

◀ STRADE & AUTOSTRADE ▶

COSTRUZIONE E MANUTENZIONE DI STRADE, AUTOSTRADE, PONTI, GALLERIE
Studi e Progetti • Grandi infrastrutture • Cantieri • Impianti • Ambiente • Macchine • Tecnologie • Materiali

FOCUS ON **CANTIERI & SICUREZZA**



MACCHINE



BAUER Macchine Italia S.r.l.

Strada Statale 610 Selice, 10/c, 40027 Mordano (BO), Tel. +39 0542 1895011 - www.bauer-italia.it



INFRASTRUTTURE

La terza corsia sulla A4
Il viadotto sulla S.S. 35
per la riqualificazione
della S.P. 46 Rho-Monza

Passi avanti per
il metrò partenopeo

MACCHINE

Vibrofinitrici cingolate per
pavimentazioni di precisione

Revisione della EN 474 per
le macchine movimento terra

Cresce il mercato italiano
delle costruzioni

SICUREZZA

I sistemi di ritenuta
stradale

Una buona segnaletica
per la sicurezza

La rete europea dei trasporti
in evoluzione continua

INTERVISTE

Mohamed Mezghani:
l'uomo che...
difende il trasporto pubblico



PARATIE DRENANTI PER LA STABILIZZAZIONE DEI VERSANTI

**UN SISTEMA DI DRENAGGIO PROFONDO PER LA STABILIZZAZIONE DI UN VERSANTE INSTABILE SULLA A2
 "AUTOSTRADA DEL MEDITERRANEO"**

La stabilizzazione di un versante instabile in un ammasso coesivo saturo può essere raggiunta grazie alla realizzazione di un intervento di drenaggio, con l'obiettivo di generare una riduzione delle pressioni interstiziali lungo la superficie di scorrimento, con conseguenziale incremento della resistenza al taglio disponibile. Questa soluzione progettuale è la più efficace quando le condizioni di instabilità sono provocate da elevati valori delle pressioni interstiziali. Ciò si verifica in particolar modo per i meccanismi di instabilità superficiali, i quali risentono in maniera determinante delle variazioni stagionali

delle pressioni interstiziali in funzione dell'andamento delle precipitazioni atmosferiche.

In questi casi, il grado di sicurezza varia nel tempo e i movimenti si riattivano, in genere, durante le stagioni autunnali, quando le pressioni interstiziali raggiungono i livelli massimi. Il sistema di drenaggio riduce le pressioni interstiziali e l'ampiezza delle oscillazioni stagionali, limitando i valori massimi che possono essere raggiunti.

Tra gli interventi di drenaggio più efficaci vi sono sicuramente le trincee drenanti. Esse sono, in genere, utilizzate per stabilizzare

frane superficiali di carattere traslativo, molto diffuse in pendii poco acclivi in terreni coesivi. Anche frane di grandi dimensioni possono comunque essere affrontate efficacemente tramite interventi di drenaggio.

In questo articolo viene presentato l'impiego di un sistema di drenaggio profondo particolare impiegato per la stabilizzazione di un versante instabile sulla A2 "Autostrada del Mediterraneo". Tale sistema di drenaggio è costituito da una serie di paratie drenanti realizzati con calcestruzzo alveolare.



1. La sistemazione dell'area a seguito degli interventi profondi e superficiali



2. Un palo in calcestruzzo alveolare



3. La realizzazione della prima fila di pali secanti in calcestruzzo alveolare

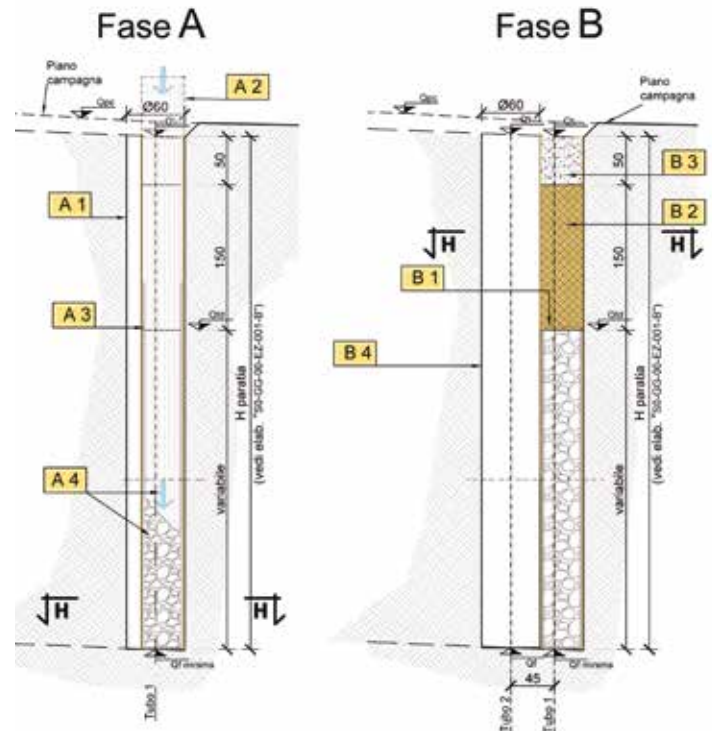
LA METODOLOGIA PROPOSTA

Il dimensionamento del sistema in grado di incrementare la resistenza a taglio nella zona di scorrimento deve portare alla definizione del posizionamento, della distanza e della profondità delle trincee. Esso dovrà partire dall'identificazione del meccanismo di collasso, della posizione della superficie di scorrimento e del regime delle pressioni interstiziali esistente nel pendio. Nel dimensionamento dell'intervento si dovrà considerare che l'efficacia dello stesso non è necessariamente associata alla diminuzione del livello di falda, né a processi di desaturazione dell'ammasso instabile. L'aumento del grado di sicurezza viene raggiunto quando le nuove condizioni di flusso sono in grado di dare origine a una diminuzione delle pressioni interstiziali. L'efficacia dell'intervento non è quindi legata alla quantità di acqua allontanata, ma alla variazione del regime delle pressioni interstiziali che il sistema è in grado di generare.

Le trincee drenanti hanno, in genere, una sezione trasversale rettangolare, di larghezza 0,5÷1 m e profondità massime di 5÷6 m se scavate con escavatore. Per la realizzazione di trincee più profonde si impiegano le tecniche utilizzate per le paratie di pali secanti o di pannelli rettangolari.

Generalmente le trincee profonde sono realizzate secondo le seguenti fasi (Figure 4 e 5):

- fase A1: esecuzione dello scavo circolare, con le attrezzature utilizzate per i pali trivellati;
- fase A2: inserimento nel foro di un "tubo gobbo";
- fase A3: posizionamento nel tubo di una calza in geotessile TNT e dell'armatura minima di sostegno;

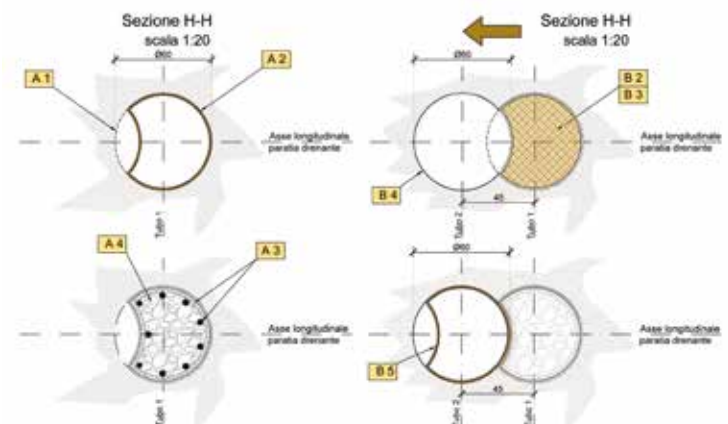


4. Le sezioni longitudinali delle fasi costruttive delle paratie drenanti tradizionali

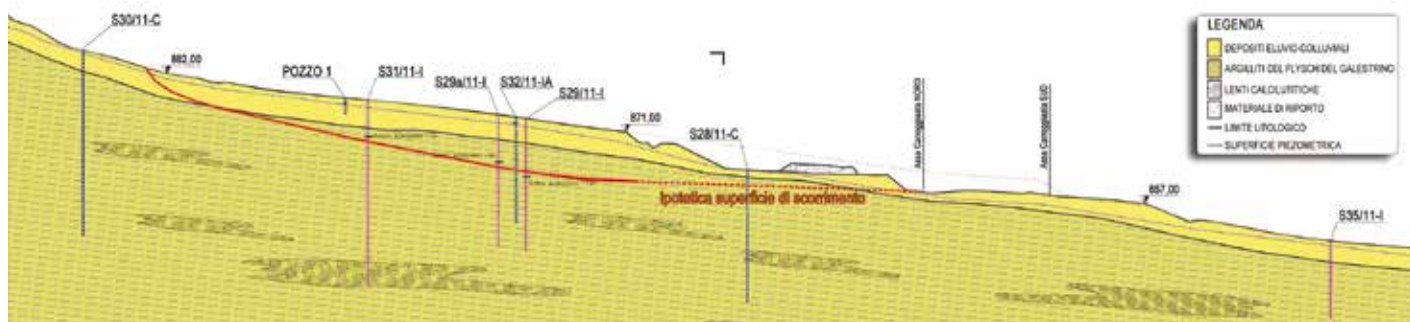
- fase A4: riempimento della calza con materiale drenante fino a quota testa drenaggio;
- fase B1: piegatura dei lembi del telo di geotessile per la chiusura della calza;
- fase B2: realizzazione di un tappo con argilla;
- fase B3: ritombamento con terreno vegetale;
- fase B4: esecuzione dello scavo per l'alloggiamento del secondo "tubo gobbo";
- fase B5: inserimento del secondo "tubo gobbo".

Dopo aver eseguito tutte le operazioni così come previsto nella fase A viene eseguito il terzo foro e viene inserito al suo interno il "tubo gobbo" sfilato dal primo foro.

L'aspetto più critico è sicuramente l'inserimento e la successiva estrazione del "tubo gobbo". Questa fase comporta notevoli



5. La sezione trasversale (H-H) delle fasi costruttive delle paratie drenanti tradizionali



6. La sezione di back analysis con individuazione della più probabile superficie di scorrimento

li rallentamenti nell'esecuzione dei pali drenanti ed il rischio di discontinuità nel sistema drenante per possibili franamenti localizzati del foro, aspetto che frequentemente scoraggia l'impiego di tale sistema di drenaggio.

Per superare tale "criticità", gli Scriventi hanno messo a punto un sistema particolare di trincee che prevede l'utilizzo di calcestruzzo alveolare per il riempimento dei pali. Il mix design del calcestruzzo alveolare è opportunamente dimensionato per ottenere le prestazioni progettuali richieste in termini di permeabilità e resistenza. Tale sistema consente di realizzare le trincee a profondità elevate con tempistiche e qualità significativamente migliori rispetto a quelle del sistema con "tubo gobbo" sopra descritto.

L'APPLICAZIONE DEL SISTEMA AD UN CASO REALE

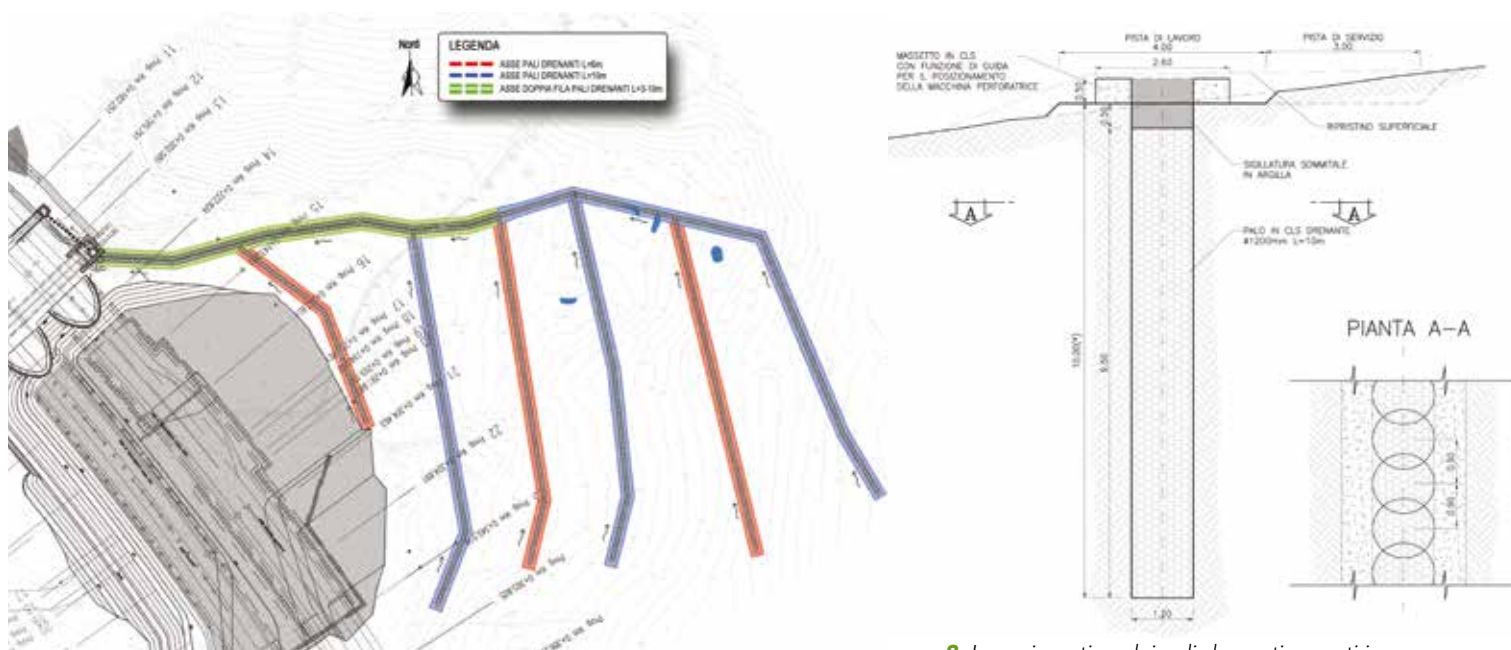
Di seguito vengono illustrati gli interventi di stabilizzazione realizzati in un'area instabile in prossimità dell'imbocco Nord della galleria Serra Rotonda (PZ), nell'ambito dei lavori di ammodernamento della A2 Autostrada del Mediterraneo. Gli interventi consistono in un sistema di drenaggio profondo del corpo di frana realizzato con la metodologia sopra citata.

Il quadro geologico e geomeccanico

L'area instabile è caratterizzata dalla formazione del Flysch dei Galestri, appartenente all'Unità tettonica Lagonegro II, costituita da alternanze di argilliti silicee fogliettate con colorazioni variabili dal grigio verdastro al grigio scuro, marne, marne calcaree, calcescisti grigi e giallastri localmente silicizzati e calcilutiti grigie, localmente brecciate.

Nelle porzioni più superficiali il substrato è incorso in fenomeni intensi di alterazione e rammollimento, causati dall'alternanza di cicli di imbibizione ed essiccamento e dall'attacco degli agenti atmosferici. L'analisi conoscitiva dei fenomeni di instabilità ha evidenziato la presenza di una falda freatica, ancorché localmente discontinua, all'interno dei materiali a bassa permeabilità del Flysch dei Galestri e delle lenti calcaree ad essi intercalate, caratterizzate da permeabilità relativamente maggiore. Il livello di falda è caratterizzato da una soggiacenza compresa nell'intervallo 0,5÷3 m da p.c. (si sono riscontrate aree con livello di falda affiorante a piano campagna).

Le back analysis svolte a partire dai risultati del monitoraggio e delle indagini disponibili hanno permesso di ipotizzare la superficie di scorrimento delle massa instabile (Figura 6).



7. Lo schema planimetrico della rete drenante profonda

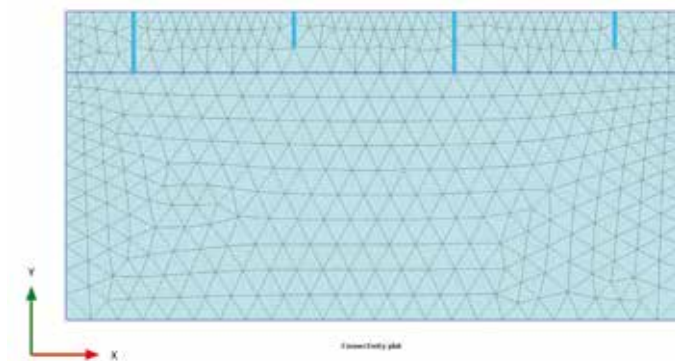
8. La sezione tipo dei pali drenanti secanti in calcestruzzo alveolare

La descrizione degli interventi

Al fine di incrementare la resistenza a taglio lungo la superficie di scivolamento si è prevista la realizzazione di un intervento di drenaggio profondo e di una regimazione delle acque di superficie mediante l'esecuzione di un sistema combinato di file di pali secanti drenanti e canali di scolo superficiali (Figure 7 e 8). I pali hanno diametro di 1,20 m e lunghezza $6 \div 10$ m. L'interasse fra le file dei pali drenanti è mediamente pari a circa 26 m. Nel tratto finale della rete drenante che termina nel tombino di raccolta si è previsto un raddoppio del numero di pali drenanti (Figura 7).

Il dimensionamento degli interventi

Il dimensionamento del sistema di drenaggio profondo è stato condotto mediante una analisi FEM con il codice di calcolo Plaxis 2D® nell'ipotesi di stato di filtrazione piano, certamente realistica per l'opera considerando il suo sviluppo in direzione longitudinale rispetto alle dimensioni della sezione trasversale analizzata. La Figura 9 riporta la geometria della mesh di calcolo. Il dominio discretizzato ha una larghezza di 100 m e una profondità di 50 m (piano campagna a quota 50 m del modello).



9. Il modello di calcolo agli elementi finiti: in azzurro sono riportate quattro trincee drenanti

Le fasi di calcolo considerate sono le seguenti:

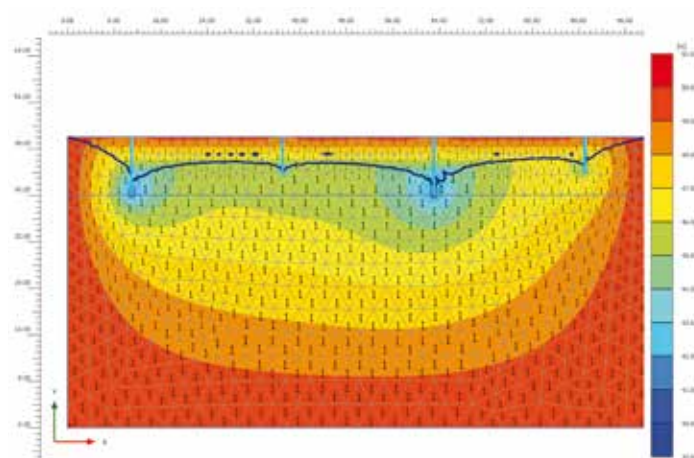
- fase 0, inizializzazione: in questa fase le pressioni neutre del modello vengono inizializzate con riferimento alla quota di falda posta a livello del piano campagna;
- fase 1 e successive, drenaggio: vengono attivati gli elementi "dreno" che simulano la presenza delle file di pali drenanti e viene effettuata un'analisi di filtrazione in regime transitorio con riferimento a tempi di filtrazione pari a 1, 2, 4, 6, 12 mesi.

Nello sviluppo della progettazione del sistema sono state svolte numerose analisi di sensibilità, facendo variare le caratteristiche di permeabilità dell'ammasso, la profondità e l'interasse delle trincee, la soggiacenza della falda. In tal modo, è stato possibile individuare la soluzione ottimale dal punto di vista tecnico economico. In particolare, il valore del coefficiente di permeabilità "k", in direzione sia verticale sia orizzontale, è stato definito con riferimento ai risultati di alcune prove di pompaggio effettuate in sito. Le analisi numeriche sono state condotte in forma parametrica, considerando un valore del coefficiente di permeabilità variabile nell'intorno dei valori individuati nelle prove (1×10^{-7} m/s e 5×10^{-8} m/s).

L'analisi ha permesso di determinare:

- andamento della quota di falda;
- portate drenate dai pali drenanti.

Le analisi evidenziano un abbassamento minimo di circa 4,5 m; pertanto, l'abbassamento medio (dimensionante per la stabilità) risulta maggiore (Figura 10). Come prevedibile, a valori inferiori del coefficiente di permeabilità corrispondono tempi di entrata a regime del sistema più lunghi.



10. L'andamento delle portate drenate dalle trincee in funzione del coefficiente di permeabilità $k = 1 \times 10^{-7}$ m/s a sei mesi dall'intervento

Relativamente al valore delle portate drenate, in funzione del coefficiente di permeabilità considerato si hanno valori variabili tra 10 e 20 l/giorno/m di fila di pali drenanti; tale valore risulta congruente con la capacità di smaltimento.

La fase costruttiva

L'area instabile è caratterizzata da un'inclinazione media di circa 8° . È compresa tra le quote di 893 e 858 m s.l.m.. Il corpo di frana ha un'estensione di circa 35.000 m², una larghezza di circa 130 m e ha interessato l'intero versante per una lunghezza di circa 260 m. L'insieme delle prime osservazioni ha permesso di riconoscere che il versante è caratterizzato da scarsi margini di sicurezza, essendo in condizione di frana attiva e in fase di espansione (Figura 11).

Gli interventi messi in atto per stabilizzare il corpo di frana consistono in un sistema di drenaggio profondo realizzato con una rete di file di pali drenanti del diametro di 1.200 mm e lunghezza variabile $6 \div 10$ m, per uno sviluppo di circa 760 m e una



11. Le lesioni affioranti sul fianco destro della zona di distacco



12. Vista della doppia fila di pali drenanti con calcestruzzo alveolare in corrispondenza del salto di quota altimetrico



13. La realizzazione del palo drenante secante (fase B)



14. L'allontanamento delle acque drenate nel tratto terminale della paratia drenante prima dell'esecuzione del pozzetto di fondo

doppia fila di pali con lunghezza variabile 3÷10 m per uno sviluppo di circa 150m. Complessivamente si sono realizzati circa 7.850 m di perforazioni di diametro 1.200 mm, utilizzando come materiale di riempimento circa 8.850 m³ di calcestruzzo alveolare drenante (Figura 12).

Particolare attenzione è stata posta sullo studio del mix design del calcestruzzo alveolare e, nello specifico, sulla definizione del fuso granulometrico e della quantità di cemento utile a garantire il criterio di permeabilità di ritenzione e di autostabilità della miscela (Figura 13).

Nella fase di qualificazione della miscela ciascun provino è stato sottoposto a prove di permeabilità (UNI EN 12390-8) e di rottura a compressione (UNI EN 12390-3). I risultati di tali prove sono stati in linea con le attese di progetto sia per quanto riguarda la permeabilità (valore superiore a 10⁻³ m/s) sia per la resistenza a compressione minima (resistenza maggiore uguale alle sollecitazioni relative al peso proprio dei pali drenanti).

I lavori per la realizzazione dei pali e la sistemazione superficiale sono iniziati nel Febbraio 2012 e terminati nell'Agosto dello stesso anno.

Efficacia e monitoraggio

Nel corso dei lavori l'efficacia dell'intervento è stata osservata direttamente, a livello macroscopico, in termini di effetto drenante dell'ammasso interessato dall'intervento stesso. L'intervento ha prodotto un evidente rallentamento delle deformazioni in atto subito dopo il suo completamento. Nella Figura 14 è visibile l'acqua drenata all'estremità di valle delle trincee. L'efficacia del sistema di drenaggio è stata, inoltre, confermata dall'analisi dei dati forniti dal sistema di monitoraggio, consistente nell'esecuzione di misure piezometriche ed inclinometriche, raccolti successivamente all'esecuzione dell'opera e dal confronto degli stessi con quelli raccolti nei mesi precedenti l'intervento (ante operam).

In particolare, se confrontata con quanto dedotto dalle osservazioni effettuate prima della realizzazione dell'intervento

in pali drenanti, l'entità dei fenomeni deformativi osservati è risultata abbattuta fin dal periodo immediatamente successivo la realizzazione dell'intervento stesso, passando da deformazioni con velocità anche dell'ordine di centimetri/giorno a deformazioni con velocità deformativa dell'ordine di millimetri/mese, per poi giungere a completa stabilizzazione nei mesi successivi.

Anche i riscontri piezometrici hanno fornito indicazioni positive, evidenziando un decremento massimo della quota piezometrica di circa 1,5 m già nei primi 30 giorni dopo l'installazione dello strumento. ■

⁽¹⁾ *Ingegnere, Direttore Tecnico di Soil Srl*

⁽²⁾ *Geologo, APRL CT Calabria, A2 Autostrada del Mediterraneo, di ANAS SpA*

⁽³⁾ *Ingegnere, Direttore Tecnico di Eco Design Srl, già R.U.T. di G.L.F. SpA*

DATI TECNICI

Stazione Appaltante: ANAS SpA

Contraente Generale: Grandi Lavori Fincosit SpA

Project Manager: Ing. Vincenzo Costantino di G.L.F. SpA

Direttore di Cantiere: Ing. Pasquale Esposito di G.L.F. SpA

Progetto preliminare: ANAS SpA

Progetto definitivo: ANAS SpA

Progetto esecutivo: Studio associato Matildi+Partners e ATI composta da Scott Wilson, 3TI Progetti Italia SpA, Lombardi e Cilento Ingegneria Srl

Progetto esecutivo di dettaglio opere geotecniche: Soil Srl

Collaudatori: Arch. Mauro Coletta, Ing. Dino Vurro e Dott. Mauro Frattini

RdP: Ing. Francesco Ruocco di ANAS SpA

Direttore dei Lavori: Ing. Mario Beomonte della Cilento Ingegneria Srl