondità, con preventer) ha ridotto la portata complessiva di filtrazione da circa 1600 l/s a 88 l/s.



5 - Diga Nuraghe Arrubiu sul Flumendosa, Sardegna (1994) - Iniezioni di resine epossidiche del corpo diga per bloccare infiltrazioni d'acqua e ripristinare il monolitismo della diga in calcestruzzo



6 - Linea Ferroviaria Milano-Chiasso - Galleria Monteolimpino 2 (2003-2004): Lavori di ripristino di una tratta sotto falda, a seguito del cedimento dell'arco rovescio (provocato da infiltrazioni d'acqua accompagnate da trasporto di solidi in galleria per innalzamento del livello freatico).



7 - Messa in sicurezza delle discariche di Pariti 1-RSU e Conte di Troia, Manfredonia - Foggia (2010) Trattamenti di iniezione per l'impermeabilizzazione della roccia fessurata (calcarenrite) ospitante le preesistenti discariche (i rifiuti erano stati collocati entro ex cave di calcarenite, senza preliminarmente impermeabilizzazione di pareti e fondo).



Protagonista mondiale nel settore dell'ingegneria nel sottosuolo, Trevi ha consolidato, in oltre 50 anni di attività in ogni angolo del mondo, la propria capacità di risolvere qualsiasi problema d'ingegneria nel sottosuolo.

Trevi opera nel settore della fondazioni speciali, nel consolidamento di terreni, nel ripristino delle dighe, nella costruzione e consolidamento delle gallerie, nei lavori marittimi, nella messa in sicurezza dei siti inquinati, nella costruzione di parcheggi interrati e automatizzati.

Trevi è votata all'innovazione continua e alla costante ricerca di soluzioni per le complesse problematiche che l'ingegneria civile deve affrontare in tutto il mondo. Sperimentazione della tecnologia più avanzata, tradizione imprenditoriale e volontà di investire in ricerca e nelle risorse umane sono i punti di forza di una realtà radicata in oltre 30 paesi.



[www.trevispa.com](http://www.trevispa.com)