

7. LA CAMPAGNA GEOGNOSTICA

INDICE

7.1.	PREMESSA	pag.	95
7.2.	PERFORAZIONI ESEGUITE	"	95
7.2.1.	Il sondaggio AN 1	"	96
7.2.2.	Il sondaggio AN 2	"	98
7.2.3.	Il sondaggio AN 3	"	98
7.2.4.	Il sondaggio AN 4	"	99
7.2.5.	Il sondaggio AN 5	"	100
7.2.6.	Il sondaggio AN 6	"	101
7.2.7.	Il sondaggio AN 7	"	102
7.2.8.	Il sondaggio AN 8	"	105
7.2.9.	Il sondaggio AN 9	"	107
7.2.10.	Il sondaggio AN 10	"	108
7.3.	INDAGINI IN FORO E STRUMENTAZIONI	"	109
7.3.1.	Carotaggio della radioattività naturale	"	109
7.3.2.	Carotaggi sismico e sonico	"	109
7.3.3.	Registrazioni piezometriche	"	109
7.3.4.	Misure inclinometriche	"	110
7.4.	MISURE ED ANALISI SUI CAMPIONI	"	111
7.4.1.	Esame visuale dei campioni	"	111
7.4.2.	Misure con penetrometro tascabile	"	111
7.4.3.	Analisi geotecniche di laboratorio	"	112
7.5.	CONCLUSIONI	"	112

7.1. PREMESSA

L'organizzazione della campagna geognostica è seguita immediatamente alle indagini geologiche e geomorfologiche di superficie, da cui apparve subito opportuno di verificare anche in profondità, su punti caratteristici dell'area in frana, la geometria ed il meccanismo con il quale aveva avuto luogo il movimento franoso del 13 dicembre 1982.

L'estensione dell'area in frana e la continuità per lunghi tratti dei principali motivi morfologici che la caratterizzano (scarpate, trincee, contropendenze) disposti su tre ordini principali, paralleli alla costa (CRESCENTI *et alii*, 1983), hanno portato alla convinzione che il movimento dovesse interessare uno spessore considerevole delle formazioni plio-pleistoceniche.

L'ubicazione dei sondaggi è stata operata in base ai risultati delle precedenti campagne geologiche e geomorfologiche e disposta su tre allineamenti, che consentono la verifica di sezioni parallele e ortogona-

(*)Collaboratori esterni.

(**)Dipartimento di Scienze dei Materiali e della Terra, Università di Ancona.

li alla costa (Fig. 7.1). Dette sezioni sono state controllate mediante rilievi plano-altimetrici periodici su capisaldi.

Sono state eseguite in totale 10 perforazioni in poco più di quattro mesi, di cui una interamente finanziata dal Comune di Ancona. Sono stati pure utilizzati i dati di sondaggi a mare, antistanti il fronte frana, eseguiti a cura della Camera di Commercio di Ancona.

Le metodologie adottate durante l'esecuzione dei sondaggi hanno avuto come scopo principale quello di mettere in evidenza eventuali tracce del movimento franoso in profondità e di valutare i principali caratteri litologici, geotecnici ed idrologici delle rocce.

Misure di peso-volume, umidità, condotte con frequenza di una misura al metro, prove con penetrometro tascabile (P.P.) e misure geofisiche in foro sono state eseguite sistematicamente su tutti i sondaggi. I campioni indisturbati sono stati prelevati ogni 10-15 m.

Sono state anche condotte sistematicamente analisi micropaleontologiche che si sono rivelate utili sia per la determinazione degli spessori delle coltri eluvio-colluviali, che per la classificazione delle successioni stratigrafiche perforate, consentendo correlazioni dettagliate e la valutazione dell'entità dei rigetti delle faglie e la loro ubicazione.

Le perforazioni eseguite sono state tutte strumentate per la verifica delle pressioni interstiziali e dell'attività del movimento franoso.

7.2. PERFORAZIONI ESEGUITE

Dal 14 febbraio al 21 giugno 1983 sono state eseguite dalla Ditta Rodio S.p.a. 10 perforazioni a carotaggio continuo, spinte a profondità variabili da 40 a 200 m circa dal piano campagna.

Sono stati utilizzati diametri di 130 e 140 mm per l'avanzamento, e tubi di rivestimento provvisorio dei fori di 185 e 220 mm. In alcuni casi il rivestimento è stato spinto sino a fondo foro; in altri, è stato limitato invece ai primi 10-20 m di profondità.

L'osservazione continua in cantiere sul comportamento dei dispositivi di perforazione e delle pareti del foro, ha fornito elementi assai utili per la comprensione dello stato delle rocce attraversate.

Di seguito si riporta la descrizione delle evidenze riscontrate nei vari sondaggi.

Per quanto riguarda la attribuzione cronostratigrafica degli intervalli perforati, abbiamo eseguito analisi micropaleontologiche. Le associazioni riscontrate sono del tutto correlabili con quelle elencate e descritte in CIANCETTI, CRESCENTI & NANNI (presente volume).

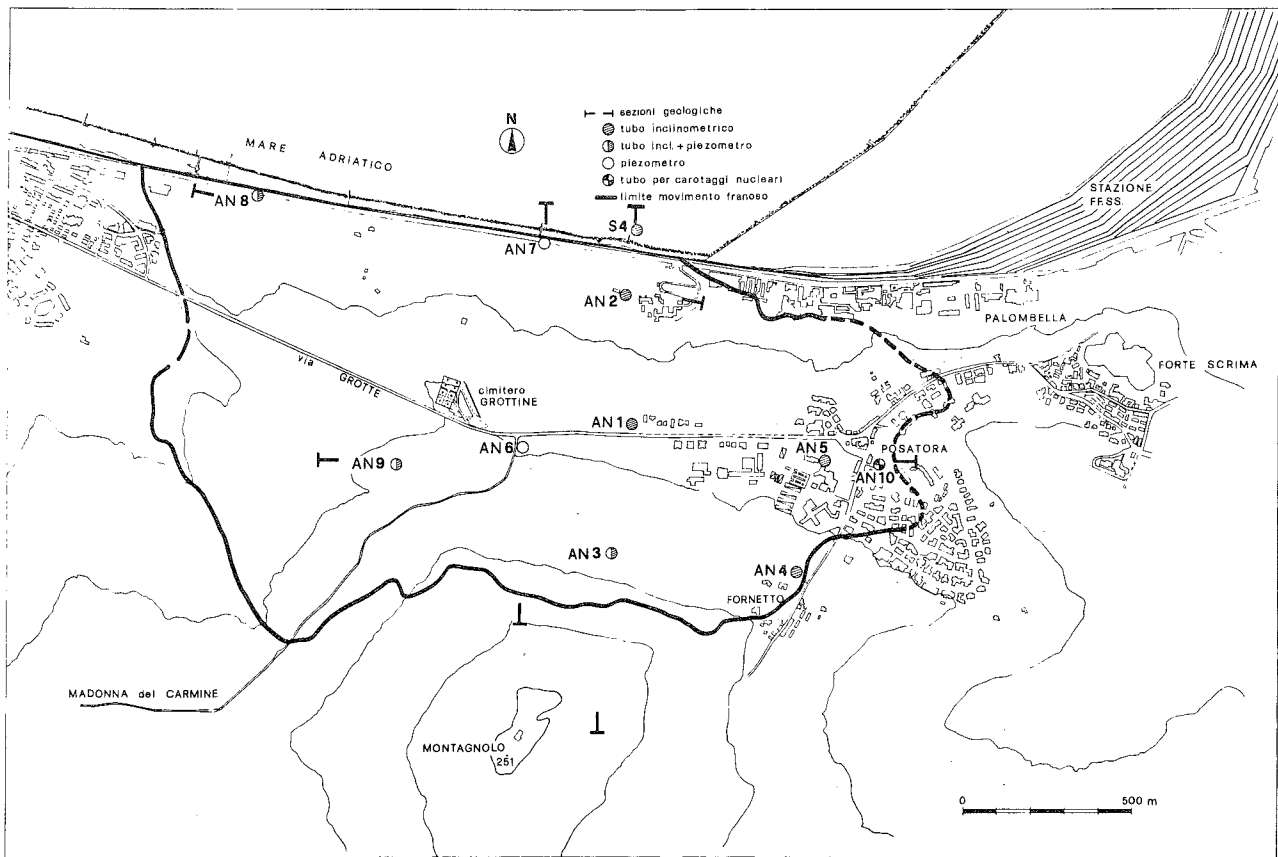


Fig. 7.1 - Ubicazione dei sondaggi e tracce delle sezioni delle Figg. 7.14, 7.19 e 7.20.
Location of boreholes and geological section traces.

7.2.1. Sondaggio AN 1 (Fig. 7.2)

Il sondaggio è ubicato nella parte centrale dell'area ed è attrezzato con tubo inclinometrico sino a 126 m di profondità.

- Diametri di perforazione: \varnothing 140 mm sino a 100 m;
 \varnothing 130 mm da 100 a 151 m.
- Rivestimenti provvisori: \varnothing 225 mm sino a 17,50 m;
 \varnothing 185 mm sino a 100 m.

L'uso dei rivestimenti si è reso necessario per evitare franamenti delle intercalazioni sabbiose, nei primi 40 m di perforazione e, rifluimenti, tra 60 e 90 m di profondità. In quest'ultimo intervallo sono stati riscontrati problemi anche nel recupero delle carote. I campioni estratti nel tratto 60-90 m di profondità, presentano tracce di dislocazioni sub-verticali.

Sono stati osservati inoltre livelli fratturati o plasticizzati con presenza di superfici lucide alle seguenti profondità: 54 m, 98 m, 102 m, 111 m, 124 m, 138 m. In alcune superfici lucide è stata notata presenza di calcite spatica.

I valori medi di P.P. crescono in genere con la profondità, mentre si registra una diminuzione del contenuto in acqua (W_p) ed un aumento del peso-volume (γ_v).

I valori della velocità delle onde P crescono anch'essi con la profondità mostrando un salto a circa 102 m, dove si passa da una velocità di 1,77 km/sec a 2,06

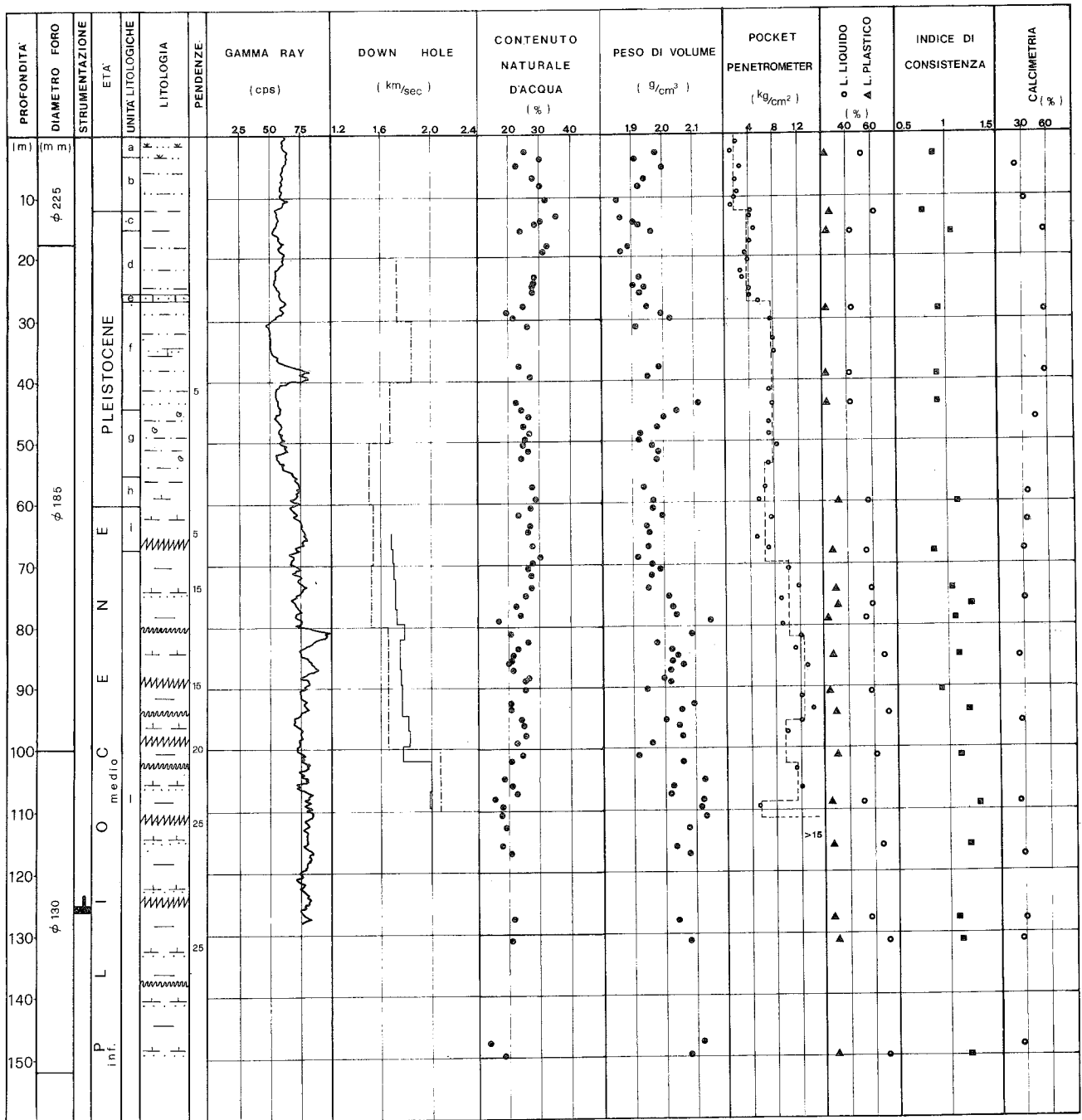
km/sec. L'indice di consistenza presenta valori inferiori ad 1, nei primi 50 m di foro, a 70 e a 90 m di profondità e superiori ad 1 nei rimanenti livelli.

Il livello piezometrico, osservato durante la perforazione, si è mantenuto a circa 11 m dal piano campagna.

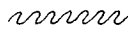
I valori di LL si mantengono costanti fino a 500 m di profondità, per poi aumentare dal 45% al 60% fino a fondo foro. Il LP si mantiene costante (22%).

Stratigrafia

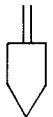
m 0-3	Terreno agrario e di riporto.
m 3-12	Argille siltose, siltoso-sabbiose giallo ocracee e/o brunastre, di aspetto generale caotico; da m 6 a m 8 ca. sono presenti concrezioni carbonatiche ("calcinelli").
m 12-15	Argille marnose grigio-azzurre scure.
m 15-25.50	Argille marnose siltoso-sabbiose giallo ocracee.
m 25.50-26	Calcarenite organogena.
m 26-44	Alternanze di argille siltoso-sabbiose, argille con tritume organogeno e livelli sabbiosi e/o calcarenitici di spessore compreso tra i 5-20 cm ed una frequenza di 1-2 ogni 1-2 m ca.
m 44-55	Argille e argille siltose, con tritume organogeno e spalmature sabbiose.
m 55-60	Argille marnose grigio-azzurre, stratificate, con residui torbosi.



TUBO INCLINOMETRICO



LIVELLI CAOTICI FRANTUMATI E PLASTICI



CELLA DI CASAGRANDE



LIVELLI FRATTURATI



CELLA ELETTRIPNEUMATICA

Fig. 7.2 - Dati stratigrafici, geognostici, geofisici e geotecnici relativi al sondaggio AN 1.
Stratigraphic, geognostic, geophysical and geotechnical data of AN 1 borehole.

- m 60-67 Argille marnose grigio-azzurre, stratificate, con residui torbosi ed intercalazioni (spessore 2-5 cm; frequenza 1-2 ogni m ca.) di argille marnose verdastre, ricche in foraminiferi planctonici.
- m 67-151.50 Argille marnose grigio-azzurre, stratificate, con livelli di argille marnose verdastre ricche di foraminiferi planctonici (come sopra) ed intercalazioni siltoso-sabbiose e/o sabbioso-siltose (spessore 2-5 cm); la frequenza aumenta verso il basso da 1 ogni 2 m ca. a 1-2 ogni m ca. a partire da m 100 di profondità; a circa 88 m di profondità, per 1 m compaiono tracce di residui torbosi.

L'intervallo da m 0 a 12 m è costituito da coltre eluvio-colluviale. I terreni compresi tra 12 e 60 m sono ascrivibili al Pleistocene; quelli compresi tra 60 e 150 m al Pliocene medio; l'intervallo tra 150 e 151,50 m è riferibile al Pliocene inferiore.

7.2.2. Sondaggio AN 2 (Fig. 7.3)

Il sondaggio è ubicato a 60 m dal mare, all'incirca sull'allineamento AN 1 - Montagnolo ha una profondità di 101.60 m ed è attrezzato con tubo inclinometrico sino a m 100.

Servizi geofisici: γ -ray e carotaggio sismico.

Diametri di perforazione: \varnothing 140 mm, sino a fondo foro.

Rivestimenti provvisori: \varnothing 225 mm sino a 10 m, \varnothing 185 mm, sino a 39 m.

Abbondanti rifluimenti di materiale nel foro sono stati riscontrati specie nei primi 20 m; superfici lucide e livelli plasticizzati sono stati osservati a 44 m di profondità. Numerose tracce di fratture sub-verticali e superfici lucide sono state inoltre osservate anche sino a 90 m circa di profondità.

I valori medi di P.P. crescono in genere con la profondità e superano i 15 kg/cm² a 32 m dal p.c.; i valori del contenuto d'acqua sono elevati nei primi 20 m di sondaggio (circa 30%) e scendono a circa 20%, per profondità maggiori.

Vanno sottolineati i bassi valori di peso-volume ($\gamma_0 = 1.9 \text{ g/cm}^3$) e di P.P. e gli alti valori del contenuto d'acqua W_n (30%), riscontrati alla profondità di 42 m. I valori di LL ed LP si mantengono costanti, rispettivamente 60 e 25%. L'indice di consistenza è minore di 1 nei primi 20 m; maggiore di 1 per profondità maggiori.

Le velocità delle onde P presentano valori crescenti con la profondità sino a circa 70 m dal p.c., dove si registra un brusco salto tra argille in frana e quelle in posto.

Il livello piezometrico si è stabilizzato durante la perforazione a 9.50 m dal piano di campagna.

Stratigrafia

- m 0-2 Terreno di riporto.
m 2-7 Argille siltose ocracee e brunastre, forte-

mente alterate ed argille grigio-azzurre; aspetto caoticizzato.

- m 7-101,50 Argille marnose grigio-azzurre con livelli di argille marnose verdastre, ricche in foraminiferi planctonici (spessore 2-5 cm, frequenza di 1 ogni m ca.; presenti fino a 40 m di profondità), ed intercalazioni siltoso-sabbiose e/o sabbioso-siltose (spessore 2-5 cm fino a m 50 di profondità, con aumento graduale di spessore procedendo verso il basso, fino a 20-25 cm; frequenza 1 ogni m ca.).

L'intervallo compreso tra 0 e 7 m ca. è costituito da coltre eluvio-colluviale; i terreni compresi tra 7 e 62 m sono ascrivibili al Pliocene medio; quelli compresi tra 62 e 101,50 m appartengono al Pliocene inferiore.

7.2.3. Sondaggio AN 3 (Fig. 7.4)

E' ubicato sull'allineamento mare AN 2 - AN 1 - Montagnolo a circa 100 m dalla corona principale di distacco della frana; ha una profondità di 128,50 m ed è attrezzato con piezometro elettropneumatico a 115 m e inclinometro sino a 111 m dal piano di campagna.

Servizi geofisici: γ -ray e carotaggio sismico.

Diametri di perforazione: \varnothing 145 mm, sino a 128,50 m

Rivestimenti provvisori: \varnothing 225 mm, sino a 17,50 m, \varnothing 185 mm, sino a 100 m.

Le pareti del foro hanno mostrato rifluimenti sino a 100 m circa di profondità. Da 54 a 86 m circa si osservano numerosi livelli costituiti da argille fratturate (Fig. 7.5) e plasticizzate e/o lisciate.

I valori di P.P. crescono in modo discontinuo con la profondità, in particolare, tra i 55 e gli 80 m si riscontrano valori di 8 kg/cm².

Anche i valori di contenuto d'acqua e peso-volume sono molto variabili con la profondità; a -62 m, ad esempio, si registrano valori di W_n pari al 30%. I valori di LL, LP e dell'indice di consistenza, crescono in genere con la profondità.

I valori delle velocità medie delle onde P crescono anch'essi in modo discontinuo con la profondità; in particolare, si osservano bruschi salti di velocità a 65, 70, 100 e 110 m.

Il livello piezometrico si è stabilizzato, in corso di perforazione, a -11 m dal piano di campagna.

Stratigrafia

- m 0-2 Terreno agrario e colluvioni.
m 2-10 Argille siltose giallo ocracee con spalmature siltoso-sabbiose, ricche di frustoli vegetali.
Da m 6 ca. iniziano a comparire intercalazioni di argille grigio-verdastre con aspetto caoticizzato.
m 10-128,50 Argille marnose grigio-azzurre con livelli di argille marnose verdastre, ricche in foraminiferi planctonici (spessore 2-5 cm; frequenza 1 ogni m ca.; presenti fino a m

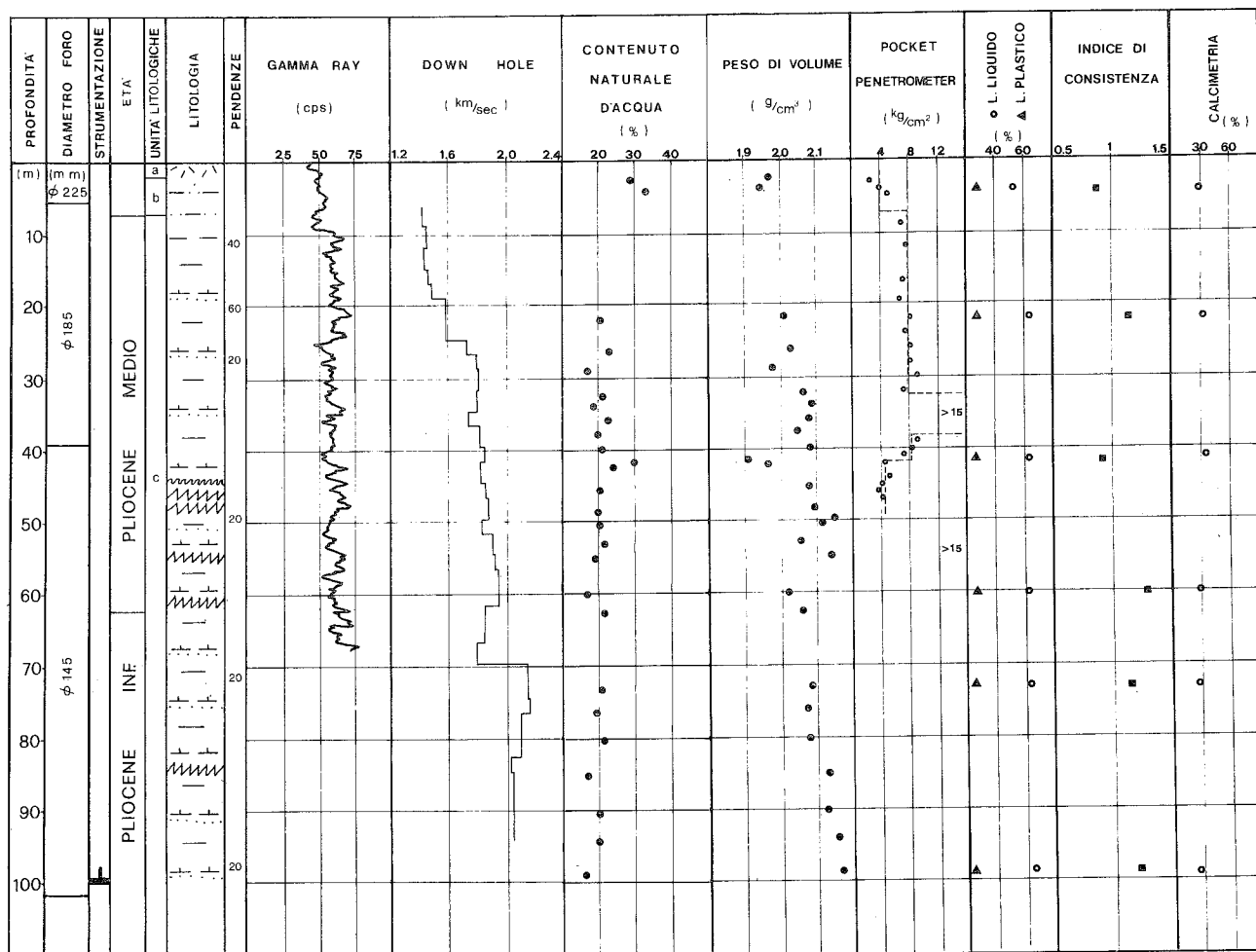


Fig. 7.3 - Dati stratigrafici, geognostici, geofisici e geotecnici relativi al sondaggio AN 2.
Stratigraphic, geognostic, geophysical and geotechnical data of AN 2 borehole.

60 ca. di profondità) ed intercalazioni siltoso-sabbiose (2-5 cm di spessore; frequenza 1 ogni m ca., fino a 60-70 m di profondità; procedendo verso il basso si registra un aumento graduale del contenuto sabbioso fino a spessori di 15-20 cm; stessa frequenza).

L'intervallo compreso tra 0 e 10 m ca. è costituito da coltre eluvio-colluviale; i terreni compresi tra 10 e 70 m sono ascrivibili al Pliocene inferiore.

7.2.4. Sondaggio AN 4 (Fig. 7.6)

E' ubicato nella parte marginale est alta della frana; ha una profondità di 95 m ed è attrezzato con tubo inclinometrico per tutta la lunghezza del foro.

Servizi geofisici: γ -ray e carotaggio sismico.

Diametri di perforazione: \varnothing 145 mm, sino a fondo foro.

Rivestimenti provvisori: \varnothing 225 mm, sino a 13 m; \varnothing 185 mm, sino a 52 m.

Frammenti delle pareti del foro sono stati osservati nei primi 10 m circa dove si registra il passaggio tra la coltre eluvio-colluviale e le argille sabbiose grigio-azzurre.

A parte i primi 10 m di sondaggio, la formazione appare generalmente compatta e con discreti caratteri geomeccanici; unico livello caratterizzato da superfici lisce è stato osservato a 70 m di profondità.

I valori di P.P. aumentano con la profondità così come quelli relativi al peso-volume (γ_v) e alla velocità delle onde sismiche, mentre i valori di umidità sono del 28%, nei primi 10 m e circa del 20% per profondità maggiori. L'indice di consistenza si mantiene sempre maggiore di 1, e l'indice di plasticità oscilla attorno a valori del 10 - 15% con LL attorno a 50%.

Il livello piezometrico ha fatto registrare valori di -11 m dal piano di campagna.

Stratigrafia

- m 0-2 Terreno agrario.
- m 2-10,50 Argille siltose giallo-occe e brunastre, con spalmature sabbioso-siltose; frequenti concrezioni carbonatiche ("calcinelli").
- m 10,50-95 Argille marnose grigio-azzurre, con intercalazioni siltoso-sabbiose e/o sabbioso-

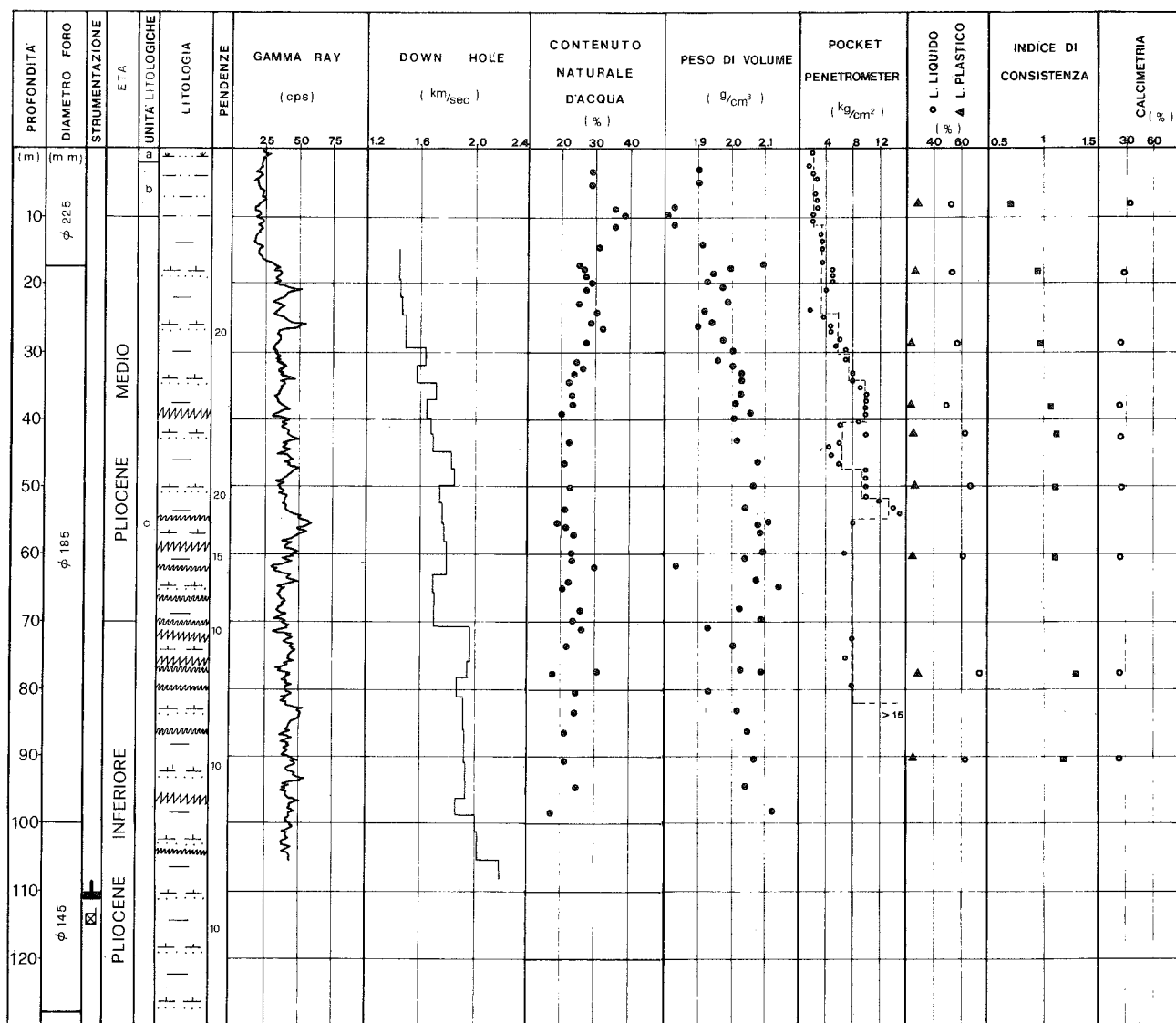


Fig. 7.4 - Dati stratigrafici, geognostici, geofisici e geotecnici relativi al sondaggio AN 3.
Stratigraphic, geognostic, geophysical and geotechnical data of AN 3 borehole.

siltose (spessori 10-30 cm; frequenza 1 ogni m ca., con graduale aumento verso il basso).

L'intervallo compreso tra 0 e 10,50 m ca. è costituito da coltre eluvio-colluviale; i terreni sottostanti sono ascrivibili al Pliocene inferiore.

7.2.5. Sondaggio AN 5 (Fig. 7.7)

E' ubicato a valle del pozzo AN 4; ha una profondità di 146 m ed è strumentato con tubo inclinometrico sino a 121 m.

Servizi geofisici: γ -ray e carotaggio sismico.

Diametri di perforazione: \varnothing 145 mm, sino a fondo foro.

Rivestimenti provvisori: \varnothing 225 mm, da 0 a 15 m; \varnothing 185 sino a fondo foro.

Le pareti del foro hanno mostrato frequenti frammenti specie nell'intervallo compreso tra 60 e 92 m di profondità, dove si riscontrano numerosi livelli plasticizzati e brecciati. A 52 m di profondità, sono stati rinvenuti campioni con tracce di fratture sub-verticali.

La terebrazione del foro ha presentato serie difficoltà sia per quanto attiene l'avanzamento che per il prelievo dei campioni; va sottolineata inoltre la rottura di due batterie di aste quando il sondaggio era a 146 m e a 151 m.

I valori di P.P. sono estraneamente variabili sino a profondità di 39 m, per profondità superiori sono in genere maggiori di 15 kg/cm². I valori del contenuto d'acqua si mantengono alti (32%), sino 55 m, per decrescere a valori di circa il 22%, per profondità maggiori. Anche l'indice di consistenza segue lo stesso andamento, inferiore ad 1 nei primi 50 m e superiore ad 1, per profondità maggiori. I valori di LL si mantengono costanti intorno al 58%. L'indice di plasticità presenta ovunque valori bassi. I valori delle velocità medie delle onde P crescono con la profondità, passando



Fig. 7.5 - Livelli frantumati e liscati rinvenuti a 55 m ed a 52 m nei sondaggi AN 3 e AN 7.
Broken and smoothed rock, sampled at the depth of 55 and 52 m in AN 3 and AN 7 boreholes.

da 1.6 a 1.8 - 1,9 km/s, nei primi 93 m, per giungere a 2 km/s circa, per i tratti sottostanti.

Il livello piezometrico si è stabilizzato a - 11 m dal piano di campagna.

Stratigrafia

- m 0-2 Terreno agrario e di riporto.
- m 2-8 Argille siltose, giallo-ocracee, con spalmature siltoso-sabbiose; frustoli vegetali sparsi.
- m 8-52 Argille marnoso-siltose grigio-azzurre, ricchissime di residui torbosi; da 15 m. ca. compaiono sottili intercalazioni di argille marnose verdastre (spessore 2-5 cm; frequenza 1 ogni m ca.), ricchissime di foraminiferi planctonici.
- m 52-145 Argille marnose grigio-azzurre, con livelli di argille marnose verdastre (come sopra), presenti fino a 110 m ca. di profondità ed intercalazioni siltoso-sabbiose e/o sabbioso-siltose (di spessore variabile da qualche cm a 10-20 cm procedendo verso il basso; frequenza 1-2 ogni m ca.).

L'intervallo compreso tra 0 e 2 m, è costituito da coltre eluvio colluviale. I terreni compresi tra 2 e 35

m sono ascrivibili al Pleistocene; quelli compresi tra 35 e 145 m, al Pliocene medio.

7.2.6. Sondaggio AN 6 (Fig. 7.8)

Ubicato nell'area centrale della frana, ha una profondità di 193 m ed è strumentato con tre piezometri di Casagrande, rispettivamente a 95, 51 e 24,50 m di profondità.

Servizi geofisici: γ -ray e carotaggio sismico.

Diametri di perforazione: \varnothing 225 mm, sino a 15 m; \varnothing 185 mm, sino a 67 m; \varnothing 145 mm, sino a 120 m; \varnothing 130 mm, da 120 m, sino a fondo foro.

Rivestimenti provvisori: \varnothing 225 mm, sino a 51 m; \varnothing 185 mm, sino a 67 m.

Frammenti delle pareti del foro sono stati osservati sino a circa 100 m di profondità, causando difficoltà nell'avanzamento e per il prelievo dei campioni. Da rilevare che, nei primi 23 m di sondaggio, l'aspetto dei terreni è generalmente caotico; tra 23 e 79 m, si rinvennero argille molli con presenza di residui torbosi. A profondità maggiori, sino a 108 m, si rinvennero vari livelli caratterizzati da argille brecciate e lisciate.

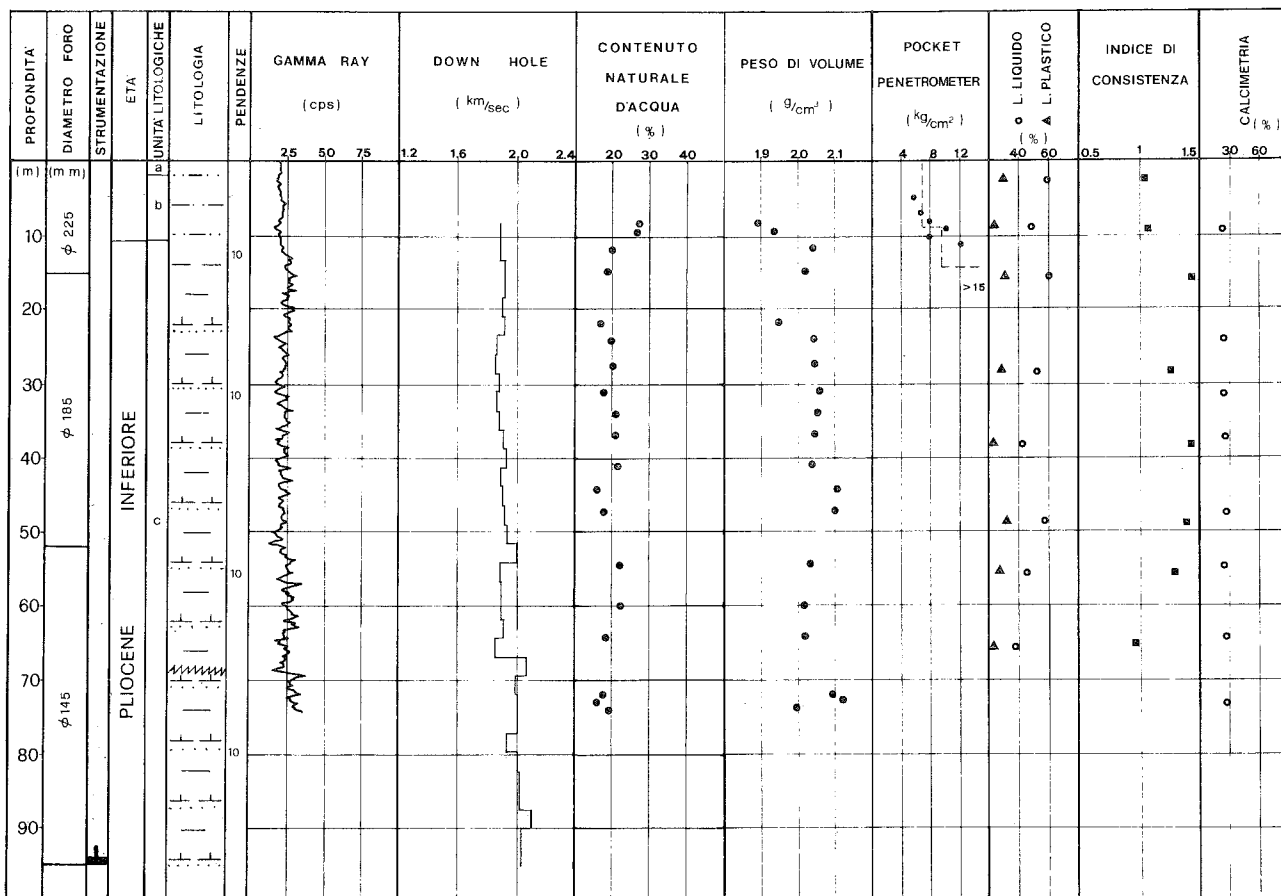


Fig. 7.6 - Dati stratigrafici, geognostici, geofisici e geotecnici relativi al sondaggio AN 4.
Stratigraphic, geognostic, geophysical and geotechnical data of AN 4 borehole.

Tracce di dislocazioni sub-verticali sono state osservate a partire da 37 m sino a 155 m di profondità.

I valori di P.P. si mantengono in genere inferiori a 10 kg/cm² sino a 120 m di profondità, i valori del contenuto d'acqua sono alti nei primi 30 m (30 - 35%) per diminuire con la profondità sino al 15%.

L'indice di consistenza si mantiene inferiore ad 1 nei primi 50 m; il LL cresce da 20 a 120 m, con valori che vanno dal 40% circa, sino al 65%; a profondità maggiori decresce; LP si mantiene costante.

I valori medi delle onde P, registrati sino a 58 m, variano da 1.4 a 1.75 km/sec.

I valori dei livelli piezometrici crescono con la profondità, salvo che per il livello più profondo, localizzato in prossimità della presunta superficie di scorrimento della frana.

Stratigrafia

- m 0-2 Terreno agrario.
- m 2-23 Argille siltose, giallo-ocracee, con spalmature sabbiose; presenza di frustoli vegetali e concrezioni carbonatiche ("calcinelli"); presenza di intercalazioni di argille grigio-azzurre (rapporto variabile da 3:1 a 1:1 verso il basso).
- m 23-79 Argille marnoso-siltose, grigio-chiare, con sottili (2-5 cm di spessore; frequenza 1 ogni 1-1.5 m ca.) intercalazioni siltoso-sabbiose;

ricche di residui torbosi; da m 44 a m 59 ca. compaiono intercalazioni di argille marnose verdastre, ricche di foraminiferi planctonici ed intensamente bioturbate.

- m 79-111 Argille marnose grigio-chiare, con sottili (2-4 cm ogni m ca.) livelli sabbiosi, ed intercalazioni di argille marnose verdastre, ricche di foraminiferi planctonici (spessore 2-5 cm; frequenza 1 ogni 1-1.5 m ca.).
- m 111-193 Argille marnose grigio-azzurre, con intercalazioni siltoso-sabbiose e/o sabbioso-siltose (spessore variabile da 2-5 cm nella parte alta, a 10-20 cm, raramente 30 cm, verso il basso; frequenza 1 ogni m ca.).

L'intervallo compreso tra 0 e 23 m è costituito da coltre eluvio-colluviale; i terreni compresi tra 23 e 56 m sono ascrivibili al Pleistocene; quelli compresi tra 56 a 158 m al Pliocene medio; quelli tra 158 a 192 m al Pliocene inferiore.

7.2.7. Sondaggio AN 7 (Fig. 7.9)

E' ubicato a circa 30 m dal mare; ha una profondità di 123 m ed è strumentato con 2 piezometri di Casagrande e tubo inclinometrico

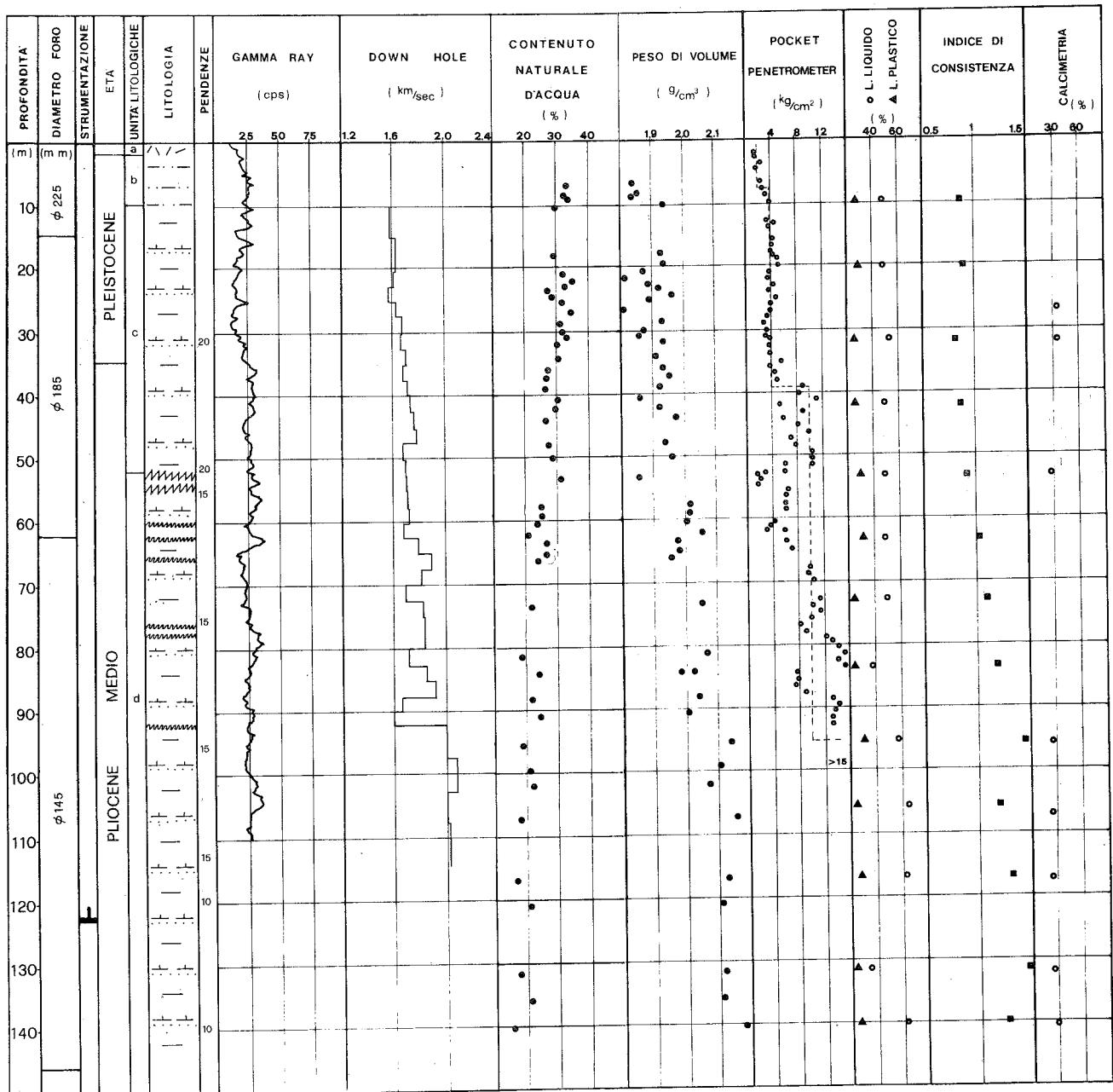


Fig. 7.7 - Dati stratigrafici, geognostici, geofisici e geotecnici relativi al sondaggio AN 5.
Stratigraphic, geognostic, geophysical and geotechnical data of AN 5 borehole.

Servizi geofisici: γ -ray.

Diametri di perforazione: \varnothing 225 mm sino a 14 m; \varnothing 145 mm sino a fondo foro.

Rivestimenti provvisori: \varnothing 225 mm, sino a 14 m; \varnothing 185 mm, sino a 110 m.

L'uso del rivestimento provvisorio si è reso necessario per contenere i franamenti dei livelli sabbiosi contenenti acque in forte pressione. A 51 e a 71 m di profondità sono stati osservati livelli caotici con presenza di superfici lisce, e fratture sub-verticali (Fig. 7.5).

I valori di P.P. risultano inferiori a 15 kg/cm² nei primi 30 m di foro e attorno ai 50 m di profondità, profondità alla quale il contenuto d'acqua subisce un sensibile incremento (28%). Il LP ha valori costanti at-

torno al 27%, il LL, varia con la profondità e giunge al 75% circa tra i 20 ed i 65 m di profondità.

Il livello idrico durante la perforazione ha subito un incremento con l'avanzamento del sondaggio, passando da 9,5 a 4 m dal p.c. L'installazione di 5 piezometri ha consentito di mettere in evidenza i valori delle pressioni interstiziali, crescenti con la profondità a partire da valori coincidenti in pratica con il p.c., per i livelli di 30 m di profondità, a valori di + 17 m sul piano campagna, per i livelli a 117 m di profondità (Fig. 7.10).

Stratigrafia

- m 0-2 Terreno di riporto.
- m 2-12 Argille siltose, giallo-ocree, con sottili (2-5 cm di spessore frequenza 1 ogni m ca.) in-

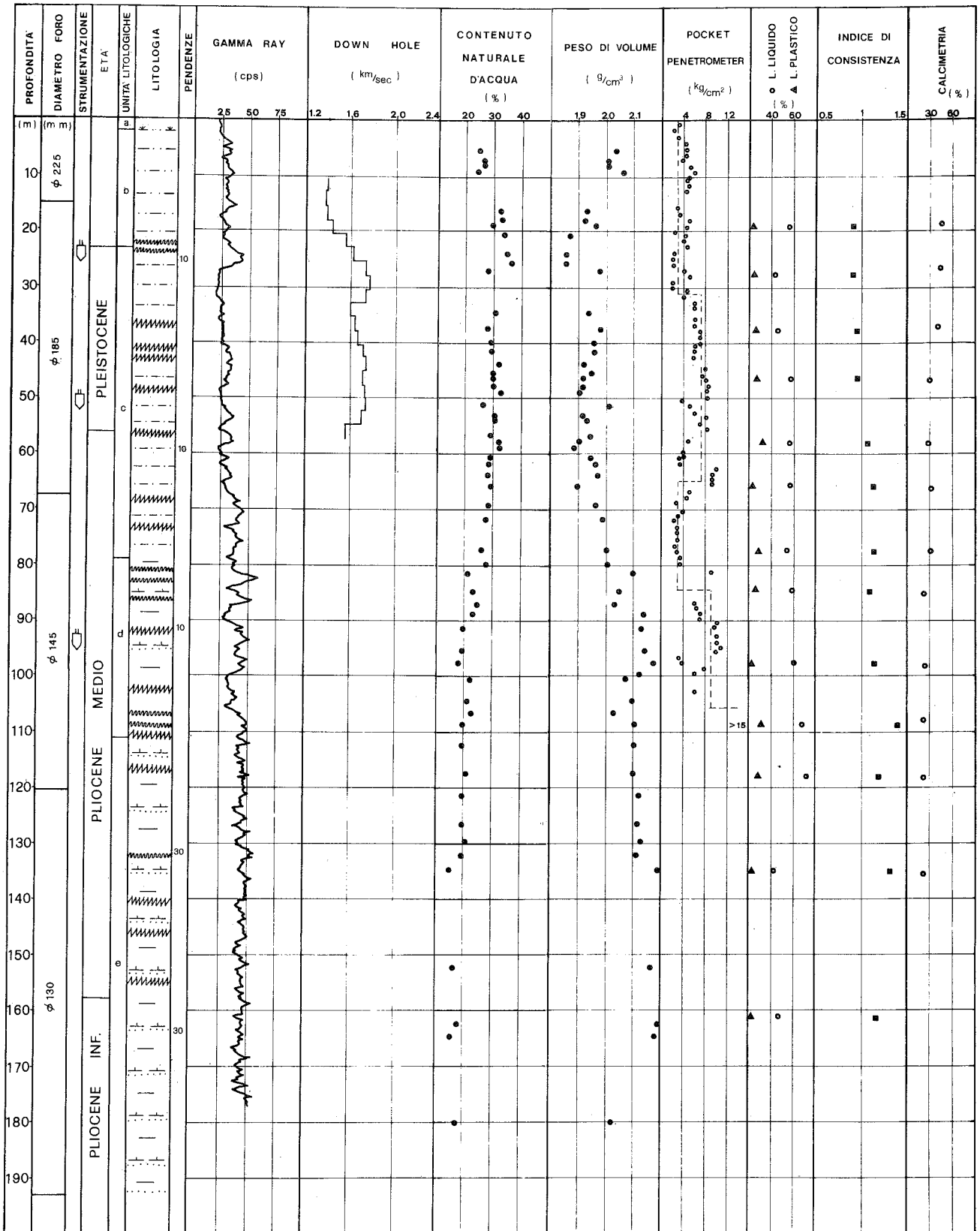


Fig. 7.8 - Dati stratigrafici, geognostici, geofisici e geotecnici relativi al sondaggio AN 6.
 Stratigraphic, geognostic, geophysical and geotechnical data of AN 6 borehole.

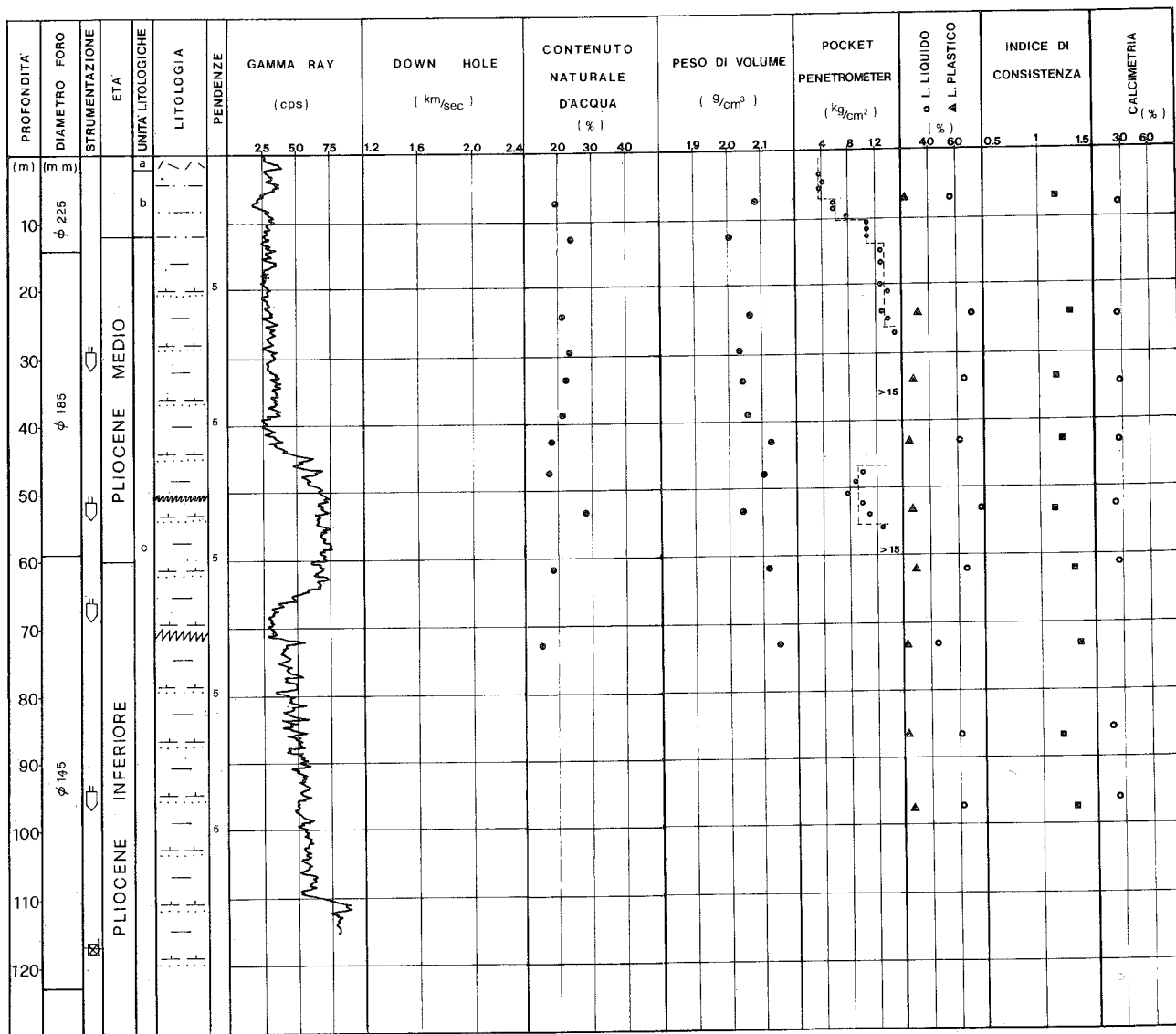


Fig. 7.9 - Dati stratigrafici, geognostici, geofisici e geotecnici relativi al sondaggio AN 7.
Stratigraphic, geognostic, geophysical and geotechnical data of AN 7 borehole.

tercalazioni di argille marnose verdastre, ricche di foraminiferi planctonici ed intensamente bioturbate; presenti sottili (2-5 cm, frequenza 1 ogni m ca.) intercalazioni siltoso sabbiose; aspetto generale caoticizzato.

m 12-123 Argille marnose, grigio-azzurre, con intercalazioni siltoso-sabbiose e/o sabbioso-siltose (spessore ca. 4-10 cm; frequenza 1 ogni m ca. fino a m 30 dal p.c.); procedendo verso il basso lo spessore della frazione sabbiosa aumenta (40-60 cm) ed il rapporto sabbia/argilla diventa 1/1.

L'intervallo compreso tra 0 e 12 m ca. è costituito da coltre eluvio-colluviale; i terreni compresi tra 12 e 60 m sono ascrivibili al Pliocene medio; quelli tra 68 e 123 m al Pliocene inferiore.

7.2.8. Sondaggio AN 8 (Fig. 7.11)

Ubicato in prossimità del mare nella parte occi-

dentale del corpo in frana; ha una profondità di 73,50 m ed è attrezzato con 2 piezometri elettro-pneumatici a 71,50 e 55 m dal p.c., e tubo inclinometrico, sino a 37 m.

Servizi geofisici: γ -ray.

Diametri di perforazione: \varnothing 225 mm, sino a 3.50 m; \varnothing 185 mm, sino a 49 m; \varnothing 145 mm, sino a fondo foro.

Rivestimenti provvisori: \varnothing 225 mm, sino a 4 m; \varnothing 185 mm, sino a 50.5 m.

Frequenti scavernamenti degli strati sabbiosi contenenti acque in pressione, hanno richiesto la necessità del rivestimento per quasi tutta la lunghezza del foro.

Superfici lisce sono state osservate sui campioni a 57 m di profondità.

I valori di P.P. crescono con la profondità, da un minimo di 4 nei primi metri di sondaggio, si passa a 12 kg/cm γ^2 a 30 m ca. dal p.c.; a profondità maggiori superano i 15 kg/cm γ^2 .

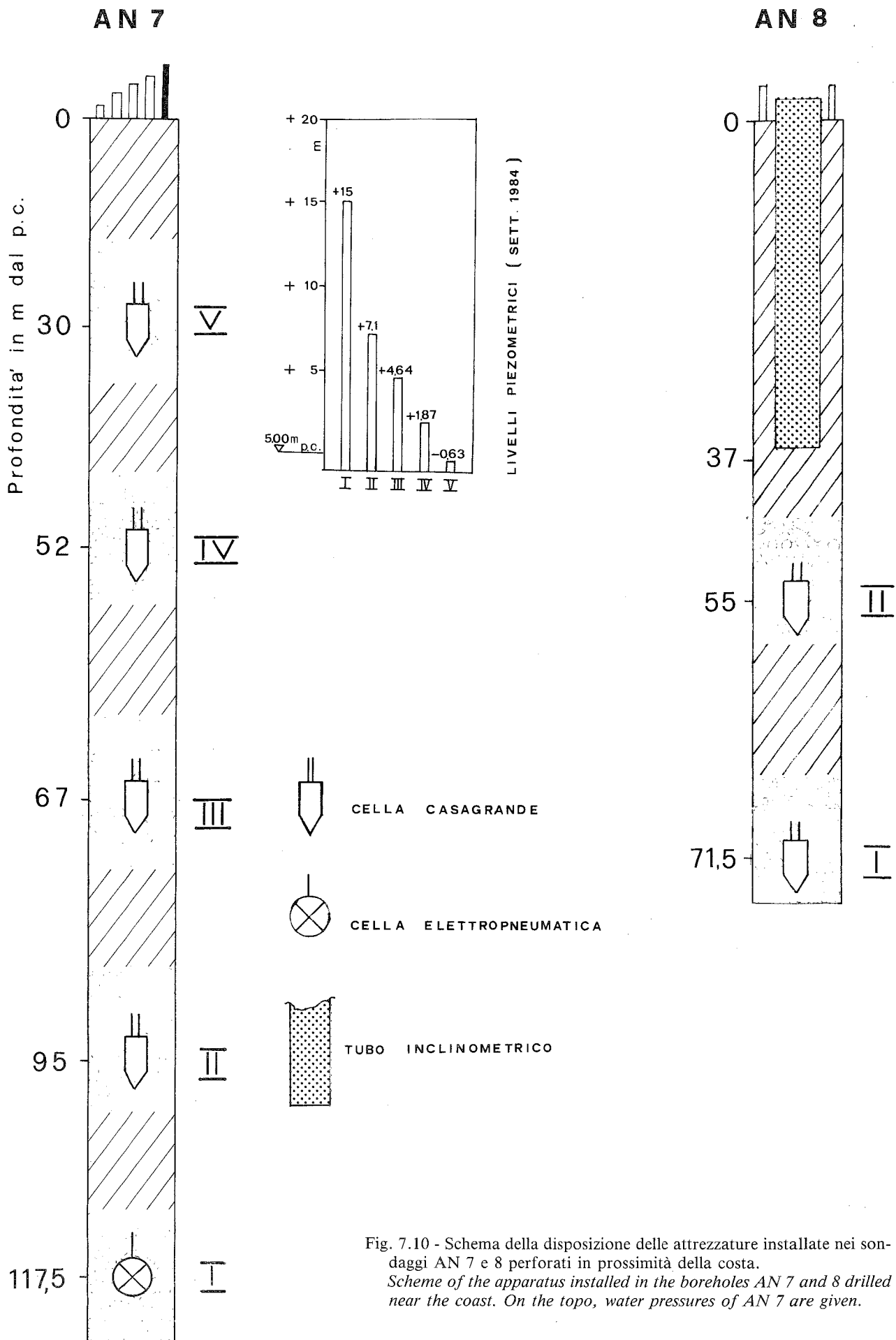


Fig. 7.10 - Schema della disposizione delle attrezzature installate nei sondaggi AN 7 e 8 perforati in prossimità della costa.
 Scheme of the apparatus installed in the boreholes AN 7 and 8 drilled near the coast. On the topo, water pressures of AN 7 are given.

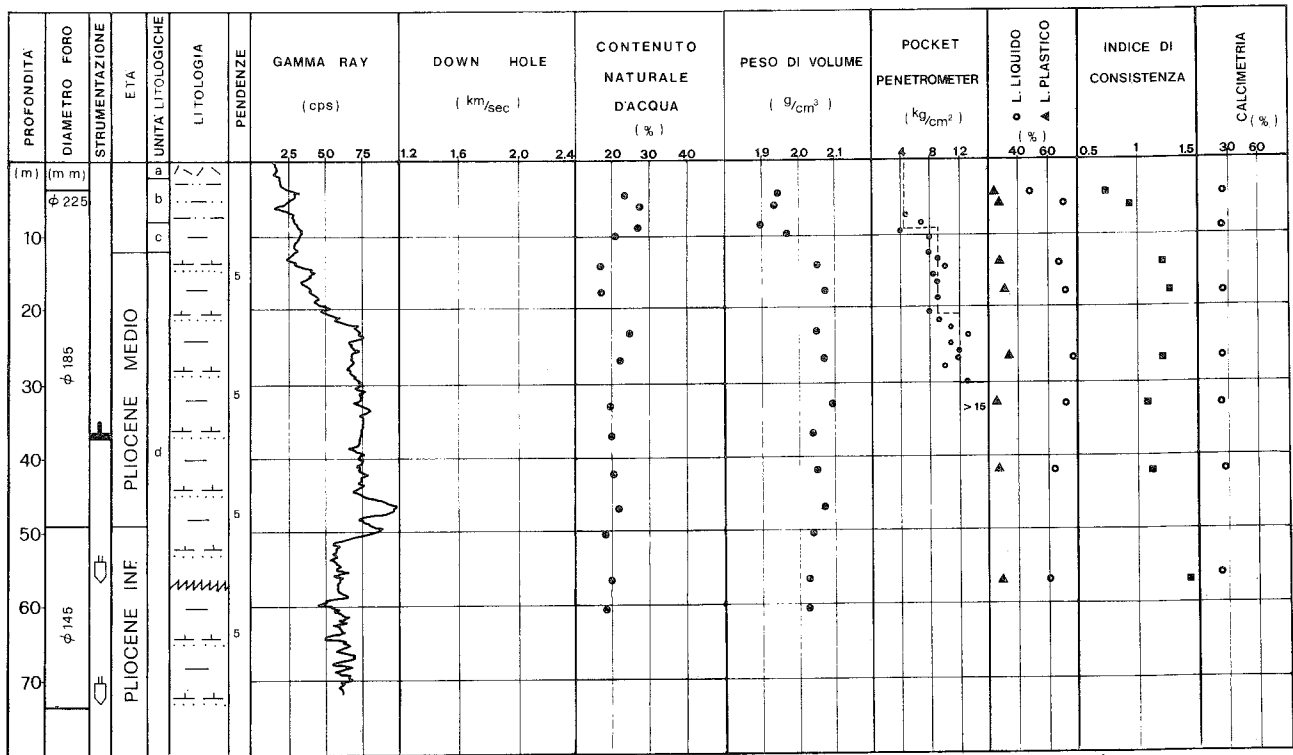


Fig. 7.11 - Dati stratigrafici, geognostici, geofisici e geotecnici relativi al sondaggio AN 8.
Stratigraphic, geognostic, geophysical and geotechnical data of AN 8 borehole.

I valori di W_n oscillano, nei primi 30 m di profondità, attorno al 22%; nella restante parte del foro si mantengono costanti attorno al 20%. I valori di LL sono circa del 75%, da 8 a 35 m di profondità, per decrescere a 60% ca. nella parte inferiore del foro.

Il livello piezometrico ha fatto registrare valori, durante la perforazione di -10 e -0,50 m dal p.c., quello misurato nei livelli di 55 e 71,50 m dal p.c., per mezzo di piezometri di Casagrande risulta rispettivamente di +2,4 e +6 m sul p.c.

Stratigrafia

- m 0-2 Terreno di riporto.
- m 2-8 Argille siltose giallo-ocree, fortemente alterate, con intercalazioni siltoso-sabbiose (4-10 cm di spessore; frequenza 1 ogni m ca.); aspetto caoticizzato.
- m 8-12 Argille marnose grigio-azzurre, con intercalazioni di argille marnose verdastre (spessore 4-6 cm; frequenza 1 ogni m ca.), ricche di foraminiferi planctonici; da 10 a 10,50 m ca. è presente un livello di argille marnose grigio-scure, con residui torbosi.
- m 12-73,50 Argille marnose grigio-azzurre, con intercalazioni siltoso-sabbiose e/o sabbioso siltose (spessore 10-12 cm; frequenza 1 ogni m ca.); il contenuto in sabbia e lo spessore della frazione sabbiosa aumentano procedendo verso il basso, fino a 20-30 cm di spessore.

L'intervallo compreso tra 0 e 12 m è costituito da coltre eluvio-colluviale; i terreni compresi tra 12 e 49

m sono ascrivibili al pliocene medio; quelli compresi tra 49 e 73 m al Pliocene inferiore.

7.2.9. Sondaggio AN 9 (Fig.7.12)

Ubicato nella parte ovest del corpo in frana a circa 30 m dal mare, ha una profondità di 131.5 m ed è attrezzato con un piezometro tipo Casagrande a 129 m dal p.c. e tubo inclinometrico sino a 122 m di profondità.

Servizi geofisici: γ -ray.

Diametri di perforazione: \varnothing 225 mm, sino a 15 m; \varnothing 185 mm, sino a 42 m; \varnothing 145 mm, sino a 122.5 m; \varnothing 130 mm, sino a fondo foro.

Rivestimenti provvisori: \varnothing 225 mm, sino a 15 m; \varnothing 185 mm, sino a 46.5 m.

I terreni attraversati hanno caratteri geotecnici generalmente scadenti sino a 75 m di profondità. Numerose superfici lisce e livelli fratturati sono stati osservati da 23 a 75 m dal p.c.; altri livelli con superfici lisce, ma con meno frequenza, sono stati osservati sino a 100 m di profondità.

I valori di P.P. sono attorno a 4 kg/cm² sino a 20 m dal p.c., sempre inferiori a 15 kg/cm² sino a 70 m di profondità.

Il contenuto d'acqua si mantiene attorno al 30% per i primi 30 m circa di foro e superiore al 20%, sino a 100 m di profondità. I valori di LL e LP risultano costanti con la profondità.

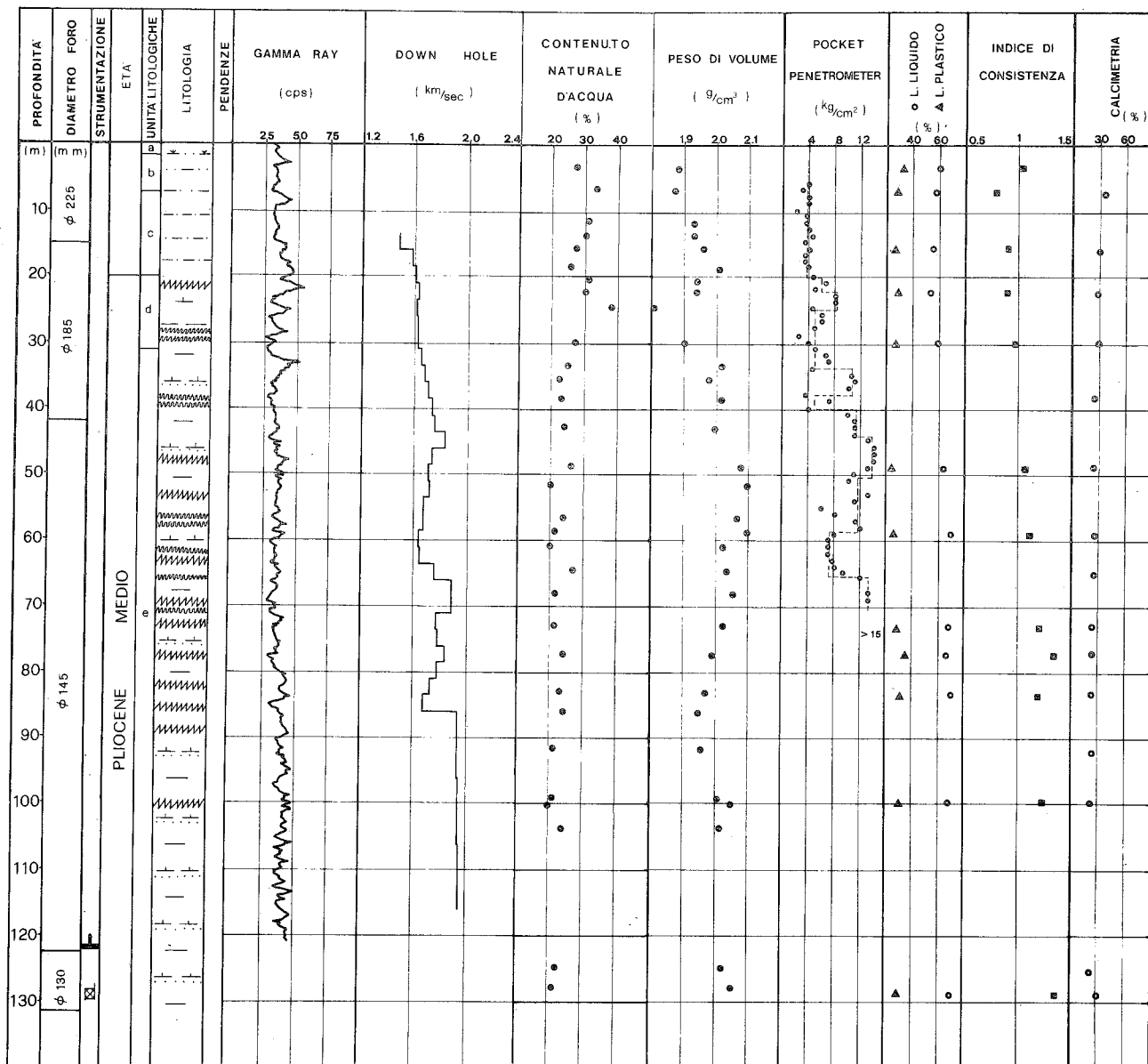


Fig. 7.12 - Dati stratigrafici, geognostici, geofisici e geotecnici relativi al sondaggio AN 9.
Stratigraphic, geognostic, geophysical and geotechnical data of AN 9 borehole.

Il livello piezometrico si è assestato a circa 11 m dal p.c. durante la perforazione. L'osservazione del piezometro di Casagrande, posto a 129 dal p.c. ha mostrato che il livello piezometrico relativo alla quota citata risulta sempre inferiore a 60 m dal p.c.

Stratigrafia

- m 0-2 Terreno agrario.
- m 2-7 Argille siltose giallo-ocracee, con spalmature millimetriche di colore grigio-azzurro, ricche di frustoli vegetali e di concrezioni carbonatiche ("calcinelli").
- m 7-20 Argille grigio-chiare, con frustoli vegetali sparsi ed intercalazioni millimetriche di argille siltose, ocracee; da 9,50 M è presente una gran quantità di residui torbosi.
- m 20-31 Alternanze di argille marnose grigio-chiare, con residui torbosi, ed argille marno-

se verdastre ricche di foraminiferi planctonici (spessore 2-5 cm; frequenza i ogni m ca.).

m 31-131.50 Argille marnose grigio-azzurre con intercalazioni siltoso-sabbiose (spessore crescente verso il basso, da 2-5 cm a 1-15 cm; frequenza 1-2 ogni m ca.).

L'intervallo da 0 a 20 m è costituito da coltre eluvio-colluviale; i terreni compresi tra 20 e 110 m sono riferibili al Pliocene medio, quelli sottostanti al Pliocene inferiore.

7.2.10. Sondaggio AN 10 (Fig. 7.13)

Ubicato nell'abitato di Posatora, parte orientale del corpo in frana ha una profondità di 40,5 m ed è attrezzato con tubo per carotaggi di densità e umidità con sonde nucleari.

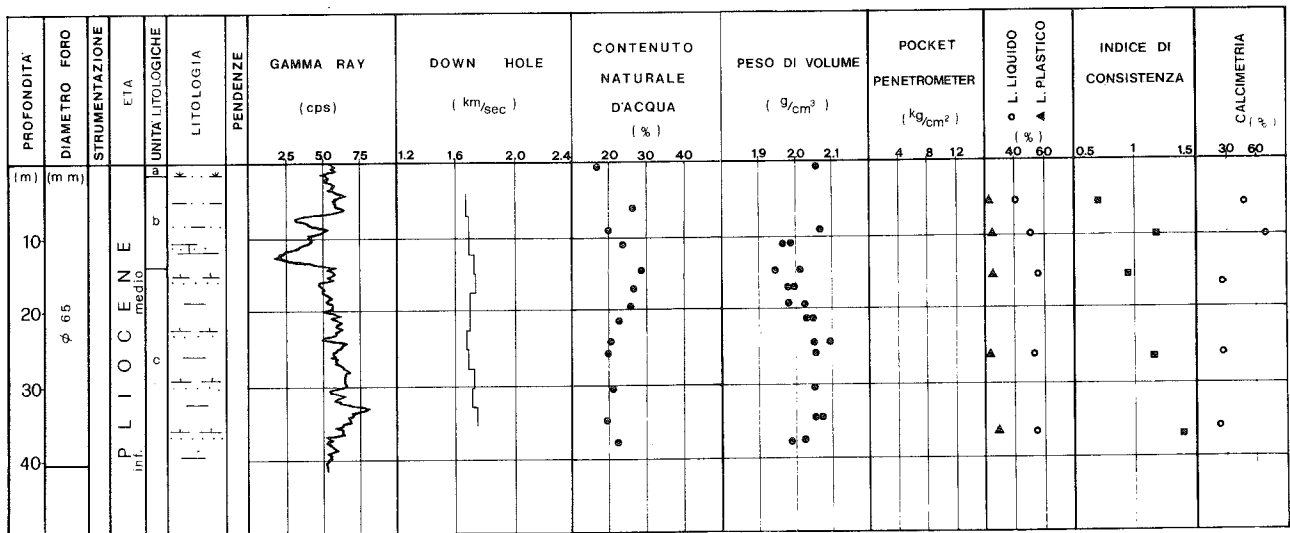


Fig. 7.13 - Dati stratigrafici, geonostici, geofisici e geotecnici relativi al sondaggio AN 10.
Stratigraphic, geonostic, geophysical and geotechnical data of AN 10 borehole.

Servizi geofisici: γ -ray e carotaggio sismico.

Diametri di perforazione: \varnothing 65 mm sino a fondo foro.

Rivestimenti permanenti: \varnothing 57/65 mm sino a 39,5 m.

Il sondaggio è stato eseguito a distruzione per cui non è stato possibile effettuare le osservazioni sulle carote come per gli altri sondaggi.

I valori delle velocità delle onde sismiche sono bassi per tutta la lunghezza del sondaggio (1,7 km/s).

Stratigrafia

- m 0-1 Terreno agrario.
- m 1-14 Alternanze di argille marnoso-siltose grigio-chiare ed ocracee, sabbie e/o calcareniti.
- m 14-40,50 Argille marnose grigio-azzurre con intercalazioni siltoso-sabbiose.

L'intervallo da 0 a 14 m è costituito da coltre eluvio-colluviale, poggiante direttamente su argille del Pliocene medio, presenti fino a m 28. Da questa profondità inizia il Pliocene inferiore.

7.3. INDAGINI IN FORO E STRUMENTAZIONI

Come si è visto, in tutti i sondaggi sono state condotte misure geofisiche e tranne che per tre in tutti sono state installate attrezzature per misure inclinometriche.

E' stata inoltre attrezzata una stazione pluviografica per il controllo della piovosità dell'area.

7.3.1. Carotaggio della radioattività naturale

In tutti i fori è stato eseguito il carotaggio della radioattività naturale gamma (γ -ray) emessa dalle rocce, allo scopo di meglio definire la distribuzione dei li-

velli sabbiosi in seno alle formazioni argillose plio-pleistoceniche e la caratterizzazione di "livelli guida" utilizzati per le correlazioni stratigrafiche, in appoggio ai dati provenienti dalle determinazioni micropaleontologiche.

7.3.2. Carotaggio sismico e sonico

Sono stati eseguiti n. 8 carotaggi sismici (tiri di velocità) dalla Geoinvest di Piacenza ed un carotaggio sonico ed uno sismico dalla Ismes di Bergamo, allo scopo di definire lo spessore dell'ammasso mobilizzato dalla frana, che presenta in genere caratteri geomeccanici più scadenti di quelli relativi alla roccia in posto. Lo scopo dell'esecuzione dei tiri di velocità in foro (*down-hole*) è stato anche quello di produrre una ulteriore verifica dei dati ottenuti mediante le osservazioni visive e le varie analisi geotecniche condotte sui campioni estratti. Su queste registrazioni geofisiche si veda anche la nota di CASSINIS *et alii* (presente volume).

7.3.3. RegISTRAZIONI piezometriche

Dai dati riportati risulta che la successione stratigrafica dei terreni che costituiscono l'area della frana, è data da un'alternanza di argille e sabbie limose del Pliocene inferiore e medio, da argille, sabbie ed arenarie ascrivibili al Pleistocene e dai limi argillosi, con frequenti blocchi e frammenti di arenarie, che costituiscono le coltri eluvio-colluviali presenti in tutta l'area, con spessori variabili sino a 40 m circa.

Il comportamento idraulico di questi terreni è eterogeneo e variabile nel tempo. I caratteri di permeabilità, ovunque scarsi, possono aumentare considerevolmente in seguito a lunghi periodi di siccità, che provocano una intensa fessurazione della roccia, sino a qualche metro di profondità. Anche in corrispondenza delle superfici di taglio sub-verticali, che smembrano in più punti il corpo franoso, la permeabilità può assumere valori molto elevati. Dette superfici possono costitui-

re, in alcuni casi, delle vie preferenziali per l'infiltrazione d'acqua sino a notevoli profondità.

La trasmissione delle pressioni interstiziali in seno al corpo di frana sarebbe assicurata dalla presenza dei livelli sabbioso-limosi, la cui frequenza e spessore aumentano con la profondità.

Allo scopo di verificare i valori delle pressioni interstiziali, sia in senso verticale che lateralmente, sono stati attrezzati n. 5 sondaggi con dieci piezometri irraulici del tipo "Casagrande" e due del tipo elettropneumatico.

La profondità dei livelli sabbioso-limosi e calcarenitici, intercalati nelle formazioni argillose plio-pleistoceniche, ed il rilievo giornaliero dei valori dei livelli idrici nei fori, sono risultati utili alla scelta dei punti maggiormente idonei per la sistemazione dei piezometri.

In Fig. 7.10 sono state indicate le modalità adottate per l'installazione dei vari piezometri.

I dati delle misure piezometriche condotti a scadenza mensile indicano quasi ovunque valori delle pressioni interstiziali artesiane crescenti con la profondità. Tali valori, lungo la fascia costiera e la fascia che corre subito a monte della collina di Posatora, sono prossimi al piano di campagna anche per i livelli situati a poche decine di metri di profondità. In prossimità della costa si registrano valori notevolmente prevalenti sui p.c. a partire da 50 m di profondità. A 117,5 m di profondità sono state registrate altezze di 15 m sul p.c., con escursioni di 5 m (Fig. 7.14).

Fa eccezione la fascia situata in prossimità della corona di distacco della frana, dove i livelli piezometrici, misurati nei sondaggi AN 3 (piezometro elettropneumatico) e AN 9 (piezometro tipo Casagrande), indicano valori di -75 m dal p.c.

Nel sondaggio AN 7, dove sono stati installati 5 piezometri (Fig. 7.10) si registrano valori crescenti con la profondità e con altezze prevalenti sui p.c., salvo che per il livello situato a 30 m di profondità (Fig. 7.15). Il sondaggio AN 8, attrezzato con due piezometri tipo Casagrande a 55 e 71 m dal p.c., fa registrare anch'esso valori fortemente crescenti con la profondità.

Il sondaggio AN 6, presenta andamenti delle altezze piezometriche decrescenti nel tempo per i livelli a 51 e 95 m di profondità e, gradiente di pressione negativo con la profondità, tra 52 e 95 m. I valori dei livelli piezometrici, per i livelli di 24,51 e 95 m, risulta-

no nel mese di settembre 1984, pari a -4, -2 e -6 m dal p.c. (Fig. 7.15).

I sondaggi AN 3 e AN 9, attrezzati con un solo piezometro alle profondità di 114,5 e 122 m, danno entrambi valori bassi delle altezze piezometriche. Il livello idrico misurato nel sondaggio AN 3, tramite piezometro elettropneumatico, dà valori corrispondenti a -75 m dal p.c. quello relativo al pozzo AN 9, controllato con piezometro tipo Casagrande, risulta costantemente inferiore a 60 m dal p.c. L'area è stata attrezzata con un pluviografo SIAP Tipo UM, che dal 1 Febbraio 1983 ha fornito i dati pluviografici utilizzati nelle relazioni afflussi/altezze piezometriche, di cui si dirà più avanti.

L'altezza media di pioggia che caratterizza l'area è di circa 830 mm annui, ripartita su tutto l'arco dell'anno, con massimi in ottobre, novembre e dicembre e, minimi, in luglio e agosto. (Ministero Lavori Pubblici, Annali Idrologici).

Le altezze di pioggia relative ai quattro mesi che hanno preceduto il movimento franoso risultano pari a 550 mm circa, di cui oltre 160 mm caduti una decina di giorni prima dell'evento (Fig. 7.16).

Le variazioni dei livelli idrici in funzione delle piogge, appaiono marcate per alcuni livelli e praticamente impercettibili per altri. Il livello a 24 m di profondità del pozzo AN 6, ad esempio, mostra variazioni, anche di 1,30 m, con ritardi di almeno un mese, in seguito ad abbondanti piogge. Anche il livello a 30 m del pozzo AN 7 risente dei maggiori afflussi meteorici, ma con escursioni minori (Fig. 7.15).

Le maggiori escursioni sono state registrate nei due livelli più profondi dei pozzi AN 7 e AN 3, attrezzati con piezometri elettropneumatici (Fig. 7.17).

7.3.4. Misure inclinometriche

Sono stati attrezzati n. 7 sondaggi con tubi inclinometrici in alluminio del tipo SIS a quattro gole, spinti a profondità variabile tra i 30 ed i 126 m dal piano campagna.

La scelta dei punti e delle profondità in cui installare i tubi inclinometrici è stata basata su considerazioni di carattere geomorfologico, tenendo conto ovviamente dei risultati ottenuti dalle prove in foro e sui campioni estratti. Lo scopo principale delle misure inclinometriche, condotte ad intervalli mensili per i pri-

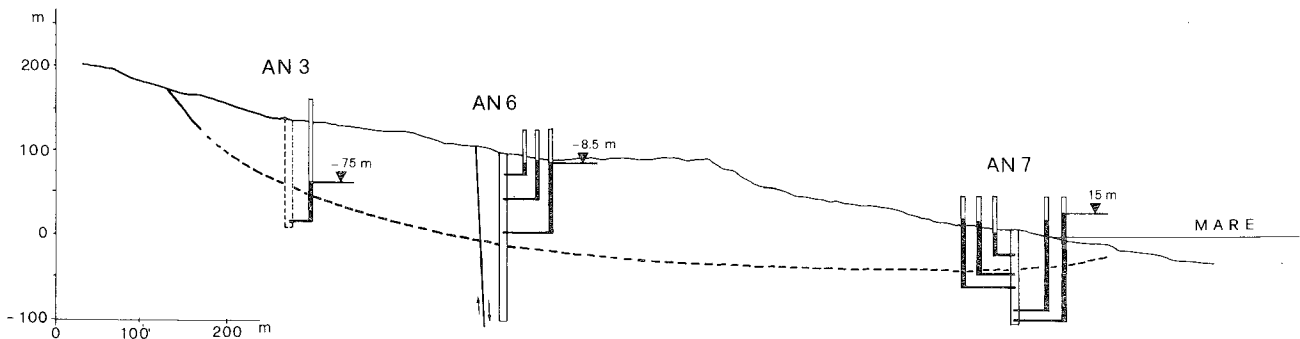


Fig. 7.14 - Sezione schematica tracciata perpendicolarmente alla costa, e indicante gli andamenti dei livelli piezometrici medi, riferiti al piano di campagna. In tratteggio è indicata la superficie di movimento della frana.

Schematic section perpendicular to the coast, showing the behaviours of piezometric levels referred to the ground surface. Hatched line indicated the deep sliding surface.

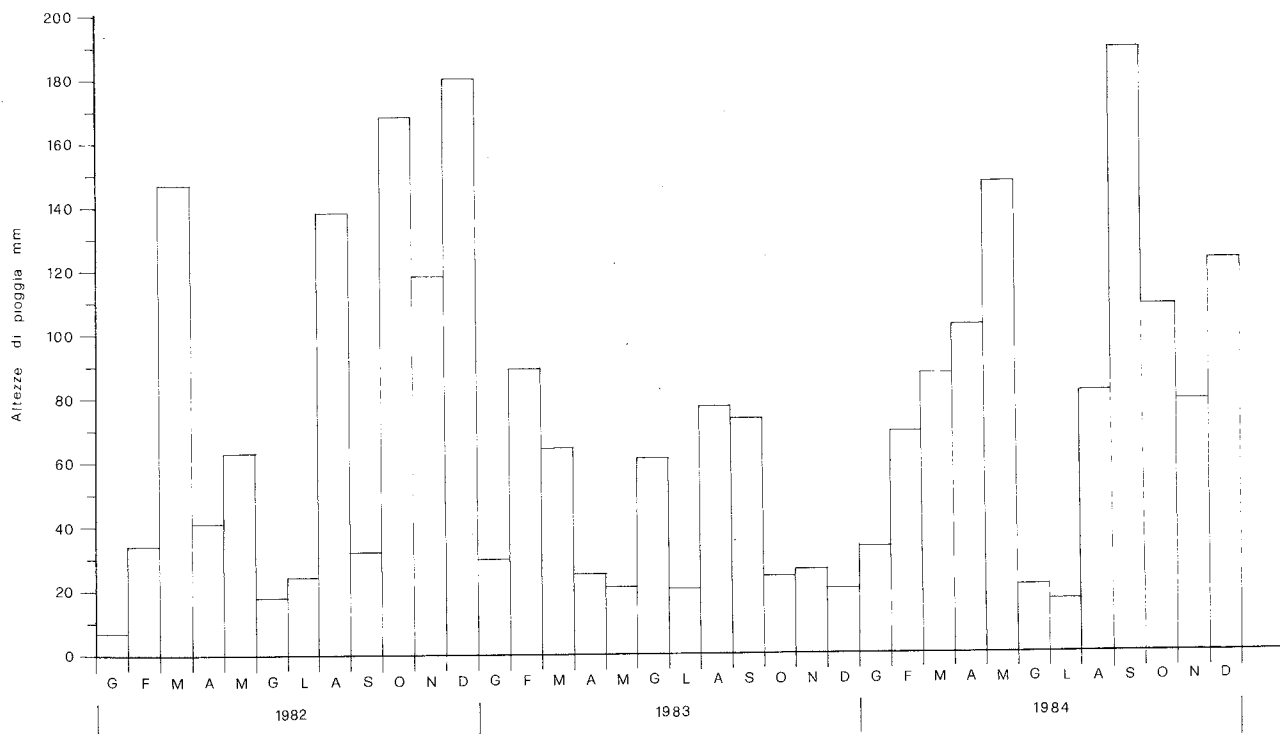


Fig. 7.15 - Altezze di piogge relative al periodo 1982-1984.
Rainfall of the area recorded during the period 1982-1984.

mi tre mesi e successivamente trimestrali per la durata totale di un anno, era di mettere in evidenza la profondità e l'entità del movimento franoso ancora in atto dopo la fase parossistica.

I risultati delle misure indicano un movimento tuttora attivo, caratterizzato da velocità che in alcuni punti hanno superato il mm/giorno durante i primi 3-5 mesi successivi al movimento franoso.

La direzione del movimento tende generalmente verso il mare, tranne nel caso del sondaggio AN 9, in cui si registra una direzione di spostamento che coincide con la massima pendenza del versante. Va sottolineato che i valori assoluti degli spostamenti sono in molti casi poco attendibili data l'iniziale non verticalità dei sondaggi. Tuttavia la rottura dei tubi, riscontrata a varie profondità in ben 5 sondaggi dopo svariati mesi di misurazioni, offre indicazioni utili per la stima dell'entità e profondità dei movimenti.

Per dettagli sui dati raccolti mediante le misure inclinometriche, si rimanda alla nota di BIANCO (presente volume).

7.4. MISURE ED ANALISI SUI CAMPIONI

Sui campioni estratti è stato effettuato un esame a vista dettagliato, misure con penetrometro tascabile, analisi peso-volume, contenuto in acqua, limiti liquido e plastico, indice di consistenza, calcimetrie, analisi granulometriche a cura del Laboratorio Geotecnico del Dipartimento di Scienze dei Materiali e della Terra dell'Università di Ancona e prove meccaniche su campioni indisturbati, a cura del Laboratorio Geotecnico dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni dell'Università di Roma.

7.4.1. Esame visuale dei campioni

L'esame visuale sui campioni condotto con grande dettaglio ha permesso di evidenziare, oltre naturalmente le caratteristiche litologiche delle successioni perforate, lo stato della roccia, in particolare per quanto riguarda la presenza di superfici di discontinuità. Sono stati così osservati livelli del tutto fratturati e caoticizzati, in cui la roccia è risultata completamente frantumata e dall'aspetto brecciato. Un esempio tipico è presentato in Fig. 7.5 ove i frammenti di marna argillosa grigio-azzurra singolarmente assai coerenti e duri, sono immersi in pasta di fondo argillosa a consistenza plastica. Si tratta certamente di una evidenza di una recente superficie di scorrimento che, data la profondità, può essere detta profonda. Altre volte sono stati esaminati livelli semplicemente fratturati non umidi, probabilmente da attribuirsi ad antiche superfici di scorrimento. Così pure sono stati osservati livelli fratturati con superfici lisce e lucide, alcuni proprio in corrispondenza di liscioni di faglia (es. Sondaggio AN 5).

Tutti questi dati, accompagnati da altri derivanti dall'osservazione del comportamento delle pareti del foro in corso di perforazione, si sono rilevati di estrema utilità per la stima della profondità, spessore e tipo del movimento franoso.

7.4.2. Misure con penetrometro tascabile

Le misure eseguite con il penetrometro tascabile tipo ST 315 ad intervalli di circa una misura ogni 20 cm circa, danno valori puramente indicativi dello stato di consistenza della roccia, trattandosi di campioni

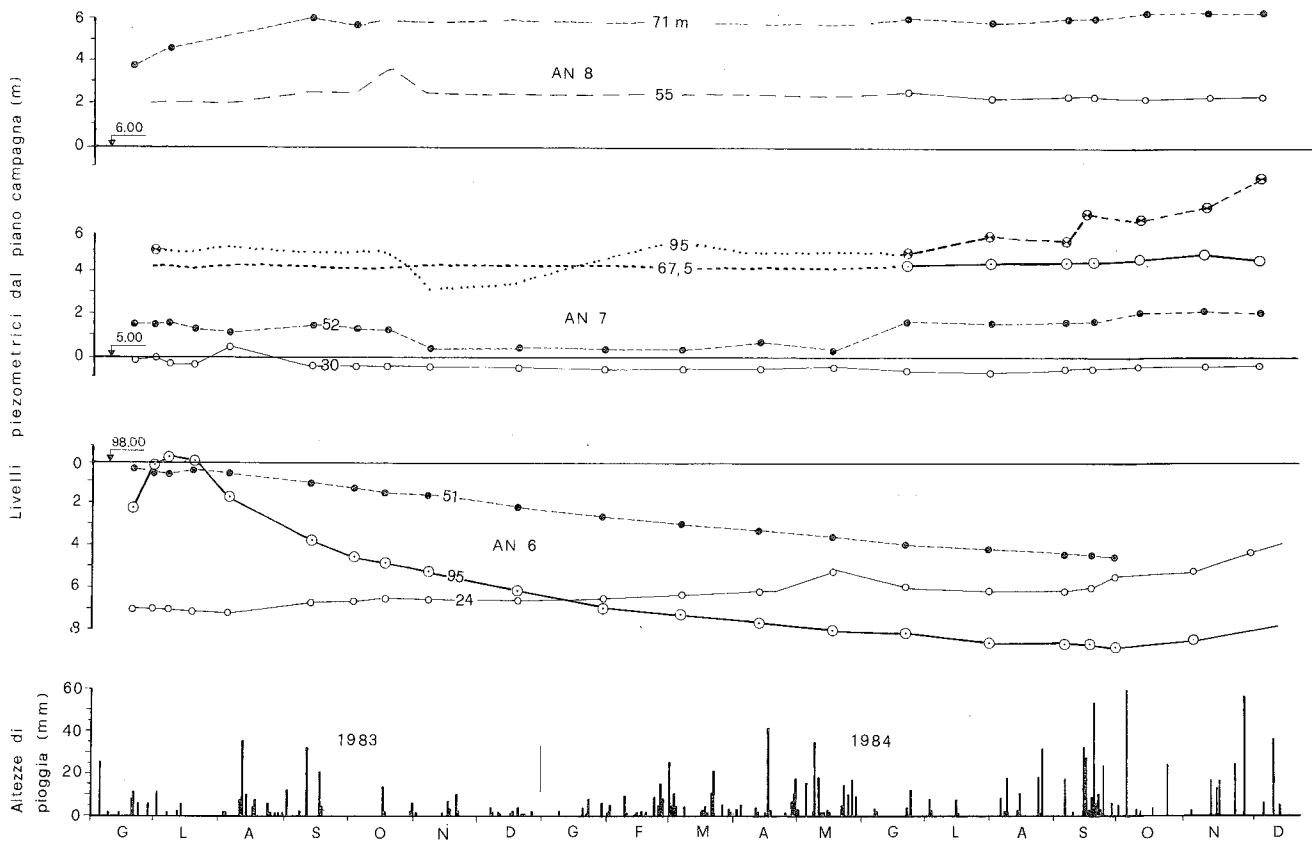


Fig. 7.16 - Andamento delle piogge e dei livelli piezometrici registrati nei sondaggi AN 6,7 e 8. I valori delle registrazioni relative al periodo settembre 1983 - giugno 1984 sono stimati a causa di perdite dai rubinetti dei piezometri o per intasamento delle celle piezometriche.

Behaviour of rainfall and groundwater pressure recorded on AN 6,7 and 8.

rimaneggiati in modo disomogeneo. Pur tuttavia tali misure hanno confermato le caratteristiche generali delle successioni perforate, come si può ricavare dalla loro correlazione con i dati sismici e con le analisi geotecniche di laboratorio, riportati nelle colonne stratigrafiche dei sondaggi.

7.4.3. Analisi geotecniche di laboratorio

Misure di peso-volume (γ_v) e umidità (W_n) sono state effettuate sulle carote con frequenza di una misura ogni 1-2 m. Sui campioni indisturbati è stata effettuata una misura non distruttiva di peso-volume, con cadenza di una misura ogni 10 cm, mediante apparecchiatura a trasmissione di radiazioni gamma emesse da una sorgente di cesio-137.

L'apparecchiatura descritta da G.S. TAZIOLI (1976), è costituita da due tubi disposti a croce e contenenti la sorgente, il rivelatore di radiazioni e le carote da analizzare, i cui diametri possono variare da 70 a 140 mm.

Sono stati altresì determinati i limiti di Atterberg, l'indice di consistenza, granulometrie e calcimetrie.

7.5. CONCLUSIONI

La campagna geognostica programmata sulla ba-

se delle evidenze geologiche e geomorfologiche di superficie, ha confermato le caratteristiche di franosità del versante del Montagnolo, che è risultato interessato da colamenti superficiali, mobilizzati nelle coltri eluvio-colluviali, e da scorrimento profondo, localizzato nel substrato pliocenico.

I dati raccolti sono numerosi e riguardano: litologia, caratteri microfossiliferi e stratigrafici, analisi geotecniche e geofisiche, misure piezometriche ed inclinometriche, ovviamente in riferimento alle successioni attraversate con i sondaggi. La correlazione di tutti questi dati ha portato a conclusioni di vario tipo, significative per confermare e precisare i risultati delle indagini di superficie, in particolare sia i dati geologici per quanto attiene alle caratteristiche stratigrafiche e strutturali dell'area, sia i dati geomorfologici relativi alle caratteristiche del fenomeno franoso, sia infine quelli geofisici (sismica a rifrazione) per la successione nel sottosuolo di intervalli a differente velocità sismica.

La correlazione dei dati stratigrafici ha confermato la situazione stratigrafica e tettonica evidenziata con le indagini di superficie, su ciò è riferito in altro capitolo di questo volume. Al di sotto di una coltre eluvio-colluviale di vario spessore (da pochi metri a qualche decina di metri) è presente un substrato plioleistocenico costituito in prevalenza da argille marnose con intercalazioni sabbiose e calcarenitico-organogene (queste ultime solo nel Pleistocene). Il Pliocene è rappresentato solo dalla cenozona a *Globorotalia* gr. *cras-*

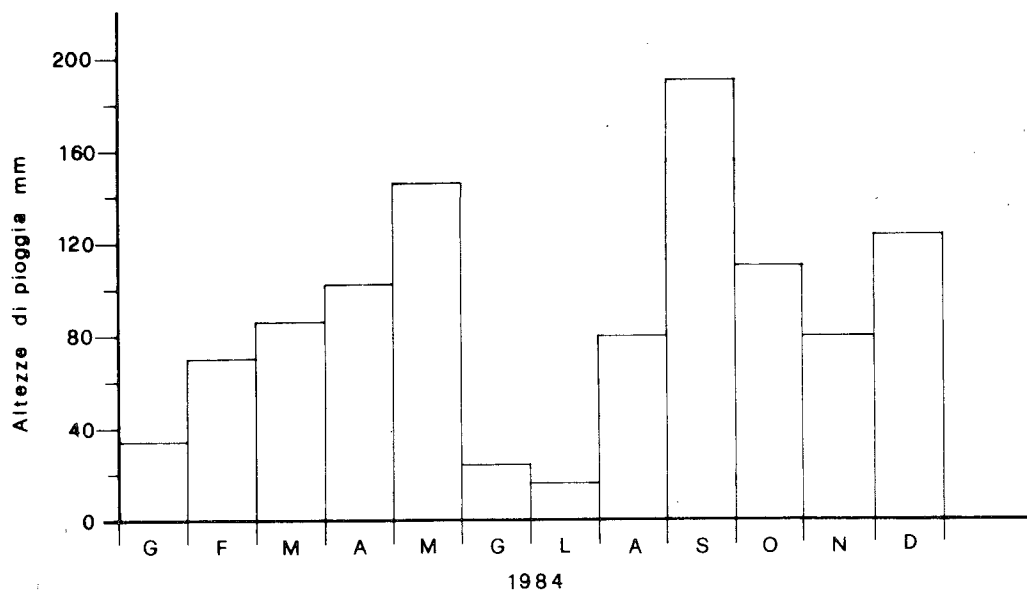
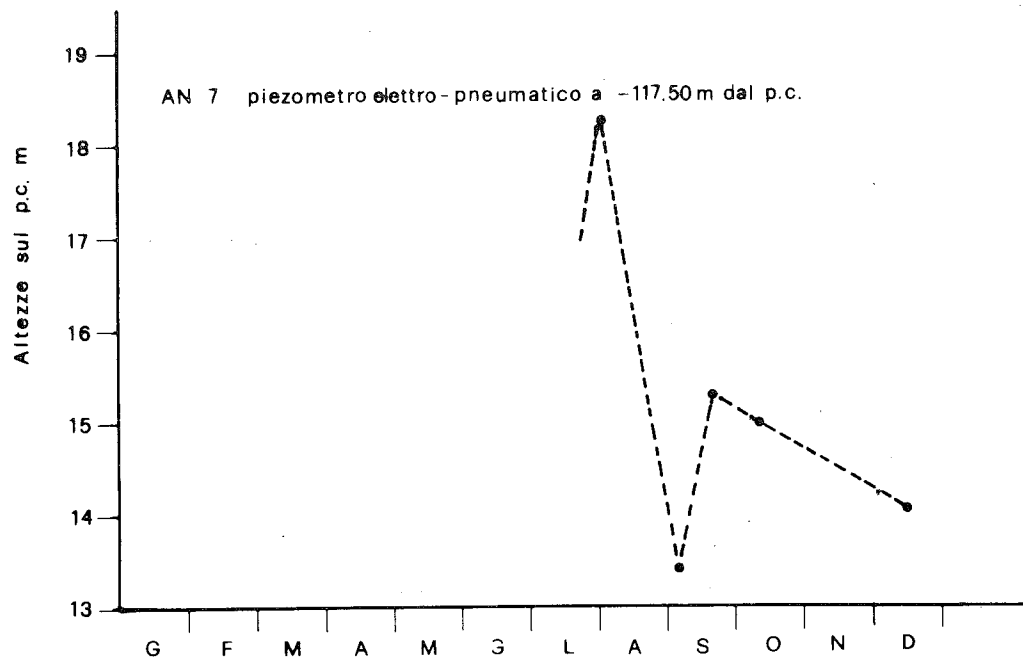
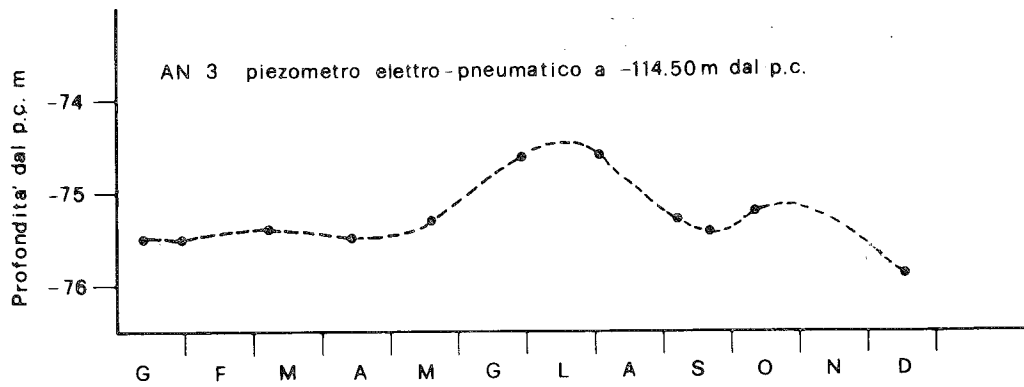


Fig. 7.17 - Andamento delle piogge e dei livelli piezometrici registrati con piezometri elettropneumatici nei sondaggi AN 3 e 7, rispettivamente a 114,5 e a 117,5 m di profondità.
Rainfall and groundwater pressures recordered in AN 3 and 7 boreholes at 114.5 and 117.5 m from the ground surface.

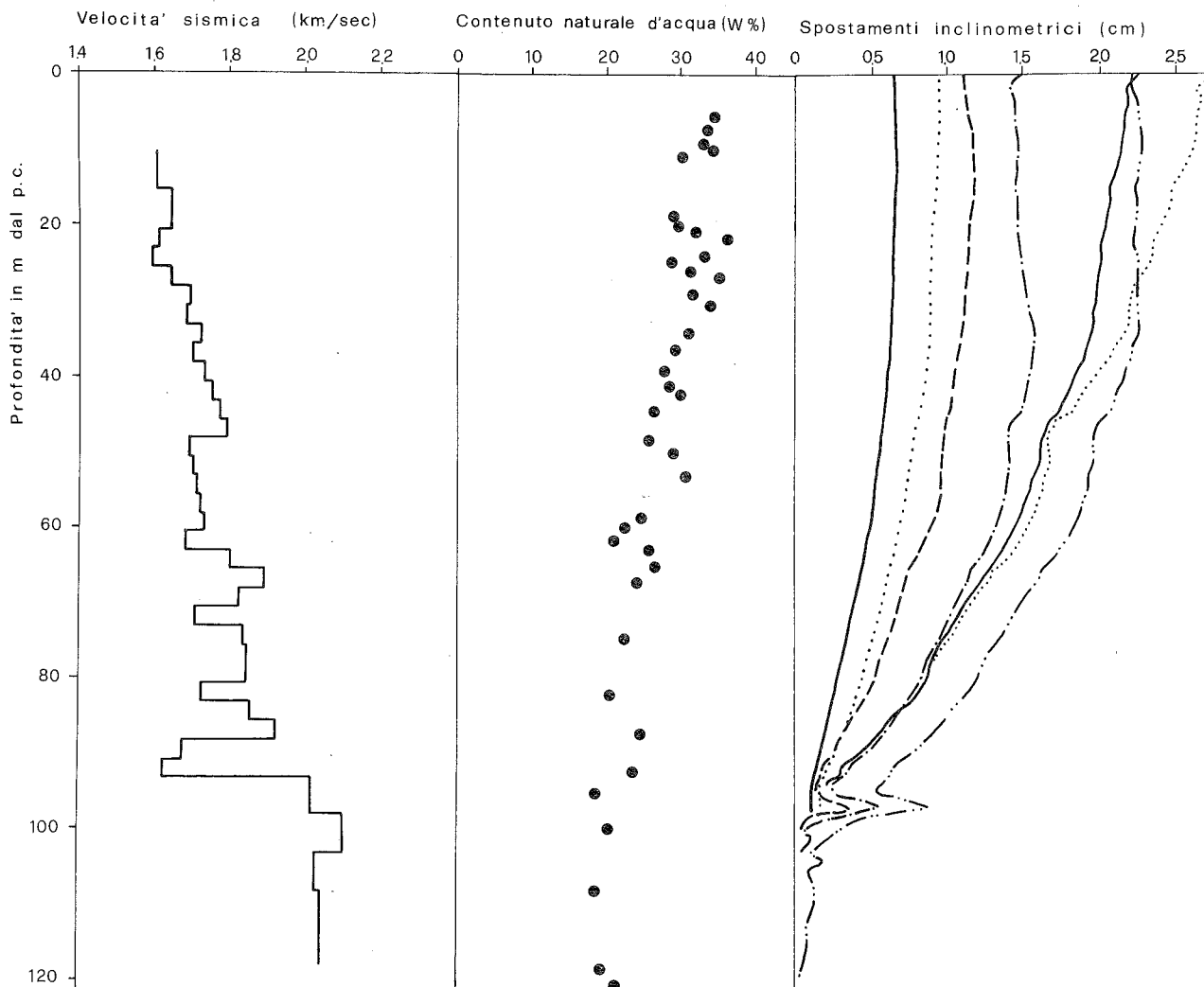


Fig. 7.18 - Andamento delle onde sismiche, dei contenuti d'acqua e delle deformate inclinometriche, relativo al sondaggio AN 5.

Behaviour of seismic velocities, rock moisture and inclinometric curves in the borehole AN 5.

saformis (Pliocene medio) e dalla cenozona a *Globorotalia puncticulata* (Pliocene inferiore). Le correlazioni delle successioni attraversate dai sondaggi sono riportate in Fig. 7.21. Tali correlazioni, basate sui dati litologici, micropaleontologici e sui log ottenuti con il γ -ray, confermano la faglia ubicata immediatamente a monte del trench di Posatora e parallela alla costa, e quella circa perpendicolare alla precedente il cui prolungamento a mare limita verso ovest e nord-ovest il promontorio di San Ciriaco.

Nei sondaggi AN 1,3,5 e 9 (vedi Fig. 7.22) appare interessante la correlazione tra la variazione del contenuto naturale d'acqua (W_n) misurato nei campioni e la variazione della velocità delle onde sismiche registrate con il down-hole. Si può così osservare che a velocità sismiche superiori a 2.0 Km/sec corrispondono valori di W_n minori del 20-25%. Contenuti d'acqua superiori al 25% corrispondono invece a velocità minori ad 1.8 km/sec. Gli intervalli stratigrafici corrispondenti a questi ultimi valori, comprendono l'intervallo intermedio definito con la sismica a rifrazione (vedi CASSINIS *et alii*, presente volume); nel loro ambito sono ubicate le su-

perfici di discontinuità quali fratture, livelli caoticizzati e livelli lisciati e lucidi, evidenziate con l'analisi visuale delle carote. E' perciò verosimile ammettere che il movimento franoso profondo non ha interessato la successione pliocenica caratterizzata da velocità delle onde sismiche superiore a 2.0 km/sec e W_n minore del 20-25%.

Nei sondaggi AN 2 e 4, la correlazione tra velocità delle onde sismiche e contenuto naturale d'acqua è meno evidente; siamo però in presenza di zone ormai al margine del grande evento franoso.

Un dettaglio di quanto finora detto e relativo al sondaggio AN 5, è riportato in Fig. 7.18, ove pure sono riportate le deformate inclinometriche che evidenziano una superficie di movimento in profondità anche dopo la fase critica del 13 dicembre 1982. Del resto, nel corso della perforazione di questo sondaggio si sono avute notevoli difficoltà e la perdita della batteria di aste quando si era alla profondità di m 147. Analogamente è da registrare in AN 6, quando la perforazione era a 200 m. Ambedue i sondaggi sono sull'allineamento Piazza Padella - Cimitero di via Grotte.

Infine nelle sezioni delle Figg. 7.19 e 7.20, è ri-

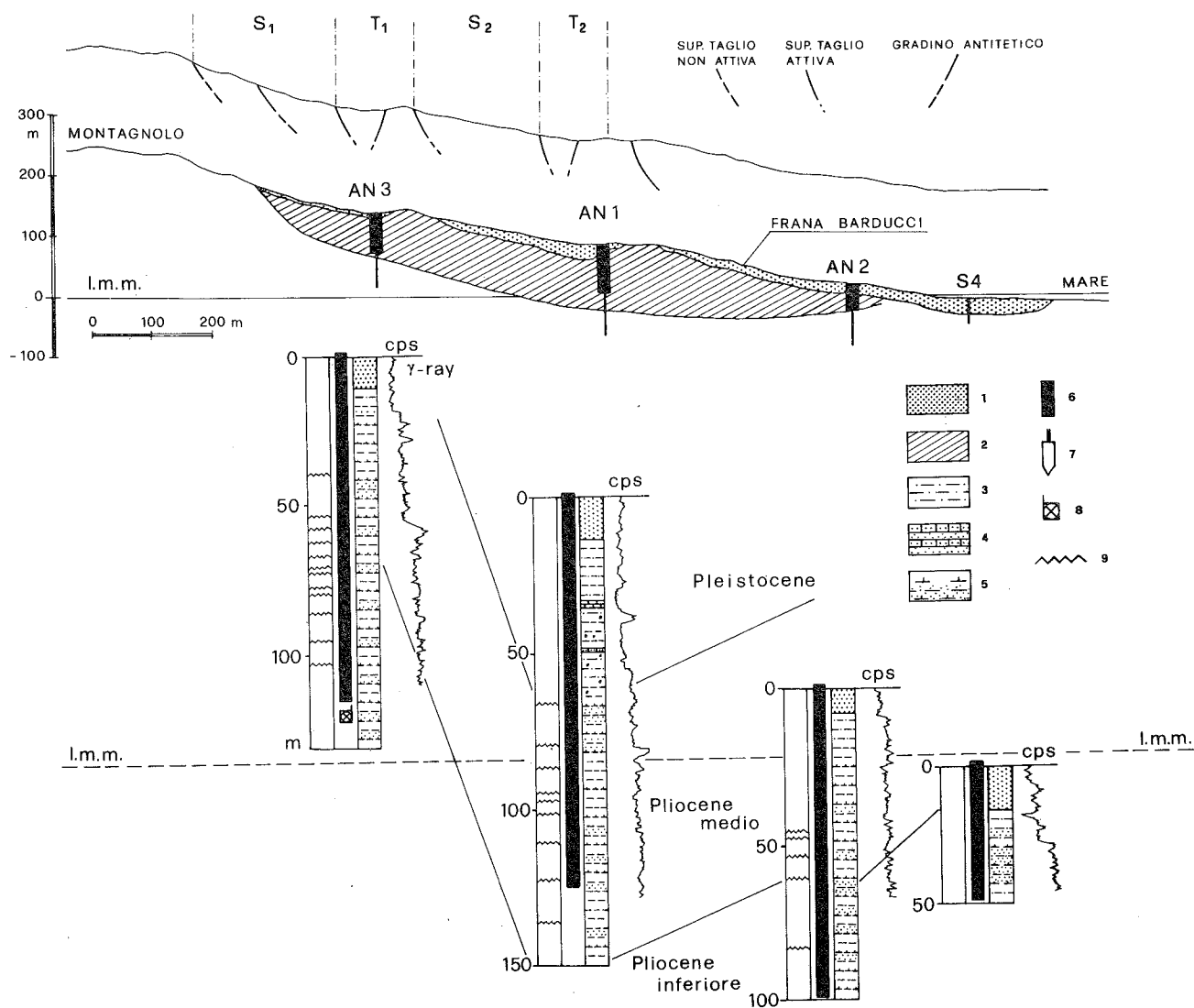


Fig. 7.19 - Sezione schematica tracciata dal Montagnolo al mare. In alto, schema morfologico della frana. 1: coltri eluvio-colluviali; 2: argille interessate dal movimento franoso profondo; 3: argille marnoso-siltose; 4: sabbie e calcareniti organogene; 5: argille marnose con intercalazioni siltoso-sabbiose; 6: tubo inclinometrico; 7: piezometro di Casagrande; 8: piezometro elettro-pneumatico; 9: livelli caratterizzati da superfici lucide, argille frantumate e/o caoticizzate. In retinato, sono indicate le profondità del movimento franoso in atto verificate con misure inclinometriche sino al mese di giugno 1984. Schematic section from Montagnolo hill to the coast. At the top, morphologic scheme of landsliding. 1: colluvial deposits; 2: sliding body; 3: marly-silty clay (Quaternary); 4: sands and calcarenites (Quaternary); 5: marly clay with beds of silty sand (Pliocene); 6: inclinometric pipe; 7: piezometer of Casagrande; 8: electro-pneumatic piezometer; 9: levels characterized by traces of movement. On the boreholes, in grey, are indicated the zones in which the landsliding were still active in June 1984.

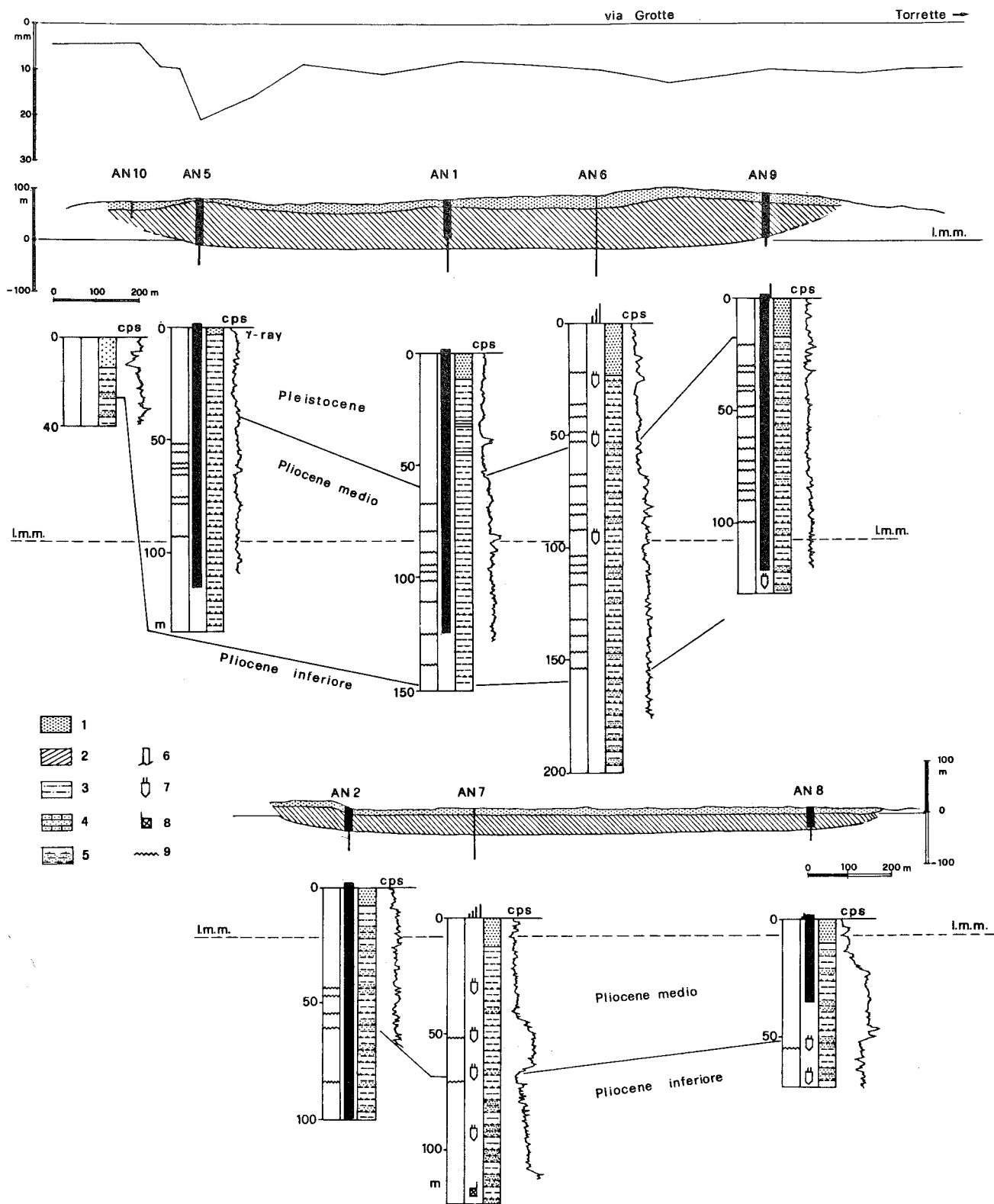


Fig. 7.20 - Sezioni schematiche, tracciate parallelamente alla costa in corrispondenza della statale N. 16 e di via Grotte. In alto è indicato l'andamento degli abbassamenti del suolo registrati nel periodo marzo-ottobre 1983, al centro del corpo franoso, secondo una sezione parallela alla costa (da FANGI G. & RADICIONI F. 2). 1: coltri eluvio-colluviali; 2: argille interessate dal movimento franoso profondo; 3: argille marnoso-siltose; 4: sabbie e calcareniti organogene; 5: argille marnose con intercalazioni siltoso-sabbiose; 6: tubo inclinometrico; 7: piezometro di Casagrande; 8: piezometro elettro-pneumatico; 9: livelli caratterizzati da superfici lucide, argille frantumate e/o caoticizzate. In retinato, sono indicate le profondità del movimento franoso in atto, verificate con misure inclinometriche sino al mese di giugno 1984. Schematic sections parallel to the coast. On the top, behaviour of ground subsiding registered during the period of March-October 1983 in a section parallel to the coast (after FANGI G. & RADICIONI F. 2). 1: colluvial deposits; 2: sliding body; 3: marly-silty clay (Quaternary); 4: sands and calcarenites (Quaternary); 5: marly clay with beds of silty sand (Pliocene); 6: inclinometric pipe; 7: piezometer of Casagrande; 8: electro-pneumatic piezometer; 9: levels characterized by traces of movement. On the boreholes, in grey are indicated the zones in which the landsliding were still active in June 1984.

SONDAGGI GEOGNOSTICI - CORRELAZIONE STRATIGRAFICA

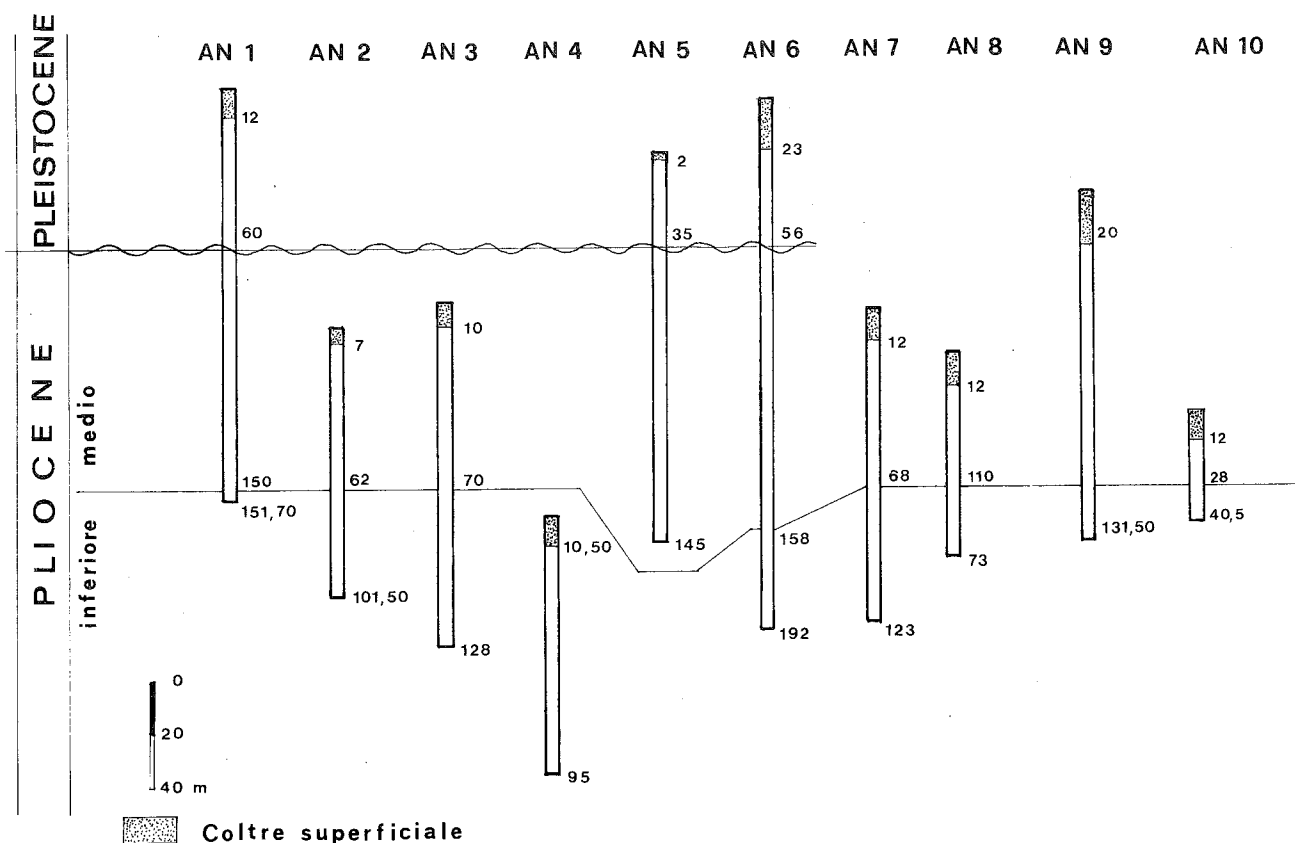


Fig. 7.21 - Correlazioni stratigrafiche.
Stratigraphic correlations.

portato schematicamente l'andamento del movimento franoso. Esse costituiscono la sintesi dell'interpretazione dei dati ottenuti con le campagne di studio sia di superficie che di sottosuolo. Si può così affermare che il movimento franoso principale è profondo ed antico; esso ha avuto una evoluzione, anche se discontinua nel tempo, tale da mantenere gli stessi motivi geomorfologici che lo caratterizzano. Ne è una conferma il riempimento di sedimenti fini di tipo lacustre, spesso alcune decine di metri, riscontrato sul bordo orientale del trench di Posatora. La depressione riempita è stata certamente determinata dallo sprofondamento successivo di questo elemento geomorfologico.

Per quanto riguarda la situazione idraulica del sottosuolo, c'è da ritenere, infine, che gli alti valori delle pressioni interstiziali, documentati dalle registrazioni piezometriche, hanno concorso indubbiamente a determinare condizioni di instabilità, soprattutto in relazione ad eventi meteorici importanti.

RINGRAZIAMENTI

Un vivo ringraziamento ai Periti Chimici PIERMARIO CANTORI e MARCO MARCELLINI per i rilievi idrografici e chimici condotti nell'area in frana; ai Periti Industriali SANDRO FRATESI e GIOVANNI PIANETTI ed al Signor AMERICO SCHIAVONI per le analisi geotecniche di laboratorio.

ABSTRACT

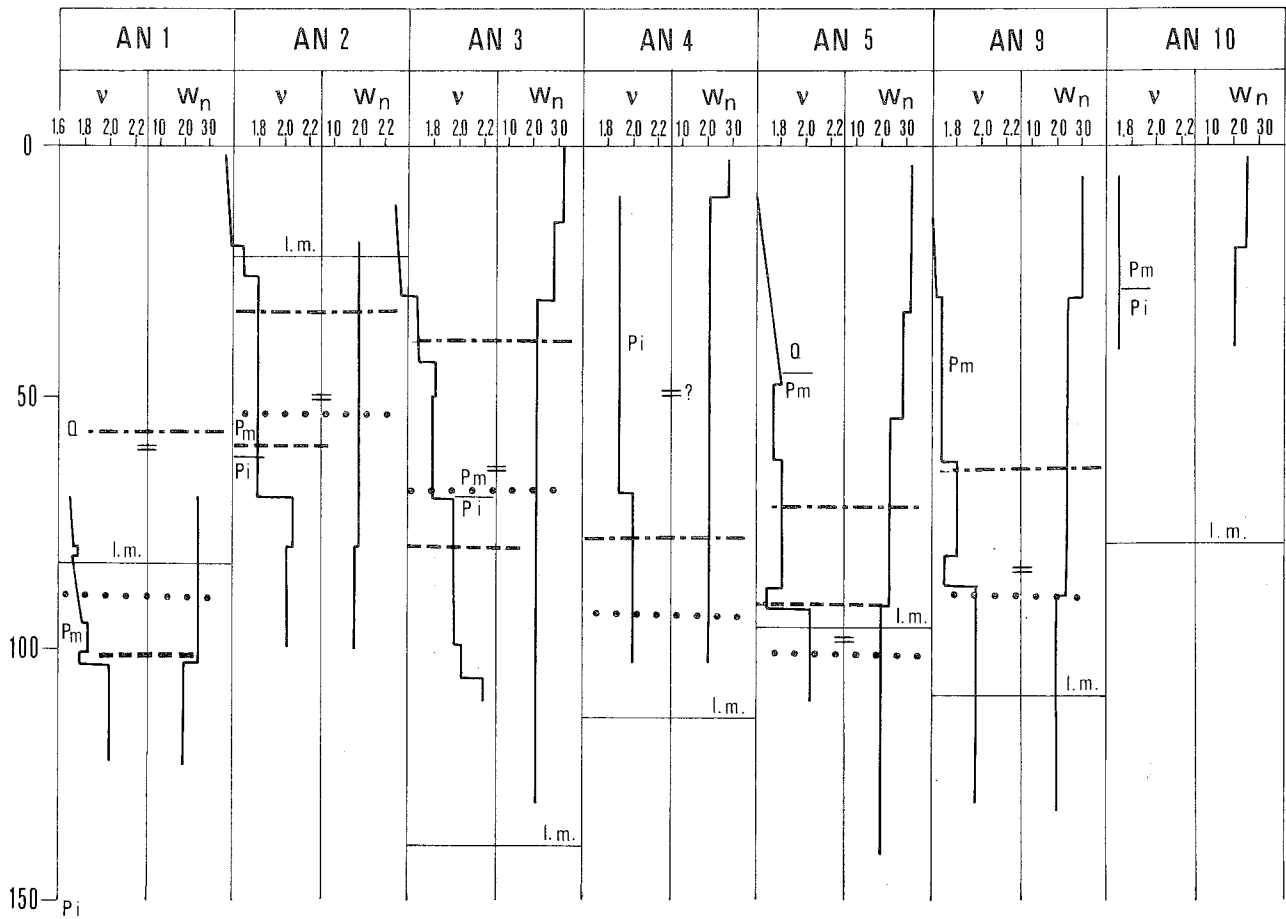
The geognostic survey projected according to the geological and geomorphological superficial evidences has confirmed the landsliding of Montagnolo area; this is involved both by superficial flows, moving along the eluvial-colluvial sheets, and by a deep slide over the plio-pleistocenic basement.

The numerous available data concern: lithology, microfossilifer and stratigraphic types, geotechnical and geophysical analyses, piezometric and inclinometric measurements. They are relevant to the successions crossed by the drillings.

The correlation of all these data has made it possible to draw various conclusions, which are significant to confirm and to specify the results of the surface researches. In particular geological data were used in order to determine the stratigraphic and structural characteristics; geomorphological data were used in order to determine the characteristics of the landslide; lastly the geophysical data, (such as the seismic refraction based on the different seismic velocity), were used to determine the succession of layers.

The correlation of the stratigraphic data confirmed the stratigraphic and tectonic position, outlined by the surface researches, about which authors relate in another chapter of this volume.

Under the eluvial-colluvial sheet of variable thickness (ranging from a few meters to some tens), there is a plio-pleistocenic substratum, formed by marly clays, with organogenic interbeddings (these last ones only in the Pleistocene).



L E G E N D A

- v VELOCITÀ IN Km/SEC REGISTRATE CON IL DOWN-HOLE
- W_n CONTENUTO NATURALE D'ACQUA
- = ROTTURA TUBO INCLINOMETRICO
- TOP INTERVALLO CON $V_p = 1,8\text{Km/SEC}$
- TOP INTERVALLO CON $V_p = 2,2\text{Km/SEC}$
- PROBABILE SUP. SCORRIMENTO PROFONDO

Fig. 7.22 - Correlazione tra parametri significativi misurati in alcuni sondaggi.
Principal parameters of same boreholes.

Pliocene is represented by the *Globorotalia* gr. *crassaformis* cenozoone (Middle Pliocene) and by the *Globorotalia punctulata* (Lower Pliocene).

The correlation of the successions crossed by the boreholes are shown in Fig. 7.21.

These correlations based both on lithological micropaleontological data and on logs obtained by the γ -ray technique confirm the existence of a fault placed just over the Posatora trench parallel to the coast, and the existence of a fault nearly perpendicular to the former, whose extension towards the sea, limits San Ciriaco headland to West and North-West.

In boreholes AN1,3,5 and 9 (see Fig. 7.22) it is interesting to note the correlation between change of natural water content (W_n) measured in the samples and the change of the speed of seismic waves registered with the down-hole. We can observe that values of W_n less than 20-25% are related to seismic velocities higher than 2.0 km/sec. Water contents higher than 25% are related to velocities less than 1,8 km/sec.

The stratigraphic spaces corresponding to these last values, include the middle space determined by means of the seismic refraction (see CASSINIS *et alii*, in this volume). Discontinuities, such as factures, chaotic and smooth levels, seen by the visual analysis of the core samples, are placed inside these layers. It is possible to suppose that the deep landslide did not involve the pliocenic succession characterized by the speed of the seismic waves less than 20-25%.

In AN2 borehole the correlation between the speed of the seismic waves and natural-water content is not so evident; it deals however with areas to the border of the great landslide.

In Fig. 7.18 we report a particular of what we said referring to AN5 borehole; there you can see also the inclinometric deformation lines, which show a deep moving surface, also after the critical phase of 13rd December 1982.

On the other hand, during this drilling, we had some difficulties and suffered the loss of the road battery at the depth of 147 meters. Similar disadvantage we have registered in AN6

borehole, where the drilling was at 200 meters. Both drillings are in the ranging of Piazza Padella - Via Grotte Cemetery.

In the sections of Fig. 7.19 and 7.20 we report schematically the behaviour of the landslide. They are the results of the interpretation of data obtained by the survey of the surface and subsoil.

We can declare that the principle landslide is deep and ancient; it had a development, even if discontinuous, which has preserved the same geomorphological characteristics.

The filling of thin limnic deposits, some tens meters thick, found in the eastern bord of Posatora trench, is a confirmation of what said above.

The filled depression was certainly caused by the following collapse of this geomorphological element.

As regards as the hydraulic situation of the subsoil, we believe that the high values of the interstitial pressures, obtained by the piezometric registrations, gave contributed to determine conditions of instability, especially in connection to important meteoric events.

OPERE CITATE

CRESCENTI U., CIANCETTI G.F., COLTORTI M., DRAMIS F., GENTILI B., MELIDORO G., NANNI T., PAMBIANCHI G., RAINONE M., SEMENZA E., SORRISO-VALVO M., TAZIOLI G.S. & VIVALDA P. (1983) - *La grande frana di Ancona del 1982*. Atti Conv. Associazione Geotecnica Italiana, Spoleto 4-6 Maggio 1983, 3.

MINISTERO DEI L.L.P.P. Servizio Idrografico di Bologna: *Annali Idrologici, Parte II*. Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.

TAZIOLI G.S. (1976) - *Metodologie e tecniche radioisotopiche in Idrogeologia*. Seminario su: *Falde sotterranee e trattamento delle acque*. Univ. di Bari, Facoltà di Ingegneria e CNR-IRSA, 16 nov. - 3 dic. 1976, 43-61, Arti Grafiche Pavia.

