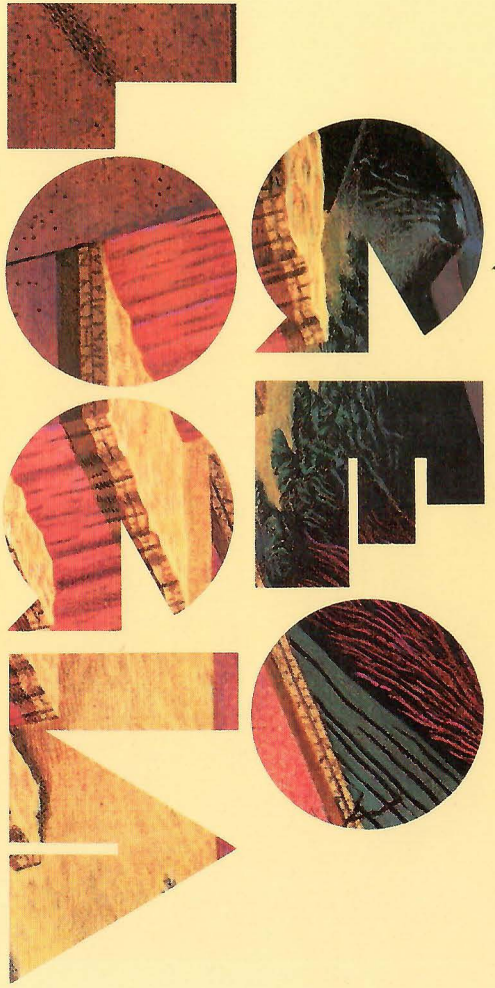


Spedizione in abbonamento postale 50% Roma
In caso di mancato recapito rinviare a Ufficio Poste Roma
Romanina per la restituzione al mittente previo addebito

TRIMESTRALE DELL' ORDINE NAZIONALE DEI GEOLOGI

Numero 1 - Gennaio/Marzo 1995



L'INNOVAZIONE

tecnica & ambientale



I/95

L'inserimento ambientale di una discarica: indagini geologiche e geotecniche per la valutazione delle condizioni di stabilità e dei possibili interventi di sistemazione

Premessa

L'attuale tendenza ad una sempre più massiccia produzione di rifiuti solidi urbani e di materiali di risulta, talora particolarmente inquinanti, ha reso pressante il problema del corretto dimensionamento ed isolamento di idonee discariche ben inserite nei diversi contesti ambientali [Stegmann, 1989a].

Per le discariche che insistono sui pendii ["*slope landfills*" in Cancelli & Cazzuffi, 1994] e che talora trasferiscono un sovraccarico elevato al versante, alcuni aspetti di notevole rilevanza riguardano in particolare la stabilità dell'insieme materiali di risulta-pendio naturale e la scelta delle pendenze più idonee da assegnare alle scarpate artificiali.

Lo spunto per un approfondimento di queste specifiche tematiche è stato suggerito dalla necessità di dover individuare le più opportune soluzioni, atte a stabilizzare una discarica di alcune decine di migliaia di metri cubi, ricadente su di un pendio terrazzato ed in prossimità di un alveo torrentizio.

Un aspetto non secondario che si è dovuto infine affrontare è stato quello della parametrizzazione geotecnica dei materiali di risulta che, per la loro stessa natura, eterogeneità e per le modalità di messa in posto, non sempre sono caratterizzabili con le usuali prove di laboratorio.

Geologia dell'area

La zona interessata (Fig. 1) ricade nel settore settentrionale del territorio comunale di Salerno, tra il corso del fiume Irno ad ovest, quello del torrente Grancano a sud, la frazione Ogliara ad est ed il rilievo montuoso di Monte Stella a nord.

In tale area (Fig. 2) i terreni del substrato affioranti, appartengono al Complesso carbonatico del Trias rappresentato da dolomie e da calcari, calcari marnosi con subordinate argilliti ed ancora all'*Unità di Villamaina* del Miocene superiore, qui presente con i suoi termini argillo-marnosi [Bonardi *et alii*, 1988; Budetta & Calcaterra, 1992].

I terreni di copertura sono rappresentati invece da prodotti piroclastici sciolti e litoidi ("*tufo grigio campano*"), da alluvioni recenti e da terreni detritico-piroclastici per lo più sciolti o debolmente cementati. Quest'ultimi, arealmente molto estesi, sono riconducibili a conoidi antichi impostatisi allo sbocco vallivo

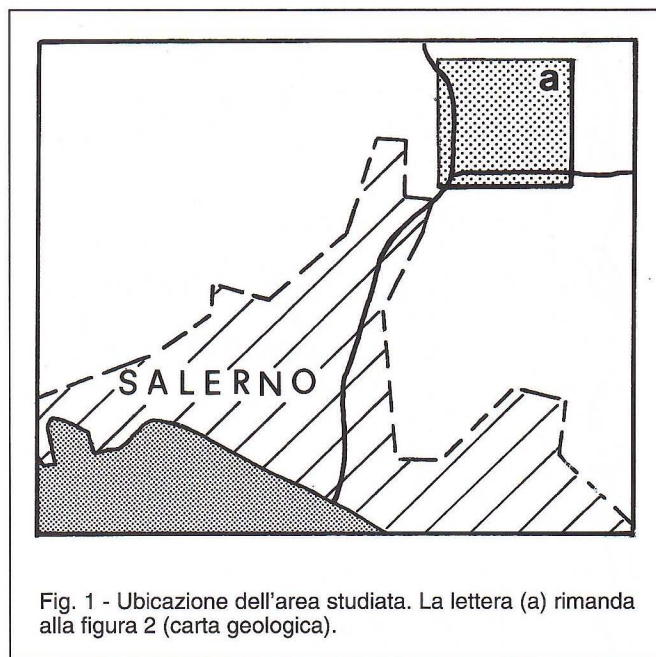


Fig. 1 - Ubicazione dell'area studiata. La lettera (a) rimanda alla figura 2 (carta geologica).

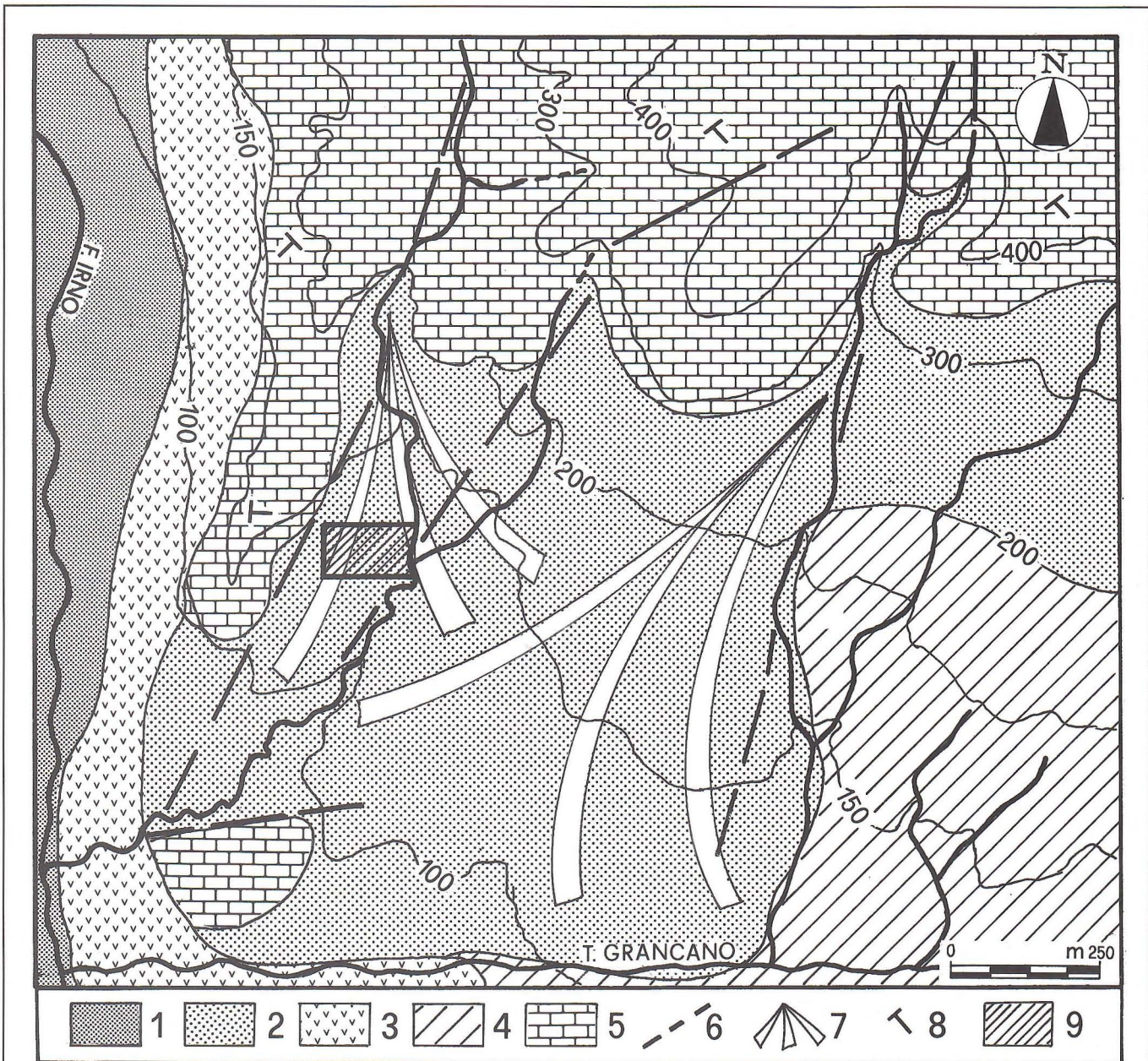
di profonde incisioni esistenti sul versante meridionale di M. Stella (conoide del torrente S. Giovanni, conoide di Ogliara-Matierno).

Gli eventi neotettonici che hanno investito l'area durante il Pliocene ed il Quaternario, si sono risolti in movimenti verticali, con innalzamenti più energici rispetto alle zone contermini poste a valle del T. Grancano, ove invece il sollevamento è stato attivo solo nel Pliocene [Bonardi *et alii*, 1988].

La zona della discarica, del volume di circa 20.000 mc (Fig. 3), è posta in destra idrografica del torrente San Giovanni e coinvolge un tratto di versante che a sua volta si raccorda al fondo alveo, mediante una serie di superfici terrazzate a quote via via decrescenti.

Il pendio originario, interessato da sondaggi meccanici che hanno attraversato anche i sovrastanti riparti (Fig. 4), è costituito da terreni di natura detritico-piroclastica presentanti un ampio assortimento granulometrico, da ghiaie sciolte a sabbie addensate, fino a limi ed argille variamente consistenti. Tali terreni, in perforazione, si rinvenivano in orizzonti tra di loro non sempre facilmente correlabili.

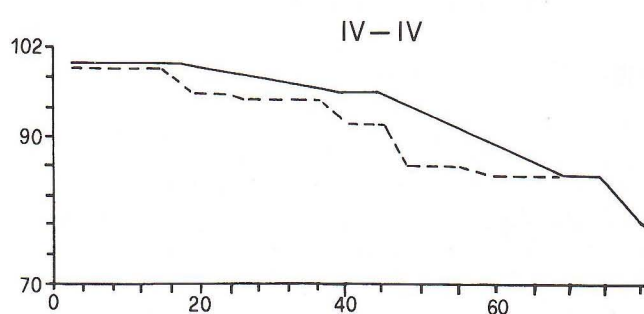
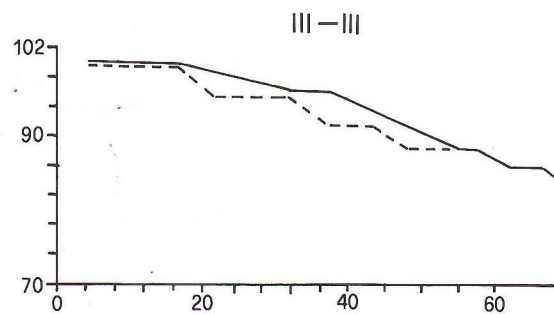
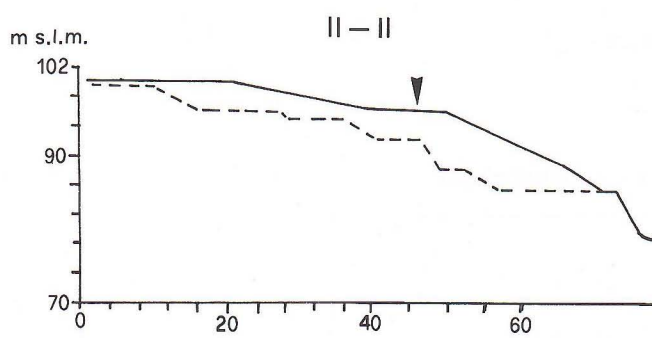
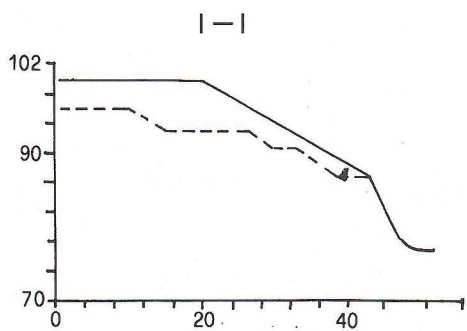
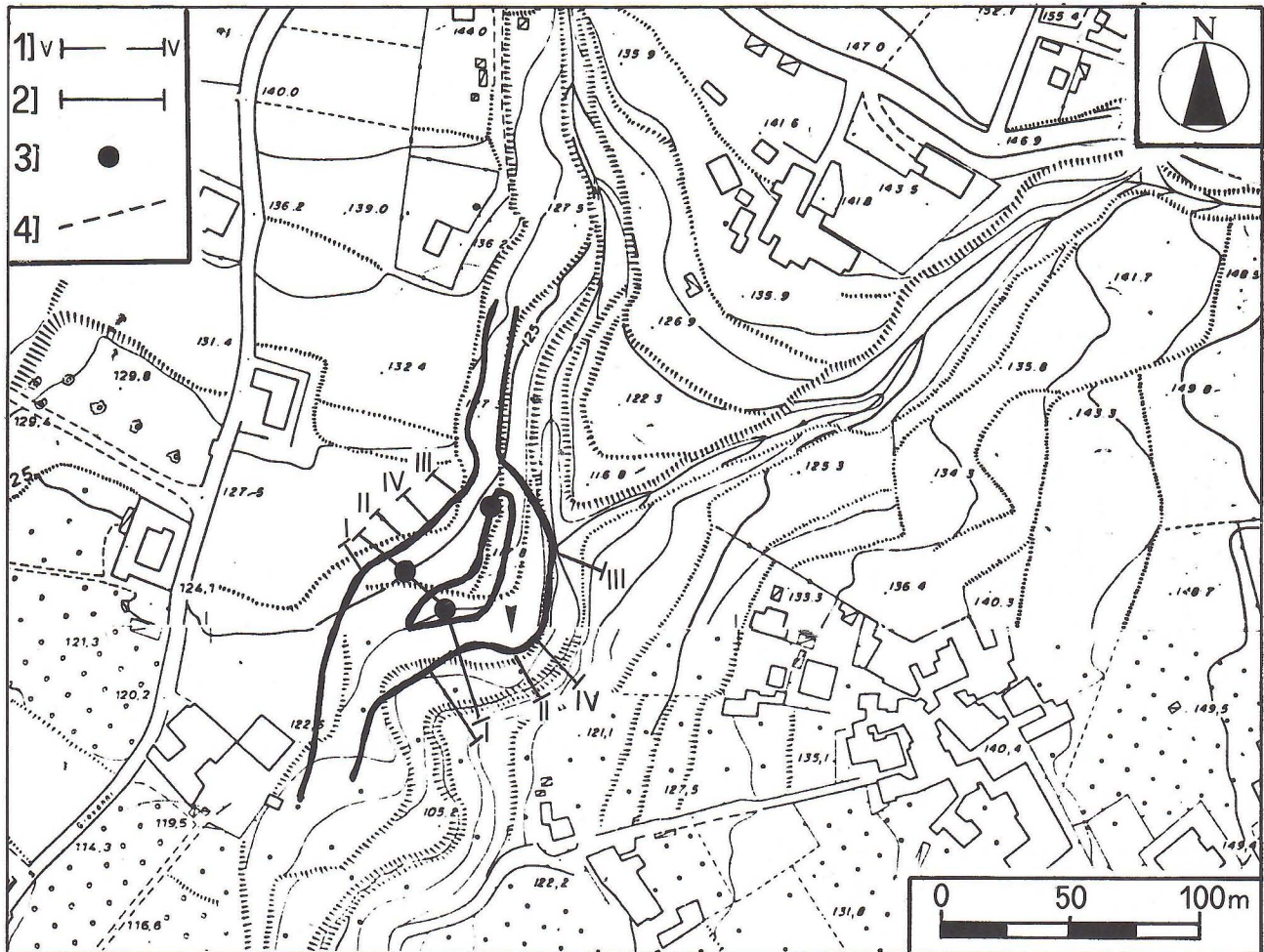
La discarica può essere classificata tra quelle IMW ["*inorganic mass waste*" - Cancelli & Cazzuffi, 1994],



Legenda

- | | | |
|---|---|-----------------------------------|
| 1) Alluvioni (Quaternario); | 4) Argille marnose (Miocene superiore); | 7) Conoide; |
| 2) Coperture detritico-piroclastiche (Quaternario); | 5) Dolomie e calcari marnosi (Triassico); | 8) Giacitura di strato; |
| 3) Piroclastiti e tufi (Quaternario); | 6) Faglia; | 9) Ubicazione dell'area studiata. |

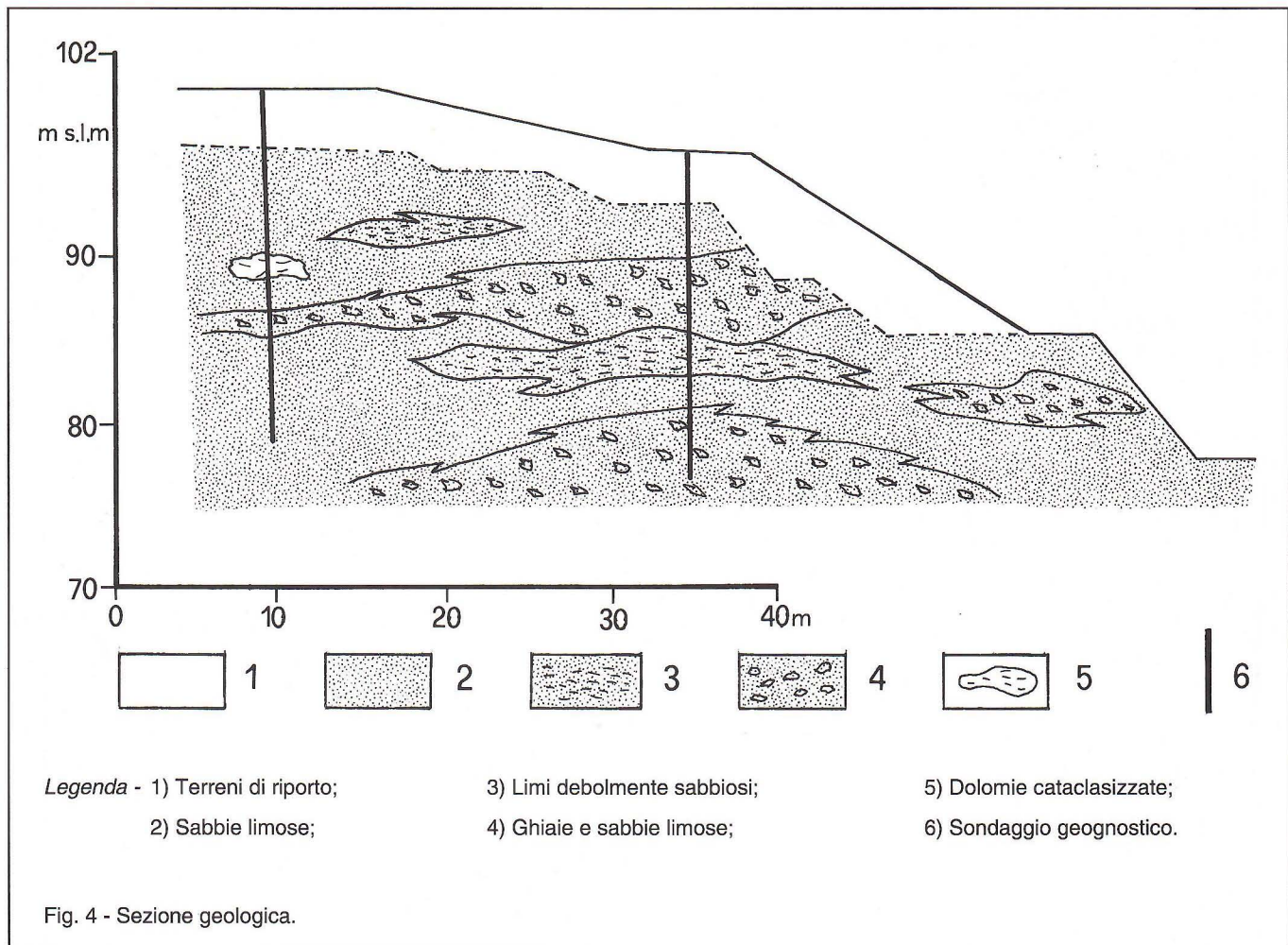
Fig. 2 - Carta geologica.



Legenda - 1) Traccia di sezione topografica e relativa numerazione;
2) Traccia di sezione geologica (vedi figura 4);

3) Sondaggio geognostico;
4) Profilo topografico originario. La freccetta indica il punto ove sono state rilevate fratture di trazione.

Fig. 3 - Planimetria e sezioni della discarica.



essendo formata in parte dai terreni provenienti dai cavi di fondazione di edifici di recente realizzazione, in parte dai detriti di demolizione di preesistenti manufatti. Non sono comunque presenti, se non in minima percentuale, materiali di origine organica.

Caratterizzazione geotecnica

I terreni detritico-piroclastici sono stati caratterizzati mediante prove SPT, SCPT e con analisi di laboratorio eseguite su campioni provenienti dagli orizzonti di materiali a grana fine; sui materiali di discarica invece sono state effettuate analisi granulometriche e determinazioni delle principali grandezze fisiche.

Terreni detritico-piroclastici

In questi terreni le perforazioni hanno evidenziato la presenza di numerosi orizzonti di piroclastiti limo-argillose sovente scarsamente consistenti, dello spessore di circa 2-3 m, intercalati a livelli ghiaiosi e sabbiosi in matrice piroclastica e talora con trovanti di

dolomia cataclaszata; una notevole eterogeneità litologica si manifesta anche in senso orizzontale, tra le diverse verticali esplorate.

Nel corso dei sondaggi sono state effettuate numerose prove penetrometriche dinamiche con punta aperta e chiusa in tutti i materiali a diversa granulometria attraversati.

Nel complesso la resistenza all'avanzamento del campionatore "Raymond" si mantiene sufficientemente costante con la profondità, in un intervallo piuttosto ampio di valori compresi tra circa 15 e 35 colpi (Fig. 5a). I valori dell'angolo d'attrito, calcolati secondo De Mello [1971], risultano superiori ai 30° (Fig. 5b).

Ulteriori indagini su questi terreni sono consistite in prove di laboratorio effettuate su campioni provenienti dagli orizzonti di piroclastiti a grana fine. Trattasi di materiali limo-argillosi con frazione argillosa mediamente pari al 45 % (Fig. 6).

Il peso dell'unità di volume varia tra 15 e 18 KN/mc ed il contenuto d'acqua oscilla più di frequente tra il 34% ed il 54 %.

In termini di plasticità i terreni analizzati possono classificarsi come "limi inorganici" (Fig. 7); risultano per lo più "inattivi" ed hanno una consistenza variabile dal "plastico" al "semisolido".

Le caratteristiche di compressibilità e di resistenza al taglio sono state determinate mediante alcune prove edometriche e di taglio diretto. I materiali limo-argillosi presentano in generale un discreto carico di pre-consolidazione (circa 550 KPa) e quindi, tenuto conto della profondità di prelievo dei campioni (tra i 5 e i 6.50 metri dal p.c.), anche un valore medio-alto del rapporto di sovraconsolidazione (OCR mediamente pari a 6,3).

Le differenze granulometriche e soprattutto di plasticità dei campioni analizzati (il campo di variabilità dell'indice plastico è compreso tra 18% e 29%), giustificano la variabilità riscontrata nei valori di coesione drenata, oscillante tra 0 ed 11 KPa; altrettanto non può dirsi invece per quel che riguarda gli angoli d'attrito, che presentano scarti di soli pochi gradi (ϕ' pari in media a circa 26°).

Materiali della discarica

La frazione analizzabile, in parte di natura detritico-piroclastica in parte proveniente da demolizione di manufatti, è costituita da sabbie ghiaioso-limose, rientranti in un assortito fuso granulometrico (Fig. 6). Inglobati in questa "matrice" si rinvengono frammenti e blocchi, talora voluminosi, di laterizi e murature.

Il peso dell'unità di volume, ricavato come media di numerose determinazioni, è risultato pari a 13 KN/mc.

I sondaggi meccanici, almeno fino alla massima profondità raggiunta, non hanno incontrato la falda; tuttavia materiali decisamente "bagnati" sono stati rinvenuti a diverse quote ed in diverse verticali, fra di loro non correlabili, nei terreni costituenti il versante originario.

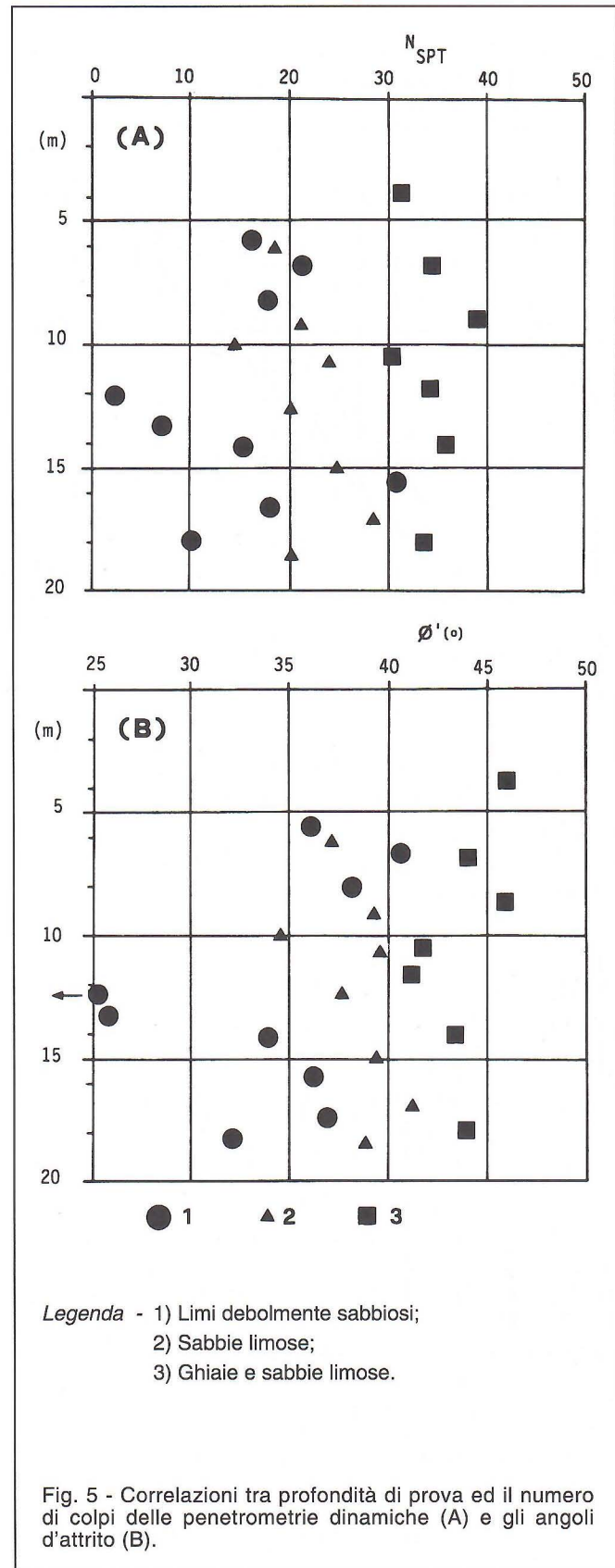
I materiali di discarica, all'atto dei sondaggi, sono risultati invece solo parzialmente umidi.

Analisi delle condizioni di stabilità

La modifica dell'originaria geometria dei pendii ha comportato la creazione di scarpate dell'altezza massima di circa 16 metri e con pendenze medie dell'ordine dei 30° (Fig. 3).

In alcuni punti situati di preferenza in prossimità del ciglio della superficie terrazzata intermedia (vedi in particolare la sezione II di figura 3), si è riscontrata la presenza di fratture di trazione beanti, che facevano ritenere ormai raggiunte le condizioni di equilibrio limite all'interno della massa.

Si è pertanto ritenuto necessario sottoporre preventivamente a "back analysis" quella parte del cumulo compresa tra la predetta superficie ed il piede della



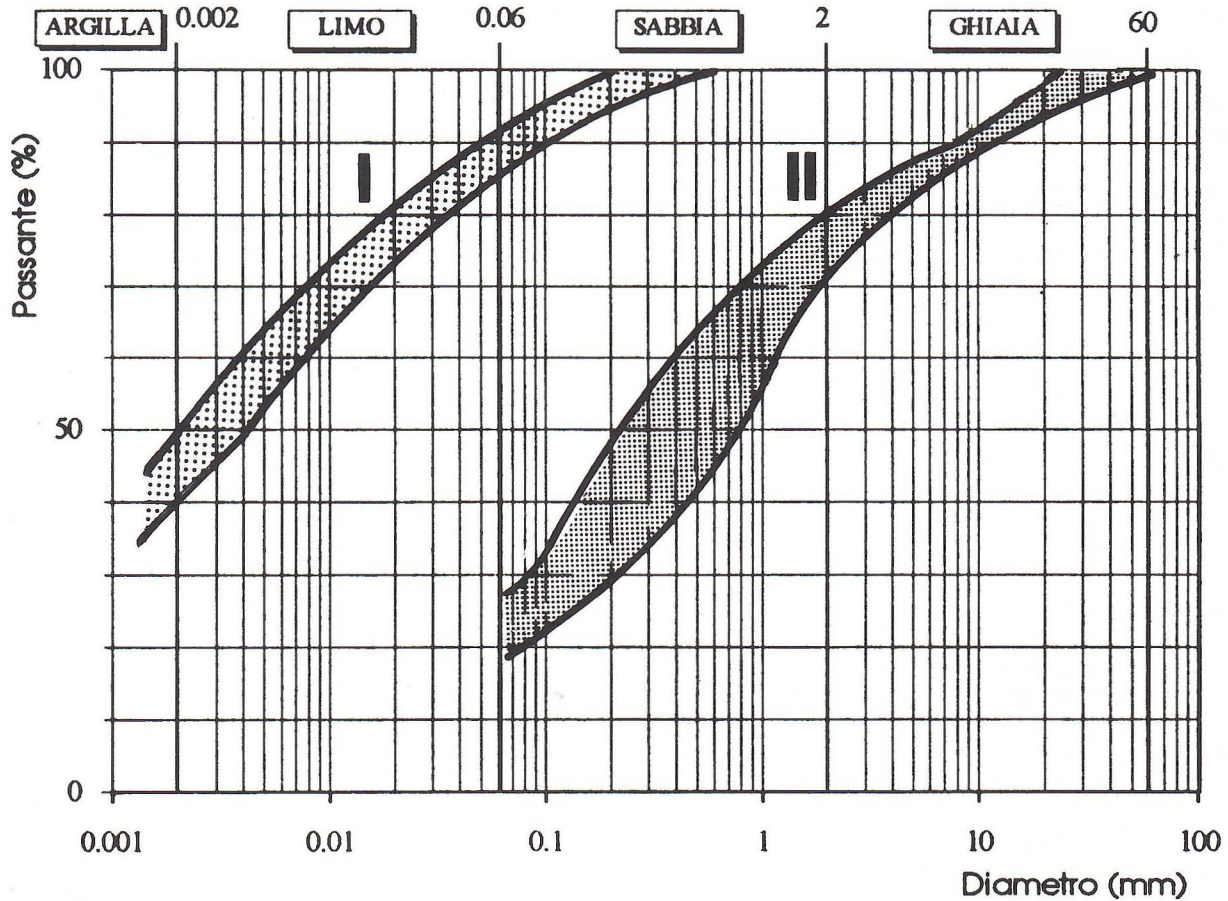


Fig. 6 - Fusi granulometrici delle piroclastiti a grana fine (I) e dei terreni di riporto (II).

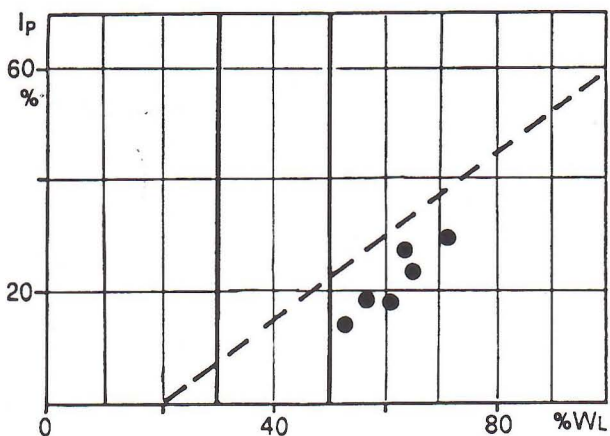


Fig. 7 - Carta di plasticità delle piroclastiti a grana fine.

scarpata prossimo all'alveo del corso d'acqua, realizzando numerose verifiche di stabilità su sezioni rappresentative e adottando i parametri fisici dei materiali di riporto, come desunti dalle analisi di laboratorio.

L'obiettivo di queste verifiche, effettuate applicando il metodo di Janbu "semplificato" [JANBU, 1973], è stato quello di ricavare preliminarmente il valore dell'angolo d'attrito ϕ' che soddisfa le condizioni di equilibrio limite del riporto, assunto di fatto privo di coesione; i risultati conseguiti consentono di stimare in circa 24° il valore medio di tale parametro.

Sulla base della geometria della discarica, dei dati geotecnici dei terreni di risulta e di quelli costituenti il pendio originario, sono state reiterate ulteriori verifiche di stabilità, ipotizzando questa volta, superfici di scivolamento circolari passanti per il piede delle scarpate ed interessando unicamente i terreni di ri-

porto ovvero anche quelli più superficiali, alterati, dell'originario pendio.

Per questi ultimi di conseguenza, si è ritenuto opportuno, più correttamente, introdurre nei calcoli un valore ridotto dell'angolo d'attrito (rispetto al dato medio desunto dalle prove di laboratorio) e pari a circa 23° ; analogamente è stata adottata una coesione molto bassa, di circa 2,5 KPa. Per le elaborazioni si è utilizzato il programma di calcolo I.L.A. ("Interactive Landslides Analysis") [Geo & Soft, 1994], basato sul metodo dell'equilibrio limite proposto da Sarma [SARMA & BHAVE, 1974; SARMA, 1979], così come successivamente sviluppato e modificato da Hoek [1987].

Le verifiche sono state fatte tenendo in conto le seguenti condizioni: pendio soggetto al solo peso proprio (Fig. 8A, I); al peso proprio ed in condizioni pseudostatiche con coefficiente sismico pari a 0.07 (Fig. 8A, II); pendio interessato dalla falda (Fig. 8A, III).

I risultati confermano che gli angoli di scarpa della discarica sono troppo elevati soprattutto se rapportati alle modeste proprietà geotecniche dei materiali; esistono infatti situazioni di potenziale instabilità (fattore di sicurezza minore di 1) per volumi più o meno notevoli, a seconda delle condizioni al contorno assunte.

Occorre osservare infine che, nell'ipotesi di attiva circolazione idrica ad esempio per effetto di copiose precipitazioni meteoriche, si potrebbero verificare situazioni di pressoché totale instabilità dell'insieme discarica-pendio naturale (Fig. 8A, III).

Criteria di intervento

La scelta delle tipologie di intervento è stata condizionata dalla necessità di impedire un eventuale impatto negativo legato all'inserimento di voluminose opere di sostegno e di favorire un rapido recupero ambientale del sito, mediante la formazione di una idonea copertura vegetale.

Si è pertanto valutata l'opportunità di procedere preliminarmente ad una risagomatura delle scarpate, riducendone l'inclinazione media ad un valore di circa 22° ed inserendo alcune berme di larghezza variabile. Il progetto prevede inoltre, ove possibile e compatibilmente con lo spazio disponibile, il riporto di parte dei materiali di risulta, alla base dei pendii originari con funzione di sostegno ed appesantimento del piede stesso (Fig. 9).

Il profilo di progetto è stato nuovamente sottoposto a verifiche, con le stesse condizioni al contorno previste per il pendio originario: peso proprio (Fig. 8B, I); peso proprio ed in condizioni pseudostatiche (Fig. 8B, II); presenza della falda (Fig. 8B, III).

I risultati dimostrano che solo nell'ipotesi di presso-

ché totale saturazione dei materiali della discarica (Fig. 8B, III), le scarpate si presenterebbero ancora instabili (limitatamente però ad alcune superfici di scorrimento passanti nella parte più superficiale dei materiali di risulta e per le quali il fattore di sicurezza minimo è pari a 0,95) e quindi non rispondenti a quanto prescritto dalla normativa vigente [D.D.M.M. 1975 e 1988], rendendo pertanto necessari ulteriori interventi atti a garantire il drenaggio del sito.

Si è pertanto valutata l'opportunità di realizzare, al piede delle scarpate, una fila di dreni orizzontali paralleli, formati da tubi sfinestrati in PVC del diametro di 80 mm, avvolti in una "calza" di materiale geotessile ed alloggiati, previo perforazioni suborizzontali, nei terreni di risulta ed in quelli sottostanti in posto (Fig. 9).

Allo scopo di dimensionare correttamente la lunghezza (L) e la spaziatura (S) dei dreni, si è ricorso al metodo proposto da Kenney *et alii*, 1977, che, come noto, consente di correlare, per la stabilizzazione "generale" di un pendio con ampiezza maggiore di 4 volte l'altezza (H), tali parametri di progetto al desiderato incremento del fattore di sicurezza (Fig. 10).

Nel caso in esame e per scarpate con inclinazione media di circa 22° ed altezze variabili tra 9 e 12 metri, al fine di incrementare il fattore di sicurezza in presenza di falda di un'entità DF/F0 pari a 0.25, è necessario che i rapporti S/H ed L/H risultino di 2.5 e 4.5 rispettivamente.

Lo stesso incremento del fattore di sicurezza (che raggiunge quindi il valore di 1.2) si può ottenere con l'uso di dreni di minore lunghezza ma con spaziatura più ravvicinata, come risulta ancora dalla figura 10A, dalla quale si ricavano valori minimi di L/H = 3 e S/H = 1.5.

In quest'ultimo caso per ottenere il desiderato incremento del fattore di sicurezza, tenuto conto dell'altezza variabile delle scarpate e dell'estensione del piede della discarica (circa 160 metri), è necessario installare 8-12 dreni, aventi lunghezze variabili in un intervallo compreso tra 27 e 35 metri.

Conclusioni

La risagomatura ed il drenaggio consentiranno di migliorare le condizioni di stabilità dell'intera discarica, anche in presenza di falda, portando il fattore di sicurezza ad un valore di 1.2, con un incremento quindi di circa il 26%.

Non si è ritenuto necessario aumentare ulteriormente tale valore (con un aggravio per i costi delle opere di drenaggio), poiché l'aver considerato, in fase di progetto, i materiali della discarica quasi completamente saturi malgrado le loro proprietà drenanti, si può ritenere già un'ipotesi con un elevato grado di penalizzazione.

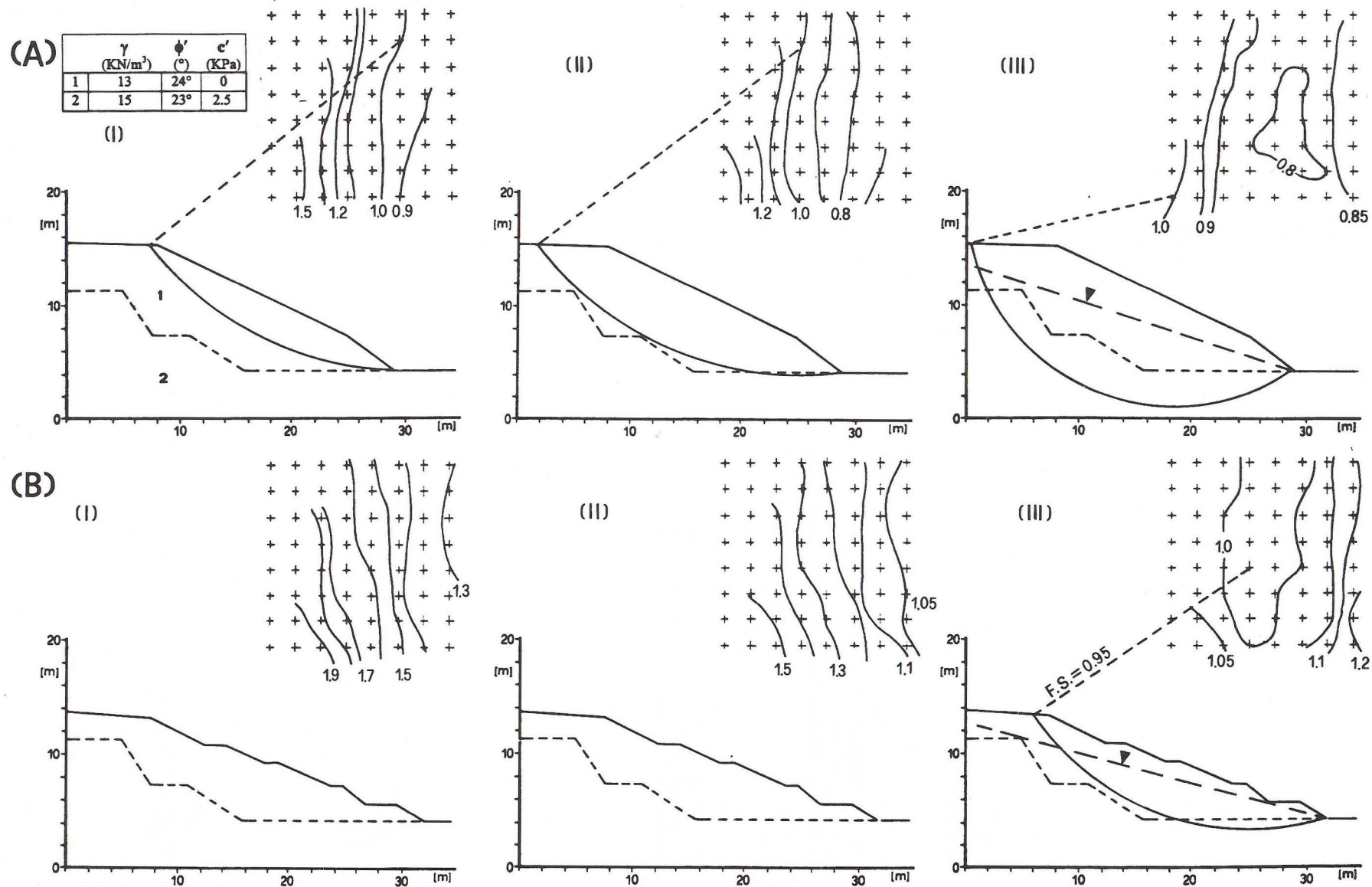
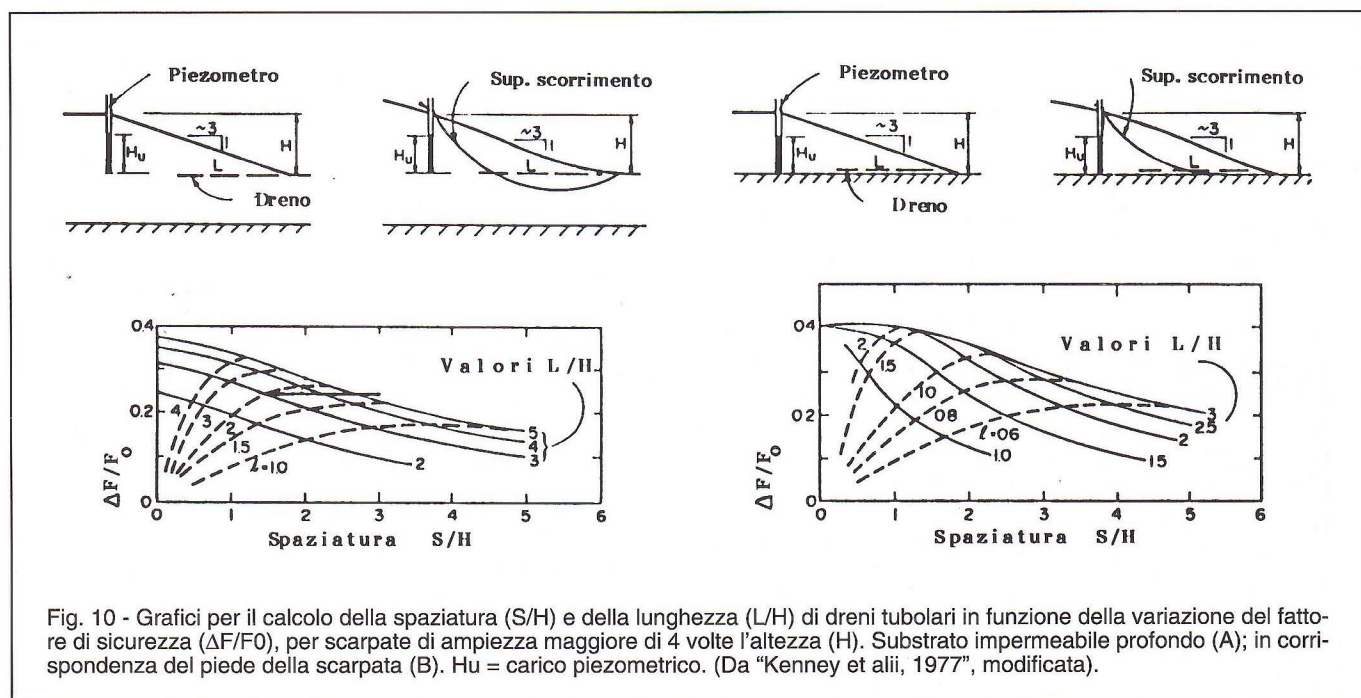
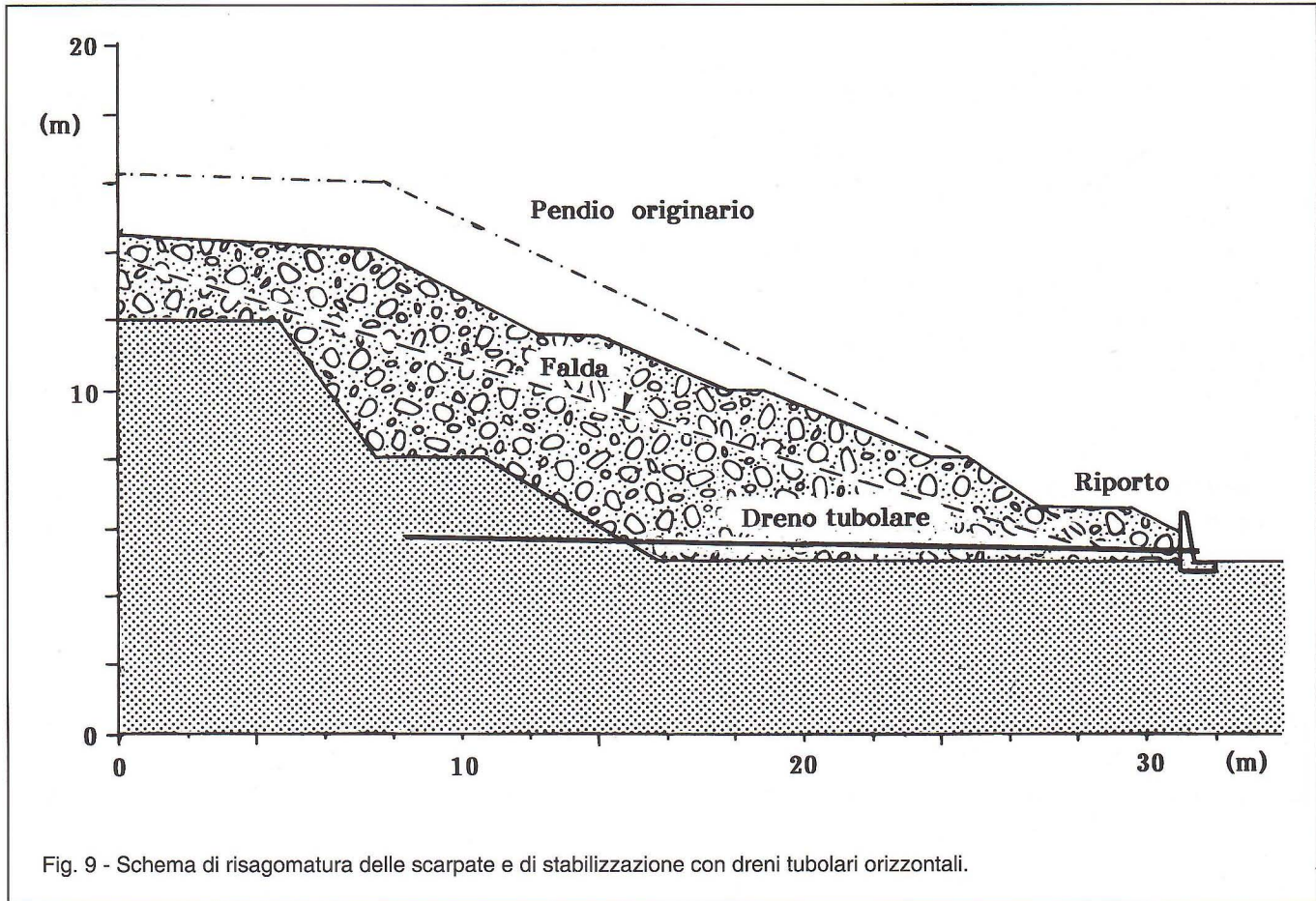


Fig. 8 - Risultati delle verifiche di stabilità: stato di fatto (A); dopo la risagomatura delle scarpate (B). Solo peso proprio (I); peso proprio ed in condizioni pseudostatiche con coefficiente sismico di 0,07 (II); peso proprio + falda (III). γ = peso dell'unità di volume; ϕ' = angolo d'attrito interno; c' = coesione.



BIBLIOGRAFIA

- BONARDI G., D'ARGENIO B., PERRONE V. (1988): *Carta geologica dell'Appennino meridionale in scala 1:250.000*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 1341.
- BUDETTA P., CALCATERRA D. (1992): *Aspetti geologici e geologico-tecnici del territorio comunale di Salerno: il settore nord-orientale*. Atti III Conv. Naz. Giovani Ricercatori in Geol. Appl., Viterbo 28-31/10/92. In stampa su "Geologica Romana".
- CANCELLI A., CAZZUFFI D. (1994): *Environmental aspects of geosynthetic application in landfills and dams*. Keynote lectures 2 in 5th Int. Conf. on geotextiles, geomembranes and related products. SEAC-IGS. Singapore, 5-9/9/94.
- COLLESELLI F., NOSENGO S. (1975): *Il problema dell'inserimento ambientale di grandi quantità di residui solidi. Indagine geologica e geotecnica per la sistemazione di una discarica di 25 milioni di metri cubi in zona montana*. Mem. Soc. Geol. It., 14, 351-370.
- D.M. 3 marzo 1975: *Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*.
- D.M. 11 marzo 1988: *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*.
- DE MELLO V.F. (1971): *The standard penetration test*. 4th Panam. Conf. on SMFE ASCE, I, 1-8, S. Juan, Puerto Rico.
- GEO & SOFT (1994): *Software I.L.A. "Stabilità in terre"*. Torino.
- HOEK E. (1987): *General two-dimensional slope stability analysis*. In: "Analytical and computational methods in Eng. Rock Mech." - Brown, London.
- JANBU N. (1973): *Slope stability computations*. The embankment Dam Engineering Casagrande Volume. John Wiley & Sons, 47-86.
- KANJI M.A. (1974): *The relationship between drained friction angles and Atterberg limits of natural soils*. Geotechnique, 24, 671-674.
- KENNEY T.C. (1959): *Discussion on geotechnical properties of glacial lake clays*. J. Am. Soc. Civ. Engin, 85, SM 3(1), 67-79.
- KENNEY T.C., PAZIN M., CHOI W.S. (1977): *Design of horizontal drains for soil slopes*. Proc. ASCE, 103 (GT 11), 1311-1323.
- SARMA S.K. (1973): *Stability analysis of embankments and slopes*. Geotechnique, 23(3), 423-433.
- SARMA S.K., BHAVE M.V. (1974): *Critical acceleration versus static factor of safety in stability analysis of earth dams and embankments*. Geotechnique, 24(4), 661-665.
- SARMA S.K. (1979): *Stability analysis of embankments and slopes*. J. Geotech. Engng. Div., Proc. ASCE 105(GT12), 1511-1524.
- STEGMANN R. (1989a): *Principles of landfilling - the current approach, Sanitary landfilling: Process, technology and environmental impact*. Academic Press Ltd, London, 11-18.