

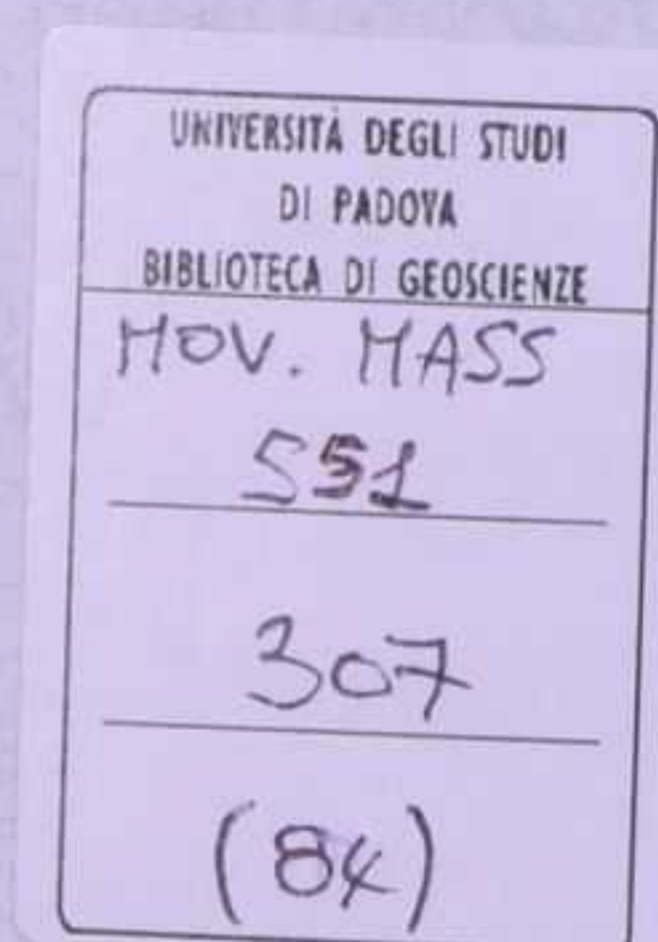
294

Stensa Gatto

CORRADO FRIZ, GINO GATTO, MAURIZIO SORANZO e VIGILIO VILLI

INFLUENZA DEI FATTORI GEOLOGICI
E GEOLOGICO-TECNICI SULLE CONDIZIONI DI DISSESTO
DEL VERSANTE SINISTRO DELLA MEDIA VAL PESARINA
(CARNIA)

(con 2 tabelle, 20 figure n.t. e 1 carta geologica)



PADOVA
SOCIETÀ COOPERATIVA TIPOGRAFICA
1982



CORRADO FRIZ*, GINO GATTO*, MAURIZIO SORANZO** e VIGILIO VILLI*

INFLUENZA DEI FATTORI GEOLOGICI E GEOLOGICO-TECNICI SULLE CONDIZIONI DI DISSESTO DEL VERSANTE SINISTRO DELLA MEDIA VAL PESARINA (CARNIA)

INDICE

ABSTRACT	173
RIASSUNTO	173
ZUSAMMENFASSUNG	173
INTRODUZIONE	174
SCHEMA GEOLOGICO DI BASE	175
GEOLOGIA APPLICATA	177
RINGRAZIAMENTI	202
BIBLIOGRAFIA	202

Key words: lithostratigraphic succession, Upper Paleozoic-Lower Trias, tectonics, quaternary deposits, landslide, protection, environment, Carnia area, Eastern Alps.

ABSTRACT

In the first part of this work Geology of the investigated area is synthetically described. The results have been plotted into a basical absolutely original map which, by the support of geophysical prospecting and mechanical drilling, has allowed to achieve a deriving map of bed rock. Fundamental aid for such achievement has also been given by careful structural analysis evidencing tectonic aspects so far unknown. Careful attention has also been paid to the hydrogeological state.

From these basical and necessary informations the applied geological and geotechnical investigation has then been started. Territory has been divided into

several individual zones for which genesis and evolution of degradation state have been singled out: with regard to this problem the most striking one being the instability of Prato Carnico historical centre. For each case indications towards sound intervention lines have eventually been put forward on the basis of the acquired experimental knowledges.

RIASSUNTO

Nella prima parte del lavoro viene sinteticamente illustrata la geologia della zona in istudio. I risultati sono stati graficamente tradotti in una carta geologica di base del tutto originale. Da questa, con l'ausilio di prospezioni geofisiche e sondaggi meccanici, si è risaliti alla carta derivata del substrato roccioso. Alla definizione di tale elaborato ha concorso in modo determinante anche una attenta analisi strutturale, che ha messo in evidenza aspetti tettonici non ancora noti. Particolare attenzione è stata rivolta alla situazione idrogeologica.

Da queste indispensabili conoscenze di base ha preso l'avvio l'indagine geologico-applicata e geotecnica. Si è suddiviso il territorio in varie zone nelle quali si è proceduto ad individuare i caratteri genetici ed evolutivi delle singole situazioni di dissesto, tra cui il motivo di maggior interesse è rappresentato dal problema di instabilità del centro storico di Prato Carnico. Le conoscenze complessivamente acquisite hanno permesso di avanzare, di volta in volta, motivate indicazioni su opportune direzioni di intervento.

ZUSAMMENFASSUNG

In der ersten Teil dieser Arbeit wird kürzlich die Geologie des studierten Gebietes erläutert. Das hat es vergönnt eine originelle geologische Karte dieses Gebietes herzustellen.

Von diesem Standpunkt weitherin, im Zusammenhang mit meckanischen und geophysichen Bohrungen

* C.N.R. - Istituto di Geologia Applicata alla pianificazione viaria e all'uso del sottosuolo, Area della Ricerca, Corso Stati Uniti 4, I - 35100 PADOVA, Italy.

** Istituto di Costruzioni Marittime e Geotecnica della Università, Via Ognissanti 39, I - 35100 PADOVA, Italy.
UNITA' OPERATIVA - Coordinatore della ricerca: C. FRIZ; Ricercatori: C. FRIZ, G. GATTO, M. SORANZO (incarico di ricerca), V. VILLI; Servizio geofisico: G. BERGO, R. DALL'ACQUA, L. PERAZZIN; Servizio sondaggi: R. MINCHIO, G. MORI; Servizio geotecnico: R. CARAMPIN; Servizio cartografico: V. FANZAGO, F. FERMON.

wurde es möglich die Untergrundkarte erhalten. Zur Bestimmung dieser speziellen Zweckkarte hat auch eine eingehende tektonische Untersuchung beigetragen, die, in der Vordergrund, unerklärte tektonischen Seiten gestellt hat.

Eine besondere Aufmerksamkeit wurde auf die idrogeologische Lage des Gebietes gerichtet.

Von diesen unerlässigen Voraussetzungen ist die angewandte geologische und geotechnische Untersuchung ausgegangen. Das Gebiet wurde mehrteils geteilt; in jedem Teil wurden die Ursachen der Hangrutschungen und Erdschlipfe untersucht. In diesem Rahmen das interessanteste Problem wurde von der Unbeständigkeit des Zentrums der Ortschaft Prato Carnico dargestellt.

Die erzielten Erkenntnissen haben sowohl gestattet einige Schutzmassnahmen zur Abminderung der vorgenannten Erscheinungen zu vorschlagen.

INTRODUZIONE

La Val Pesarina è situata nella Carnia occidentale. Essa inizia nei pressi di Forcella Lavardet, al limite geografico tra la Carnia e il Cadore, e confluisce, con andamento approssimativamente Est-Ovest, nella Valle del Degano in prossimità di Comeglians.

La valle si sviluppa per una lunghezza di una ventina di chilometri e presenta lungo il fondo valle quote variabili tra i 600 e i 1300 metri s.l.m. I centri abitati si dispongono lungo il tratto medio basso, ubicandosi di preferenza su conoidi alluvionali, costruite dall'apporto solido degli affluenti del T. Pesarina, che costituisce il corso d'acqua principale. Per tale ragione e tenendo in conto lo scopo della ricerca, le indagini sono state rivolte principalmente a questo settore, lungo una fascia, più o meno larga, disposta parallelamente al fondo valle, anche se talora è stato necessario allargare il campo di osservazione ad aree limitrofe, nei casi in cui si è rilevata la necessità di acquisire ulteriori elementi geognostici di particolare interesse risolutivo.

Ai fini applicativi in generale e in modo del tutto particolare per l'area in istudio, data anche la peculiare fenomenologia dei dissesti, risultava di fondamentale importanza l'acquisizione di informazioni il più dettagliate possibile sulle caratteristiche delle rocce presenti, comprendendo in quest'ultimo termine sia le formazioni del substrato roccioso e sia le formazioni quaternarie di copertura.

La natura litologica e le relazioni di normale sovrapposizione delle unità litostratigrafiche affioranti erano note da molto tempo, rientrando esse nel quadro geologico regionale illustrato dalla cartografia ufficiale. Ciò che risultava un problema ancora aperto, almeno a livello locale, erano le condizioni reali di affioramento di queste unità e

la loro rispettiva estensione topografica a formare la superficie di supporto dei materiali quaternari. Tale stato di cose emerge con evidenza da un confronto tra i rilevamenti di M. GORTANI, riportati nel Foglio Ampezzo della Carta Geologica delle Tre Venezie e i rilevamenti geologici più recenti del Foglio Monte Cavallino-Ampezzo della Carta Geologica d'Italia.

Il problema dell'estensione reale degli affioramenti rocciosi ed il loro riferimento formazionale è stato affrontato mediante un rilevamento geologico di dettaglio, battendo l'area di maggior interesse non tanto per itinerari, ma attraverso una copertura areale di osservazioni dirette, per quanto possibile integrale.

I risultati di questo lavoro sono stati graficamente tradotti in una carta geologica di base del tutto originale. In essa le porzioni rocciose affioranti sono state distinte e cartografate rispettando le loro dimensioni reali, ovviamente entro i limiti imposti dalla scala della carta, senza ricorrere ad interpolazioni interpretative.

La carta, così strutturata, fornisce nel contempo anche l'effettiva estensione della copertura quaternaria. Nell'ambito del quaternario più significativo e diffuso è stata operata una distinzione in depositi eluvio-colluviali e in depositi alluvionali, distinzione che indica, sia pure in termini approssimativi, anche l'ordine degli spessori relativi dei vari tipi di deposito, come verrà meglio specificato in seguito. Non sono stati trascurati i sedimenti detritici, anche se acquistano importanza del tutto marginale dal punto di vista applicativo.

Da questo primo bagaglio di conoscenze si è risaliti alla carta del substrato roccioso, documento in questo caso assai importante, dal momento che nell'area in istudio la causa prima dei dissesti era stata da sempre riferita alla presenza, alla estensione topografica e al comportamento geologico-tecnico di un particolare tipo di unità litologica.

Alla definizione del nuovo elaborato ha concorso in modo determinante una attenta analisi strutturale tesa ad individuare una situazione tettonica rispondente agli indicatori giaciturali di superficie, nella quale gli affioramenti rocciosi, come parti integranti di definite unità litostratigrafiche, potessero trovare una organica collocazione spaziale.

In definitiva, gli elementi tettonici e litostratigrafici complessivamente rilevati, unitamente alla stima dell'ordine di spessore dei materiali di copertura, hanno permesso una zonizzazione litologica delle parti più superficiali del basamento roccioso, sia esse affioranti che sepolte.

Particolare attenzione è stata rivolta alla situazione idrogeologica, soprattutto per i suoi riflessi sulle caratteristiche ambientali e come concausa di

modificazioni morfologiche negative per il territorio ⁽¹⁾.

Da tutte queste indispensabili premesse di base ha preso l'avvio la ricerca geologico-applicata e geotecnica, con specifico riguardo ai fenomeni di dissesto. Al di là di una elencazione e di una classificazione sia pur basata su elementi obbiettivi ma di carattere generale, si è preferito suddividere il territorio in varie zone sulle quali si è proceduto ad indagini più particolareggiate, nel tentativo di individuare i caratteri genetici ed evolutivi delle singole variazioni morfologiche, le quali ultime nel dettaglio sono legate ad aspetti locali e in questo senso rappresentano casi difficilmente ripetibili.

In questa panoramica della situazione di dissesto della media Val Pesarina, il motivo di maggior interesse era costituito dal problema dell'abitato di Prato Carnico, problema che ha richiesto un privilegiato impegno di ricerca e quindi una più ampia e approfondita trattazione.

Le conoscenze complessivamente acquisite hanno permesso di individuare di volta in volta le direzioni generali di intervento sul territorio, pur astruendo da precisazioni sulle opere sistematorie, la cui concezione e progettazione esigono specifici studi e competenze.

SCHEMA GEOLOGICO DI BASE

LITOLOGIA DEL SUBSTRATO ROCCIOSO

Le rocce più antiche affiorano nella parte orientale del territorio. Si tratta di un complesso calcareo attribuibile, secondo gli studi più recenti (R. SELLI, 1963), al Devoniano. Questo sistema comprende calcari massicci grigio chiari, talora cristallini, cui si accompagnano calcari listati microcristallini di colore marrone, e più subordinati calcari ferruginosi bruno scuri (DEVONIANO).

Formazione dell'Hochwipfel. Appartengono a questa formazione argilliti fittamente stratificate e non di rado fogliettate, di colore grigio plumbeo, intercalate spesso da arenarie quarzose e da rocce effusive verosimilmente legate al ciclo orogenetico ercinico. Nella zona in esame le argilliti formano limitati affioramenti alla testata del Rio Torbido, mentre rocce effusive di tipo porfirítico vengono a giorno nei pressi di Avausa (CARBONIFERO).

⁽¹⁾ Nella stesura del testo si parla di evoluzione morfologica del territorio o dell'ambiente, non tanto vista come processo morfodinamico naturale o indotto, ma soprattutto per i suoi riflessi negativi sull'attività umana; in questo senso tale evoluzione può essere definita ed indicata come fenomeno di instabilità o di dissesto.

Arenarie di Val Gardena. E' noto come questa formazione sia costituita a livello regionale da due membri principali. L'inferiore, in genere di piccolo spessore, consta di conglomerati poligenici a matrice arenaceo-argillosa. Quello superiore, che può raggiungere i 250-300 metri di spessore, è rappresentato da un complesso arenaceo più o meno argilloso, di colore prevalentemente rossastro. Nella zona rilevata affiorano litotipi appartenenti a quest'ultimo complesso: le rocce sono costituite da una componente quarzosa feldispatica a cui si accompagna una frazione argillosa in proporzioni quantitative molto variabili, presentando così transizioni da tipi decisamente arenacei a vere e proprie siltiti (PERMIANO MEDIO-INFERIORE).

Formazione a Bellerophon. Si tratta di un complesso di sedimenti gessosi, marnosi, calcareo-dolomitici, depositatisi in un originario ambiente lagunare salmastro, favorevole allo sviluppo di facies evaporitiche.

Sulla base di criteri di ordine litologico e geologico-tecnico questa formazione è divisibile in due orizzonti.

La parte inferiore consta essenzialmente di rocce gessose dolomitiche nelle quali i rapporti quantitativi tra le due componenti mineralogiche principali non assumono variazioni di notevole rilevanza. Questo insieme roccioso, che ha una colorazione sostanzialmente uniforme grigio-verdastro, presenta sporadicamente chiazze biancastre a distribuzione irregolare, dovute alla presenza di lenti di gesso saccaroide.

La parte superiore della formazione a *Bellerophon* è costituita da dolomie cariate, brecce dolomitiche gessifere, dolomie gessose pulverulenti e da un complesso di calcari grigi e grigio-scuri, in parte bituminosi, ai quali si intercalano sovente livelli di calcari marnosi (PERMIANO SUPERIORE).

Formazione di Werfen. Nella Val Pesarina la formazione di Werfen è costituita da una gamma di rocce diverse che si succedono e si alternano senza formare un tipico profilo seriale, per cui risulta difficile una sua rigorosa suddivisione in membri aventi una definita posizione litostratigrafica. I litotipi maggiormente diffusi nella zona in studio sono rappresentati da marne, marne argillose grigio-giallastre o grigio-rossastre, da arenarie finissime e siltiti di colore prevalentemente rosso-violaceo e, infine, da calcari marnosi grigi o grigio-scuri compatti (SCITICO).

COPERTURA QUATERNARIA

Depositi alluvionali. I depositi alluvionali sono stati cartografati a prescindere da una loro distin-

zione in recenti ed attuali, anche se è possibile rilevarne a grandi linee le rispettive caratteristiche.

Le alluvioni attuali formano una fascia allungata, talora discontinua, lungo l'asta del Pesarina e presentano una costituzione granulometrica assai variabile da luogo a luogo.

Le alluvioni recenti invece si dispongono a formare delle piane, sospese di qualche metro sull'alveo attuale, e sono in genere coperte da una cotica erbosa. Esse sono costituite da materiali naturalmente costipati, che denunciano una certa stratificazione e gradazione.

A queste alluvioni si raccordano, mediante superfici inclinate, i materiali dovuti all'apporto solido dei tributari del Torrente Pesarina, assumendo forma planimetrica a settore circolare con l'apice rivolto verso l'affluente. Queste conoidi, in confronto con le alluvioni piane di fondovalle, hanno in genere una struttura piuttosto caotica e si dispongono a quote altimetricamente più elevate sui versanti. Si tratta in generale di materiali ben stabilizzati che costituiscono la sede preferenziale degli insediamenti urbani.

Depositi lacustri. Lungo la strada statale della Val Pesarina nei pressi di Avausa è stato rilevato un piccolo affioramento di sedimenti depositatisi verosimilmente in ambiente lacustre. Non si tratta di un lembo isolato a sè stante: esso infatti costituisce l'unico indicatore di superficie di una massa di sedimenti, avente notevole estensione e spessore, mascherata da una esigua copertura di materiali eluvio-colluviali.

Date le peculiari caratteristiche fisiche e compositive di questi depositi, è stato possibile rilevarne la presenza in un'area abbastanza estesa attraverso una serie di sondaggi elettrici verticali. L'area individuata copre parte del versante sinistro della valle tra la frazione di Sostasio e quella di Avausa, formando una fascia allungata est-ovest che lambisce a meridione la statale della Val Pesarina e che si allarga verso monte fino a toccare i primi affioramenti rocciosi. Un sondaggio meccanico di taratura ha confermato gli spessori ricavati dall'indagine geoelettrica, spessori che raggiungono punte massime di oltre 50 m. Questi depositi sono costituiti da argille sabbiose, in cui sono dispersi disordinatamente piccoli ciottoli di composizione carbonatica. Essi presentano una colorazione grigiastra che rispecchia una certa omogeneità compositiva. L'esame dei campioni in laboratorio non ha rivelato apprezzabili variabilità di rapporti quantitativi tra le frazioni granulometriche principali.

Depositi di versante. La copertura di versante maggiormente diffusa è costituita da depositi eluviali e colluviali. Nella rappresentazione cartogra-

fica questi sedimenti sono stati indicati con la stessa simbologia, poichè una loro distinzione, se talora risulta fattibile, costituisce nella maggioranza dei casi un problema di difficile soluzione.

In genere i depositi schiettamente eluviali sono ubicati su parti di versante con notevole pendenza e caratterizzate da piccoli e sparsi affioramenti del substrato litico. Essi assumono spessori piuttosto modesti (fino a qualche decimetro) ed una colorazione analoga a quella della roccia madre. Di quest'ultima ne rispecchiano essenzialmente la composizione, mentre presentano invece una granulometria assai varia che va da un brecciamine di alterazione a frazioni limoso-argillose.

I depositi colluviali si distinguono per una maggiore varietà compositiva e per le loro caratteristiche morfologiche e di spessore. Essi rappresentano un prodotto di accumulo e perciò hanno spessori molto variabili da luogo a luogo, comunque sempre dell'ordine di parecchi metri. A causa del loro meccanismo genetico formano profili morfologici non molto acclivi. Si localizzano di preferenza al piede di versanti piuttosto ripidi, ma costituiscono anche accumuli in corrispondenza a locali depressioni, contribuendo ad un lento evolversi di preesistenti situazioni morfologiche.

Tra i depositi di versante vanno menzionati infine le falde detritiche e gli accumuli di frana, anche se la loro presenza nella zona di studio è molto limitata.

LINEAMENTI TETTONICI

E' noto dalla bibliografia (R. SELLI, 1963; B. MARTINIS, 1979) come la Val Pesarina si sia impostata in corrispondenza ad una grande piega anticlinale. Si tratta in realtà di un elemento strutturale non semplice, ma assai complesso per diversi motivi. L'asse di ripiegamento presenta all'incirca direzione Est-Ovest con accentuate ondulazioni ed una generale inclinazione verso occidente. Ciò comporta una situazione del tutto particolare, palesemente evidenziata dai rilevamenti geologici, per cui le formazioni rocciose, specie le più antiche, affiorano in fasce allungate secondo la direzione dell'asse di ripiegamento principale.

Per effetto dell'inclinazione assiale, le rocce più antiche del nucleo anticlinale scompaiono gradatamente da Est verso Ovest, via via ricoperte da termini più recenti. Infatti i terreni prepermiani (Devoniano e Carbonifero) affiorano solamente nel settore orientale dell'area rilevata e sprofondano nei pressi di Sostasio al di sotto delle arenarie di Val Gardena. Queste ultime scompaiono a loro volta definitivamente tra Prato Carnico e Pieria, essendo ricoperte dal complesso evaporitico del Permiano superiore.

Venendo ora ad esaminare il motivo anticlinale in senso trasversale (vedi profili), la complessità della struttura è imputabile alla presenza in esso di un susseguirsi di pieghe minori associate a motivi dislocativi per faglia che, da osservazioni su più vasta scala, sembrano rappresentare la continuazione di lineamenti tettonici di carattere regionale. Ci si riferisce in particolare alla linea Comeglians-Ravascletto la quale, ad oriente dell'attuale incisione del Torrente Degano, si complica, proseguendo verso occidente senza soluzione di continuità lungo due direttrici nettamente distinte.

GEOLOGIA APPLICATA

1 - IL PROBLEMA DELL'ABITATO DI PRATO CARNICO

CENNI BIBLIOGRAFICI E DELIMITAZIONE DELL'AREA DI DISSESTO

La media Val Pesarina è stata da sempre interessata da fenomeni di dissesto in conseguenza dei quali, corrispondentemente all'abitato ⁽¹⁾ di Prato Carnico, si sono verificate a più riprese lesioni più o meno vistose su numerosi edifici.



FIG. 1 - Principali linee di dislocazione che interessano la Val Pesarina.

La linea più meridionale attraversa tutta la zona rilevata in direzione Est-Ovest, taglia obliquamente la media Val Pesarina, sviluppandosi dapprima sul versante sinistro e proseguendo quindi, a monte di Avausa, sul versante opposto. Si tratta di un accidente tettonico attualmente con caratteri di faglia diretta e con piano di scorrimento piuttosto raddrizzato immergente verso Sud.

La linea settentrionale, dopo un primo tratto in cui assume una identità ben specifica, si raccorda (vedi Fig. 1) ad un ventaglio di dislocazioni che vanno a complicare l'intera area compresa tra la Val Pesarina e l'alta Valle del Degano, suddividendola in complessi elementi tettonici. Tra queste dislocazioni, due interessano l'area rilevata. L'una decorre con andamento quasi rettilineo, assumendo direzione est-ovest e caratteri strutturali di piega-faglia; l'altra rappresenta un contatto tettonico, con traccia superficiale molto sinuosa, e costituisce l'effetto di un sovrascorrimento delle formazioni permiane sulle arenarie del Werfen.

In definitiva il motivo anticlinale principale della Val Pesarina si scompone in più zolle rocciose che si allungano in direzione est-ovest con rapporti reciproci riconducibili a quelli di una struttura embriciata.

Una prima indagine geologica sulla situazione è dovuta a M. GORTANI (1950), il quale indicò a suo giudizio le cause del fenomeno, suggerendo nel contempo alcuni provvedimenti, che dimostrarono al momento una certa efficacia.

Tuttavia nel decennio 1960-1970 si verificò una periodica ripresa e recrudescenza dei fenomeni di dissesto, con ulteriori gravi danni agli edifici.

Nel 1974, su incarico dell'Assessorato Regionale ai Lavori Pubblici del Friuli-Venezia Giulia, venne intrapresa una ulteriore indagine geologica da M. CUTTINI. In tale lavoro risulta di particolare interesse il censimento delle costruzioni lesionate con ubicazione delle stesse su base topografica alla scala 1:1000, il tutto corredato da una dettagliata documentazione fotografica. Si tratta in sostanza di fessure, con andamento prevalentemente rettilineo e verticale e talora invece con disposizione disordinata, che interessano i muri perimetrali delle abitazioni.

L'importanza di queste rilevazioni deriva dal fatto che esse sono state effettuate prima del terremoto del 1976 e che quindi sono strettamente di-

(1) Per abitato di Prato Carnico si intende il centro storico del paese.

pendenti dai fenomeni di dissesto in atto da parecchio tempo.

Da una valutazione dei fattori che caratterizzano la zona, l'autore citato individua nel comportamento della coltre quaternaria la causa del dissesto. A detta dello stesso il quaternario infatti sarebbe soggetto in presenza d'acqua a fenomeni di graduale assestamento, che si rifletterebbero in superficie con lenti cedimenti del terreno di fondazione.

Rilievi plano-altimetrici di precisione e indagini di carattere geofisico sono stati effettuati in seguito rispettivamente da BARIGAZZI e da COLOMBETTI (1976). Le ricerche finalizzate a determinare qualitativamente e quantitativamente i movimenti in superficie hanno dato i seguenti risultati: un lieve abbassamento della sponda a valle della strada della Val Pesarina; un marcato innalzamento della parte a monte del paese; una traslazione orizzontale verso Nord-Ovest della stessa parte dell'abitato. A questo riguardo si fa rilevare tuttavia che le due misure di confronto effettuate sono state eseguite a cavallo del terremoto del Friuli (maggio 1976) e quindi non si esclude che gli spostamenti rilevati possano essere stati causati dall'evento sismico anziché dai processi di dissesto. In fase conclusiva viene in definitiva manifestata dagli autori una certa perplessità, facendo notare che « *la complessità stratigrafica e strutturale dell'area esaminata e la mancanza di una cartografia geologica di dettaglio non consentono di arrivare solo mediante sondaggi elettrici e le misure topografiche a conclusioni sicure* ».

Per la verità i rilevamenti geologici su cui ci si è basati finora per lo studio del problema di Prato Carnico sono quelli relativi al Foglio Monte Cavalino-Ampezzo della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000.

Da parte nostra si è ravvisata la necessità di acquisire conoscenze di base più adeguate e maggiormente idonee per l'indagine geologico-applicata.

Al di là di questo lavoro di natura prettamente geologica, un problema che doveva essere preliminarmente affrontato consisteva nella verifica degli edifici lesionati, costituendo questi gli unici indicatori di superficie dei fenomeni di dissesto e della loro entità.

Tale indagine, tenendo ovviamente in debito conto i rilievi fatti in precedenza dal CUTTINI, è stata estesa all'intero abitato di Prato Carnico, ed ha fornito alla fine elementi di notevole interesse: — è stato possibile delimitare con sufficiente esattezza lo spazio direttamente interessato dal dissesto. Infatti gli edifici lesionati sono compresi in un'area di forma triangolare, che si allarga progressi-

vamente da monte verso valle, occupando soltanto il settore sud-orientale del centro urbano e non la sua intera estensione (Fig. 2).

— l'intensità dei danni subiti dai fabbricati aumenta progressivamente dall'apice settentrionale del triangolo verso la sua base meridionale, dove gli edifici presentano un macroscopico e diffuso intreccio di fessure e dove certe case hanno subito dei movimenti rotazionali in blocco, con pronunciata inclinazione dei muri perimetrali. Ciò riflette con verosimiglianza un decadimento delle condizioni di stabilità dall'alto verso il basso, in prossimità della scarpata sul torrente Pesarina.

Sulla scorta di questi risultati l'analisi geognostica di dettaglio è stata maggiormente polarizzata nella ristretta area interessata dal dissesto, senza tuttavia prescindere dall'esame di quegli elementi di contorno rilevabili nelle aree contermini ma collegati, sia pur indirettamente, col fenomeno stesso.

Per un quadro conoscitivo il più completo possibile l'esame diagnostico di superficie è stato completato da una serie di altre indagini, quali rilievi topografici, sondaggi meccanici, prove di permeabilità in situ, controlli periodici dei livelli di falda ed infine analisi geotecniche di laboratorio.

ASPETTI GEOLOGICI E GEOLOGICO-TECNICI

Copertura quaternaria. E' costituita da una coltre di terreni dovuta agli apporti solidi del Rio Agazzo e del Rio Denti. Questi materiali presentano per la massima parte del loro spessore una struttura piuttosto caotica, in cui limi, sabbie e ciottoli, mescolati disordinatamente senza alcuna selezione sotto il profilo granulometrico, inglobano blocchi di varia grandezza. Gli elementi litici mostrano sempre forme spigolose e rispecchiano dal punto di vista qualitativo esclusivamente la litologia dei piccoli bacini di provenienza. Si tratta di depositi alluvionali dovuti a processi di trasporto in massa (lave torrentizie), verificatisi e succedutisi nel tempo dal periodo post-glaciale fino ai nostri giorni.

Fa eccezione al quadro sopra esposto la parte basale della coltre quaternaria costituita invece da un livello granulometricamente più fine, privo di ciottoli e blocchi, formato da limi sabbiosi ed argillosi.

Nell'insieme questi materiali raggiungono spessori oscillanti tra i 20 e i 30 m circa.

Passando all'esame litologico macroscopico delle alluvioni si è osservato che i blocchi sono costituiti in massima parte da calcari bituminosi del Permiano superiore e subordinatamente da calcari grigio-scuri compatti tipici della formazione anisica. Tali blocchi presentano dimensioni piuttosto rilevanti fino a raggiungere e talora superare anche il metro cubo.

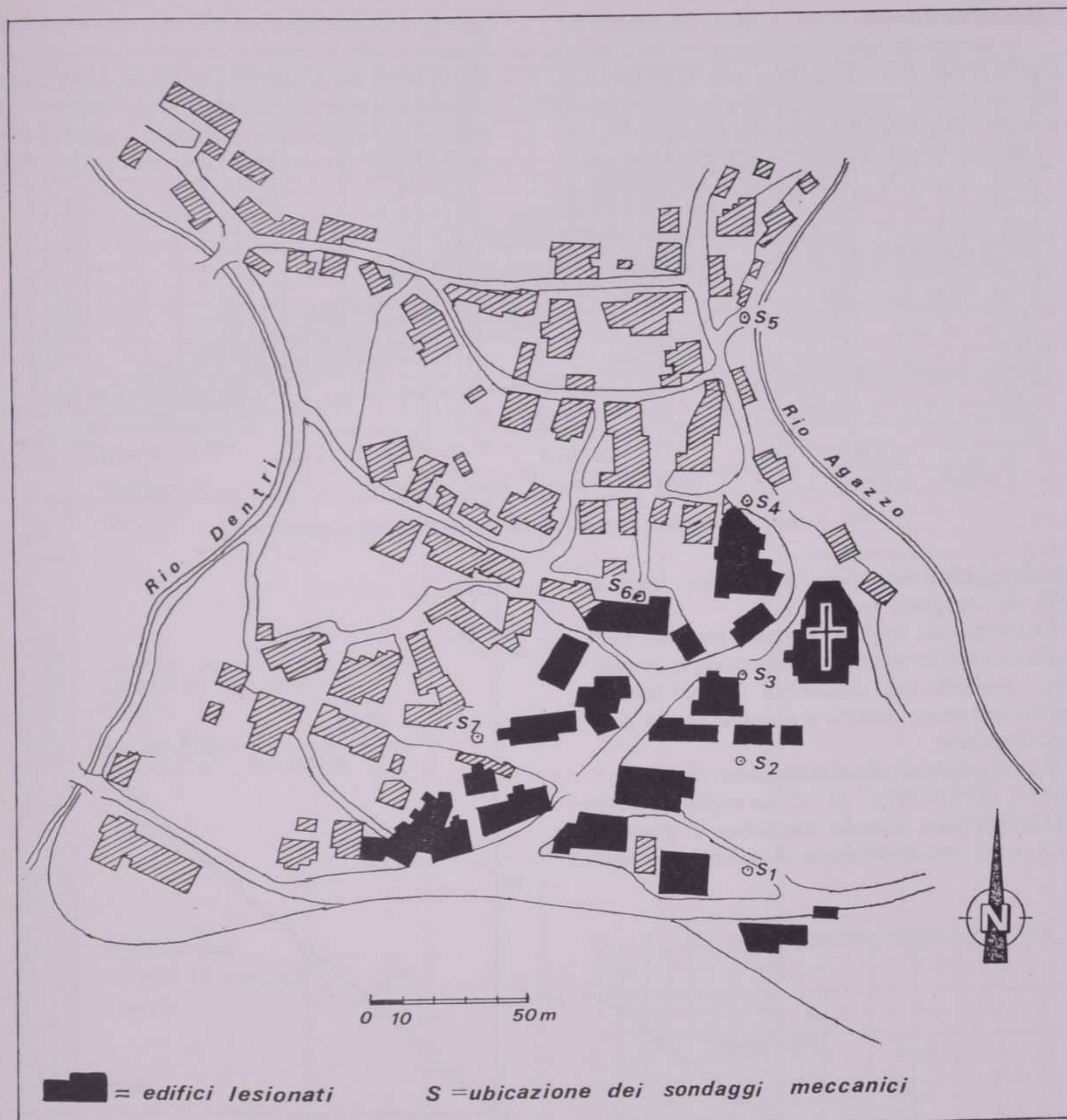


FIG. 2 - Abitato di Prato Carnico.

Per ciò che riguarda i ciottoli essi rappresentano una maggior gamma di varietà litologiche in quanto agli elementi calcarei sopra detti se ne aggiungono altri di dolomie cariate, di arenarie del Werfen e, in minor misura, di arenarie di Val Gardena.

Nelle frazioni più fini, ai componenti sopra menzionati si accompagna talvolta una discreta quantità di granuli gessosi distribuiti in modo variabile.

Dal punto di vista geotecnico l'esame del materiale della coltre è stato effettuato su un congruo numero di campioni, prelevati nei sondaggi S₁, S₂, S₃, S₄ ed S₆.

Si tratta di terreni a granulometria estesa con elementi litici presenti in una matrice di limo debolmente argilloso di color nocciola.

Gli elementi litici raggiungono spesso le dimensioni delle ghiaie medie e, non di rado, sono presenti massi con dimensioni dell'ordine delle decine di centimetri.

Il fuso granulometrico di 21 campioni, rappresentato in figura 3, dà un'idea significativa della dispersione del materiale; infatti anche la zona centrale (delimitata in figura dalle curve a tratto discontinuo), che copre un'area pari al 50% dell'in-

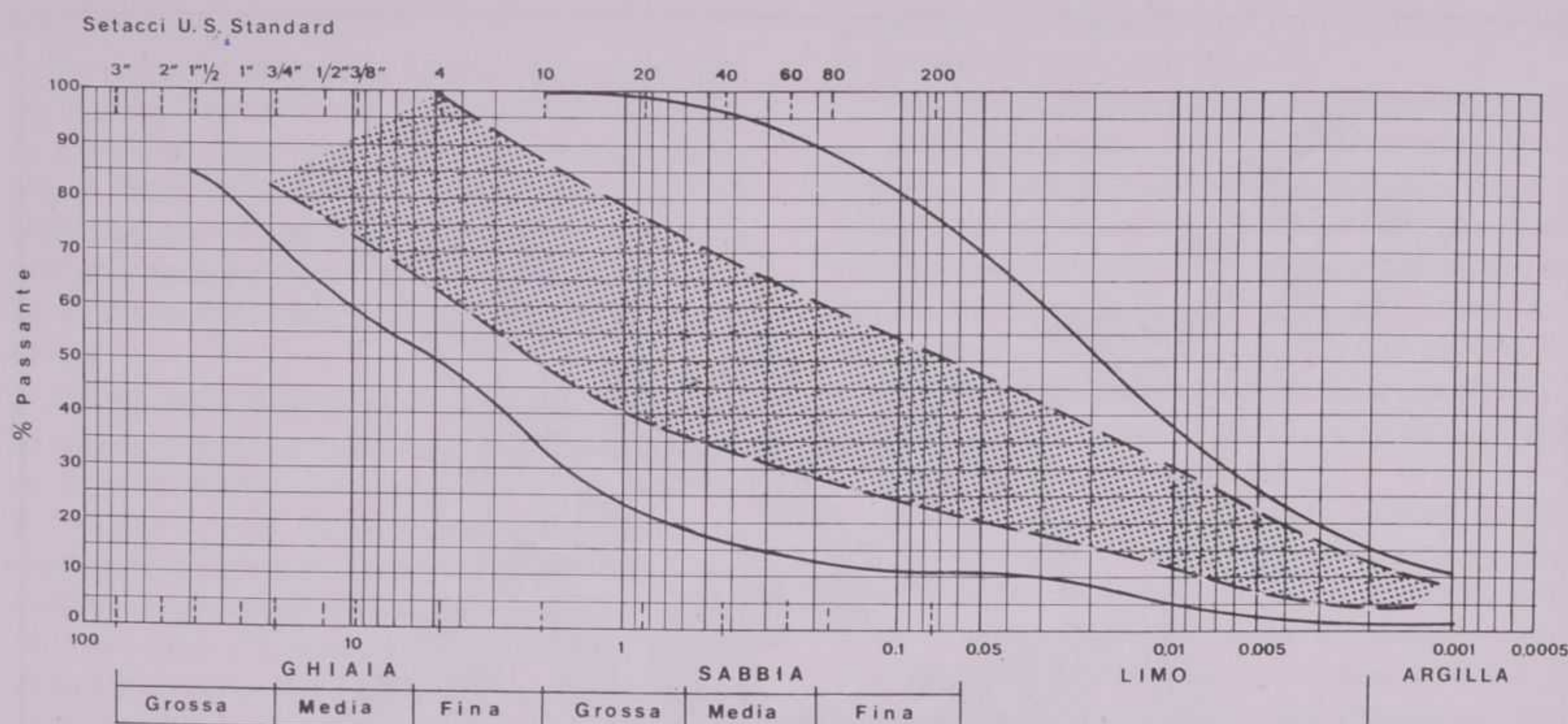


FIG. 3 - Fusi granulometrici caratteristici dei terreni della coltre quaternaria.

tero fuso, racchiude solo 13 campioni (pari al 62% dei campioni esaminati).

La percentuale in peso di argilla presente nella matrice è mediamente di 6,8 (adottando la convenzione: particelle con dimensioni $\leq 0,002$ mm = argilla) con punte minime e massime di 2,5 e 17 rispettivamente.

Si tratta, in base alla classificazione di A. CASA-GRANDE (1932) (Fig. 4), di un'argilla ghiaiosa a plasticità bassa o media con indice di plasticità da 4 a 10, con coefficiente di attività piuttosto

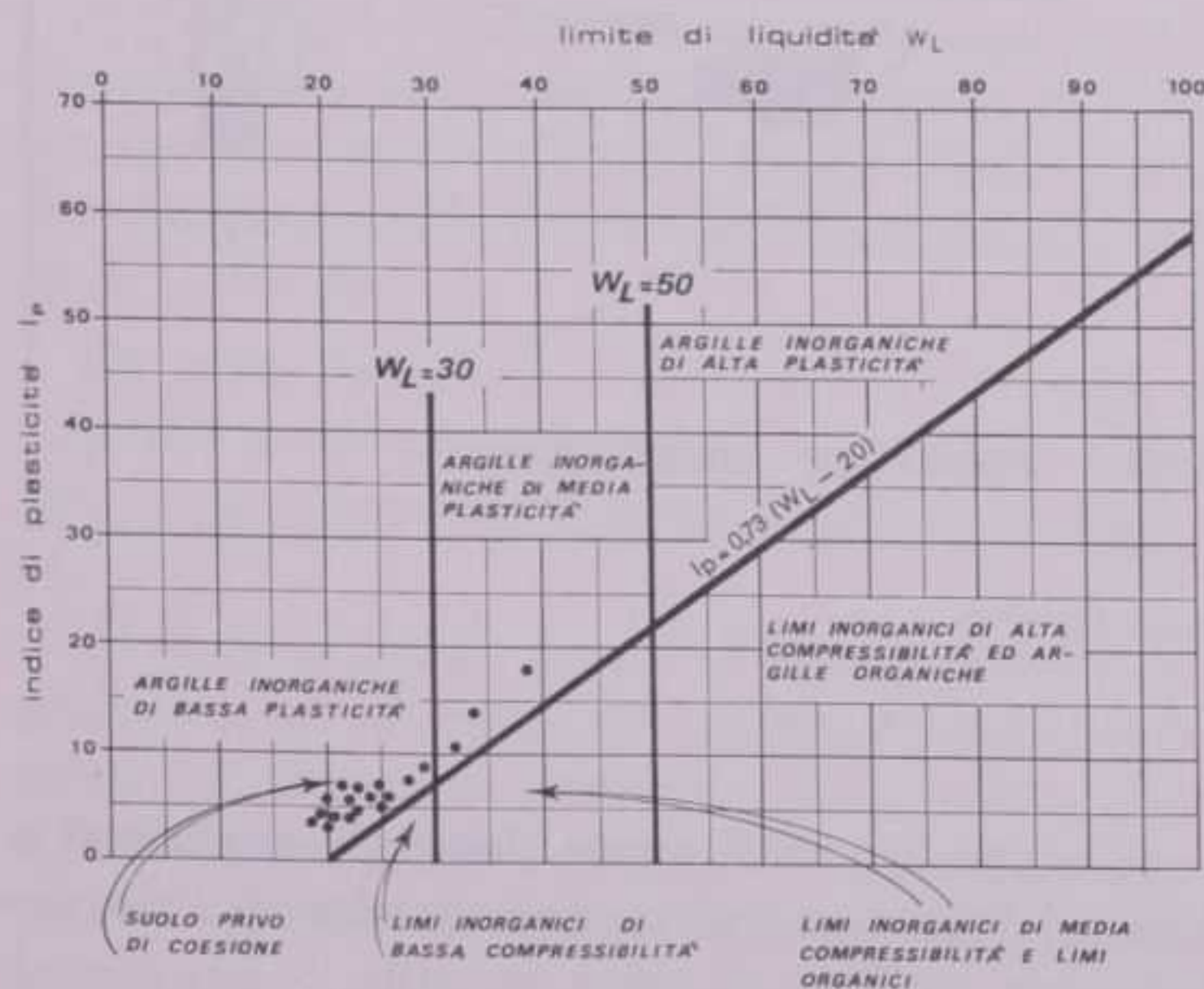


FIG. 4 - Classificazione dei terreni della coltre quaternaria.

basso, mediamente pari a 0,95 (Fig. 5), che indicherebbe la natura caolinica della frazione più fine.

Nella parte inferiore della coltre è presente un livello più plastico ($I_p = 10 \div 18$) in cui è stato possibile prelevare, mediante campionario a pistone Shelby, qualche campione indisturbato. Infine,

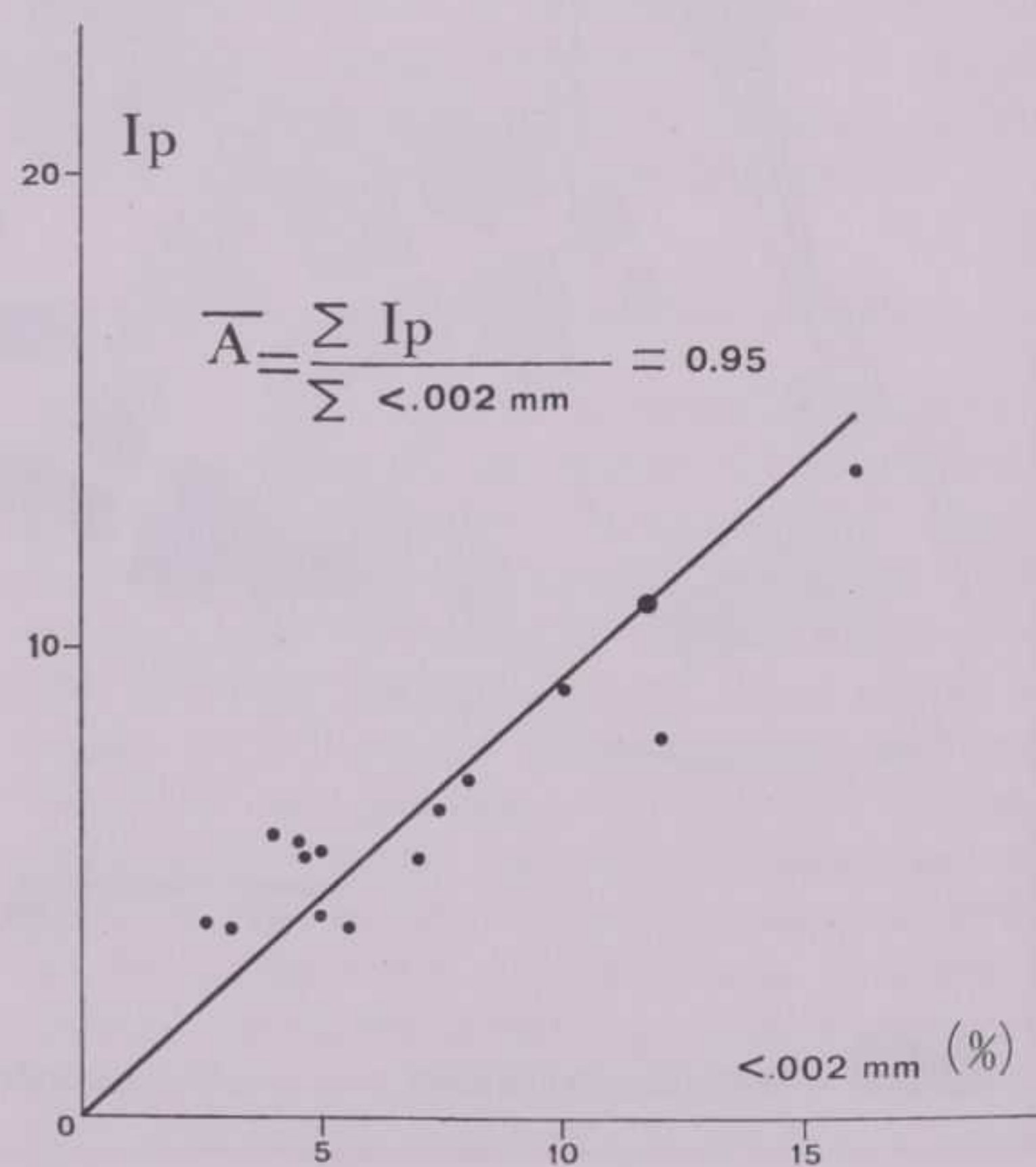


FIG. 5 - Coefficiente di attività dei terreni della coltre quaternaria.

non di rado, alla base si riscontrano anche materiali sciolti gessoso-dolomitici non plastici.

Il peso di volume del materiale della coltre è elevato e varia tra 2,10 e 2,20 t/m³ per le ghiaie limose a granulometria estesa, mentre scende a valori di 2,00 ÷ 2,02 t/m³ per i terreni più argillosi.

Due stratigrafie caratteristiche dei materiali incontrati nei sondaggi S₂ ed S₄ sono riportate nelle figg. 6 e 7, assieme ad alcune proprietà indeterminate su campioni, prelevati con fustelle, di volume superiore a 2000 cm³.

Substrato roccioso. Facendo riferimento alla carta del substrato roccioso si osserva che detto substrato in corrispondenza all'abitato di Prato Carnico è sostanzialmente formato dal complesso gessoso del Permiano superiore e in via più subordinata dalla formazione delle arenarie di Val Gardena.

tima varia da luogo a luogo, con misure oscillanti da una decina a qualche decina di metri.

I sondaggi sono stati condotti a rotazione con sistematico prelievo di campioni indisturbati nei terreni sciolti e con carotaggio continuo nella sottostante formazione lapidea. E ciò al fine di ac-

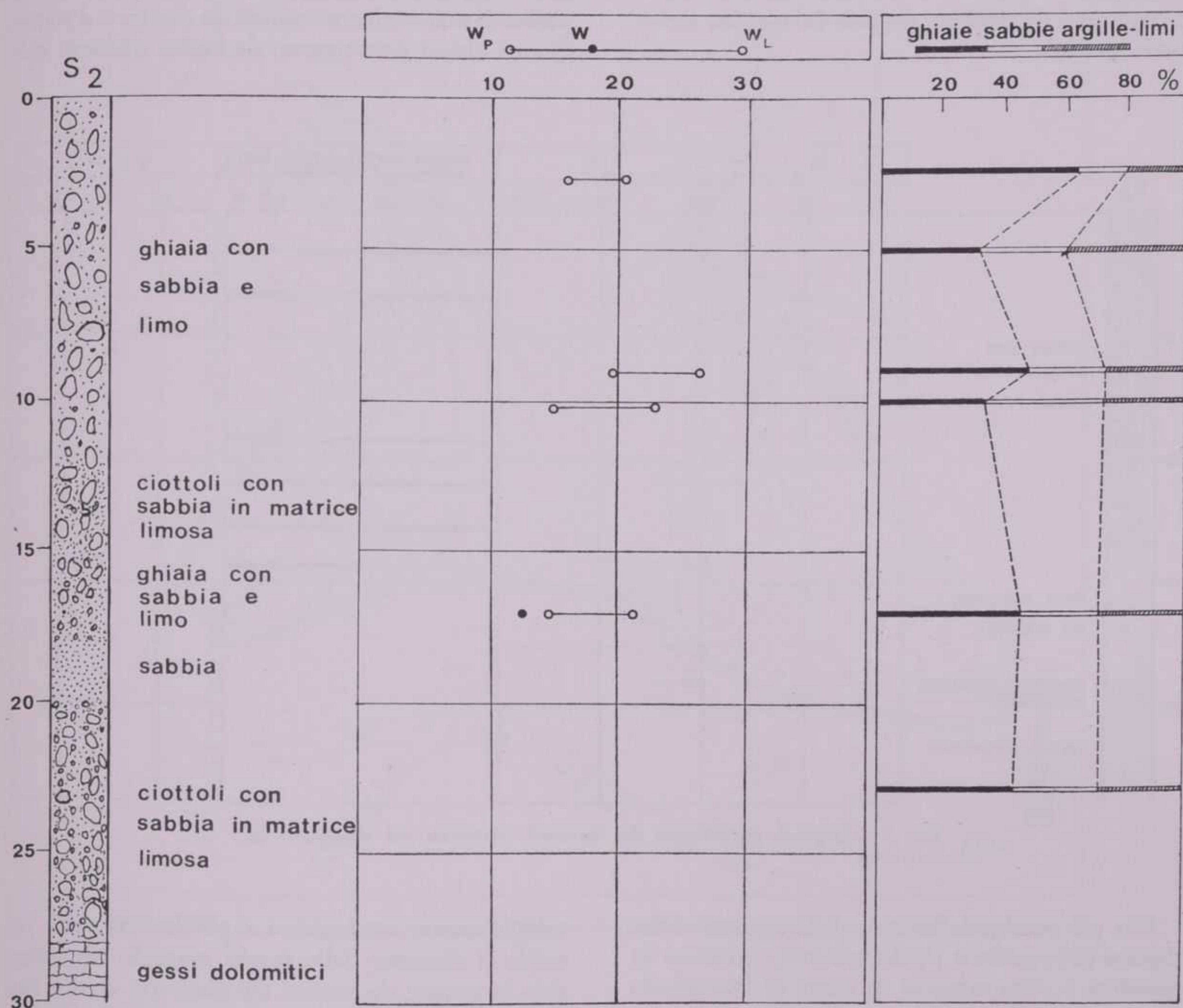


FIG. 6 - Proprietà significative dei materiali incontrati nel sondaggio S₂.

I rilevamenti effettuati indicano inoltre che nell'area interessata dal dissesto e precedentemente delimitata, il basamento roccioso risulta costituito da litotipi gessosi, che affiorano peraltro unicamente in prossimità dell'alveo del Torrente Pesarina.

Una conferma di questa situazione si è avuta dalle indicazioni dei sondaggi geognostici eseguiti, mediante i quali è stato possibile attraversare tutta la coltre detritica e penetrare più o meno profondamente nella massa rocciosa sottostante. La profondità di esplorazione raggiunta in quest'ul-

certare la presenza nella roccia di spazi vuoti o di reticoli di fessure dovuti a dissoluzione, fenomeni che erano stati ipotizzati nei lavori in precedenza citati.

Al riguardo non è emerso durante le terebrazioni alcun indizio di cavità o di altre alterazioni di natura carsica, la cui presenza sarebbe stata chiaramente avvertita da locali incrementi di velocità di perforazione e da improvvise perdite d'acqua.

Viceversa si è constatato un ottimale comportamento meccanico e di tenuta idraulica del basamento roccioso esplorato, essendosi ottenuta una

percentuale di carotaggio (R. Q. D.), in tutti i fori effettuati, superiore al 90%, ciò che indica tra l'altro l'assenza di fratturazioni di origine tettonica. Anche là dove l'area è attraversata da linee di disturbo le rocce gessose, piuttosto che processi cataclastici, hanno subito fenomeni plicativi di tipo plastico, conservando pressoché inalterate le loro proprietà tecniche e mantenendo nell'insieme le condizioni di giacitura proprie del quadro strutturale generale.

$2H_2O=55\%$; $CaMg (CO_3)_2=35,68\%$; $CaCO_3=6,78\%$; altri $2,19\%$.

In base a questi dati il tipo litologico fondamentale del basamento roccioso può essere definito un « gesso dolomitico ».

Morfologia superficiale. L'abitato di Prato Carnico sorge su una conoide alluvionale dovuta al deposito di materiali convogliati da due corsi d'acqua. Questi ultimi provengono da bacini adiacenti e li-

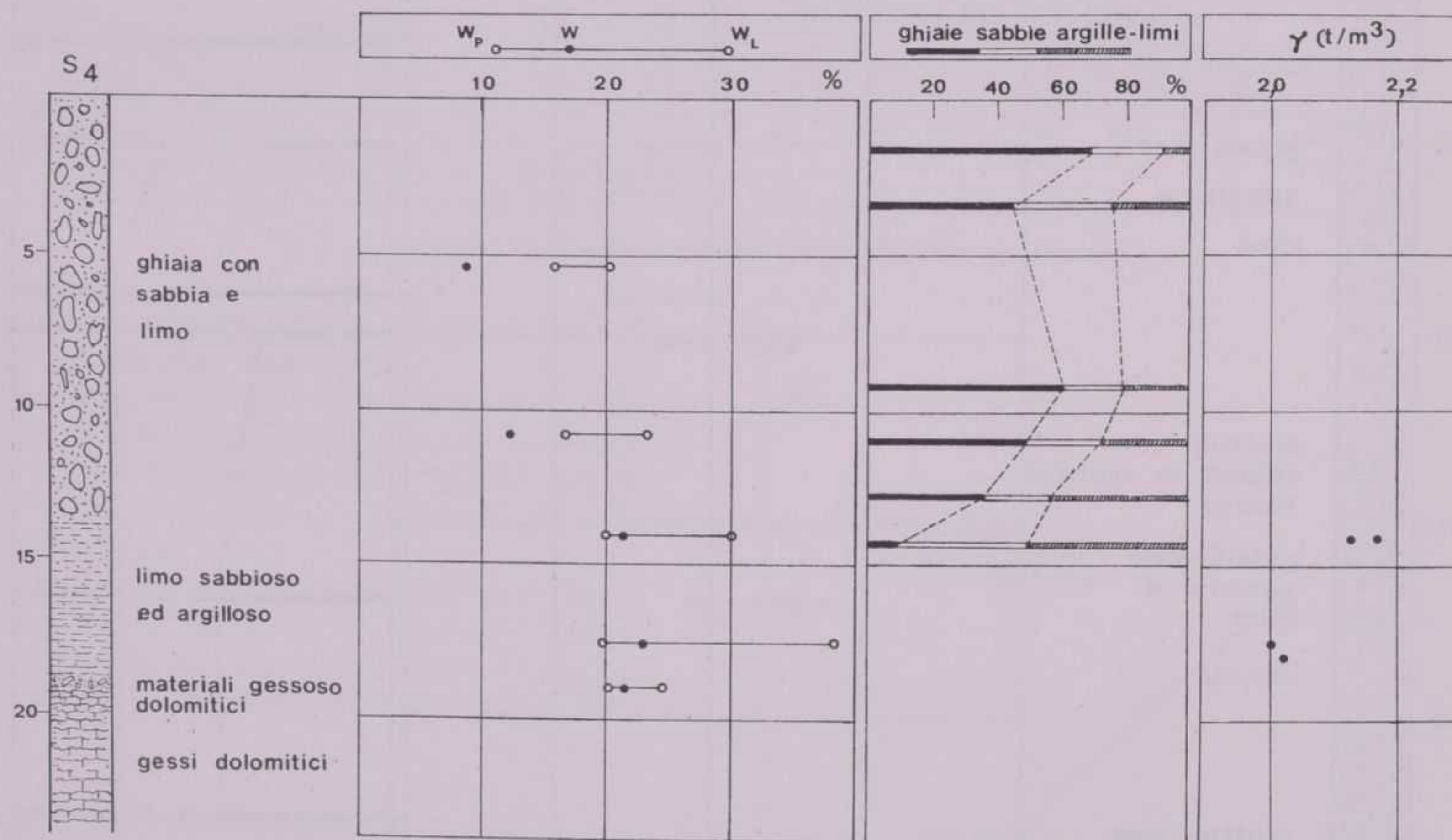


FIG. 7 - Proprietà significative dei materiali incontrati nel sondaggio S₄.

Una più precisa definizione delle caratteristiche chimico-petrografiche ⁽¹⁾ del substrato roccioso in questione è stata ottenuta da esami di laboratorio su di un campione rappresentativo.

L'analisi chimica effettuata in parte per spettrometria e fluorescenza ai raggi X, in parte per assorbimento atomico e in parte ancora per via gravimetrica e volumetrica ha dato i seguenti risultati: $CaO=32,50\%$; $MgO=7,80\%$; $CO_2=20,01\%$; $SO_3=25,59\%$; $H_2O^+=11,50\%$; $SiO_2=1,24\%$; $Al_2O_3=0,45\%$; $Fe_2O_3=0,12\%$; $FeO=0,19\%$; $MnO=0,01\%$; $Na_2O=0,03\%$; $K_2O=0,13\%$. Somma totale $99,57\%$.

Detta composizione chimica corrisponde alla seguente composizione mineralogica teorica: $CaSO_4 \cdot$

⁽¹⁾ Si ringrazia il Prof. A. GREGNANIN che si è cortesemente occupato dell'analisi chimica e relativa elaborazione dei dati, su materiale raccolto dagli Autori.

tologicamente analoghi. La planimetria della conoide si discosta dalle forme normali, rappresentate in genere da settori circolari con vertice ben definito. In questo caso l'accumulo delle alluvioni si riscontra attualmente nella parte compresa tra i due corsi d'acqua, i quali scorrono lungo le aree laterali più depresse e sensibilmente incise. Ne risulta così nell'insieme una configurazione planimetrica di forma grosso modo trapezoidale con base minore verso l'alto (Fig. 8). La base maggiore coincide col ciglio della ripida scarpata che scende verso il Torrente Pesarina. Essa presenta un andamento sinuoso con una pronunciata rientranza in corrispondenza all'area di dissesto in precedenza individuata.

Da livellazioni eseguite sulla coltre quaternaria in senso trasversale al decorso dei due torrenti, non si sono avvertite apprezzabili variazioni altimetri-

che della superficie topografica, fatte salve le incisioni laterali dei torrenti stessi.

Risulta invece di particolare interesse l'esame di dettaglio dei profili longitudinali della conoide.

Facendo riferimento alle misure topografiche effettuate sull'allineamento in corrispondenza ai son-

con punte massime attorno ai 20° dovute soprattutto ad intervento antropico, i valori di pendenza oscillano dai 5° ai 15° circa.

Le variazioni altimetriche testé descritte sono estrapolabili a tutta l'area della conoide; fa eccezione il settore a valle della zona urbana dissestata

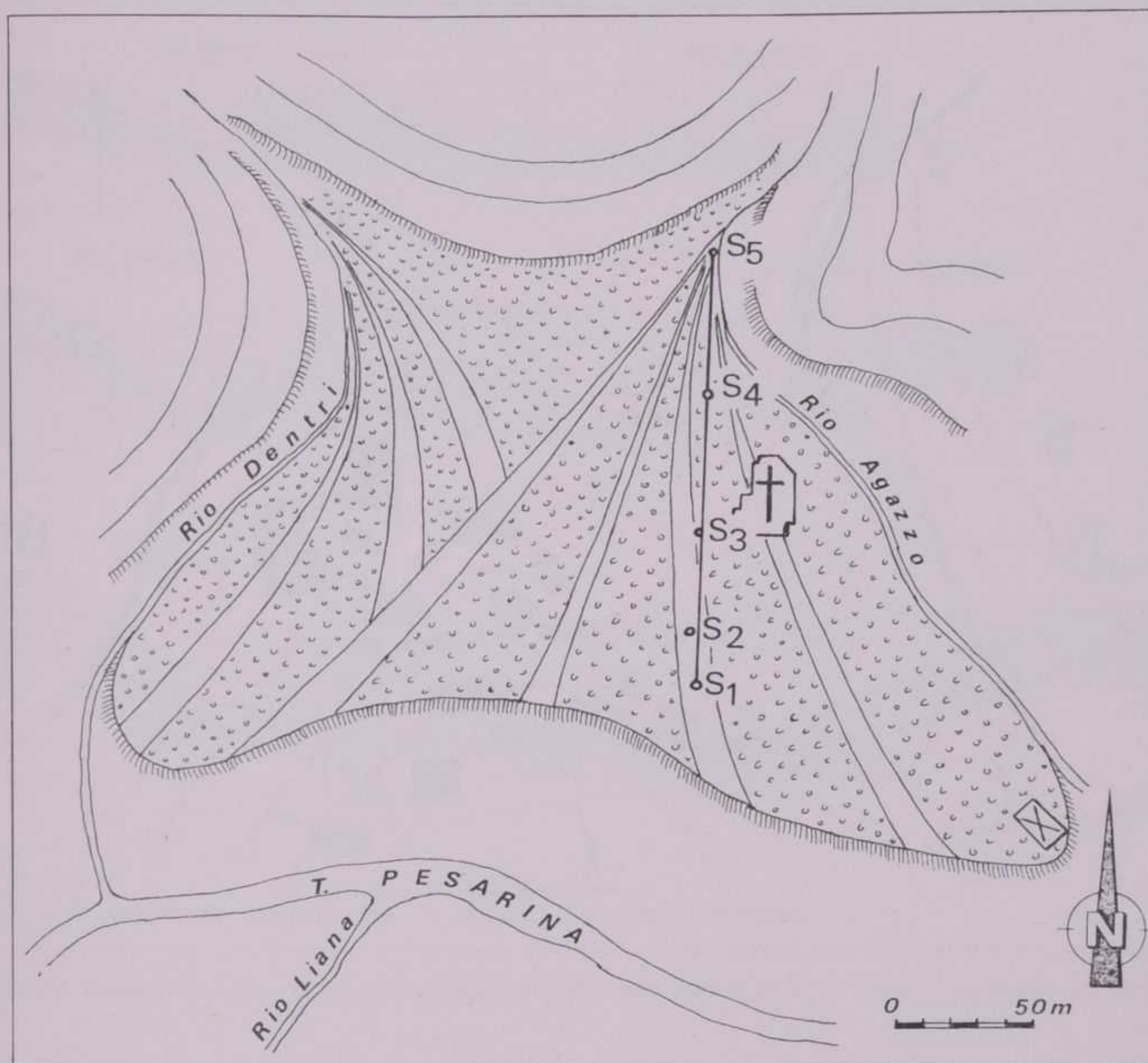


FIG. 8 - Rappresentazione planimetrica della conoide di Prato Carnico, con ubicazione dei sondaggi $S_1 - S_5$.

daggi S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 , si ricava che la differenza di quota tra l'unghia della conoide in prossimità del Torrente Pesarina ed il limite settentrionale della stessa raggiunge approssimativamente i 90 m. Si tratta di un profilo altimetrico complesso, lungo il quale le pendenze non sono omogeneamente distribuite. L'acclività maggiore si riscontra in corrispondenza al tratto terminale della conoide e cioè tra il ciglio della scarpata e l'unghia della conoide stessa, dove si sono misurati valori intorno ai 25° .

Immediatamente a monte del ciglio della scarpata si avverte una marcata rottura di pendio con breve tratto pressochè pianeggiante o quasi. Per il resto, a prescindere da locali variazioni anomale

ove, in corrispondenza all'arretramento del ciglio di scarpata, si riscontrano su quest'ultima valori di pendenza notevolmente più accentuati di quelli sopra indicati.

Morfologia del substrato. Al di là dell'attuale morfologia di superficie, era legittimo presumere l'esistenza di particolari forme erosive, oggi sepolte, nell'ambito del substrato roccioso. Tale evenienza era maggiormente ipotizzabile per il settore orientale dell'area in esame, se si considera che eventuali tracce paleoidrologiche di maggior rilievo potevano essere attribuite di preferenza al Rio Agazzo, contraddistinto da più marcati caratteri di senilità.

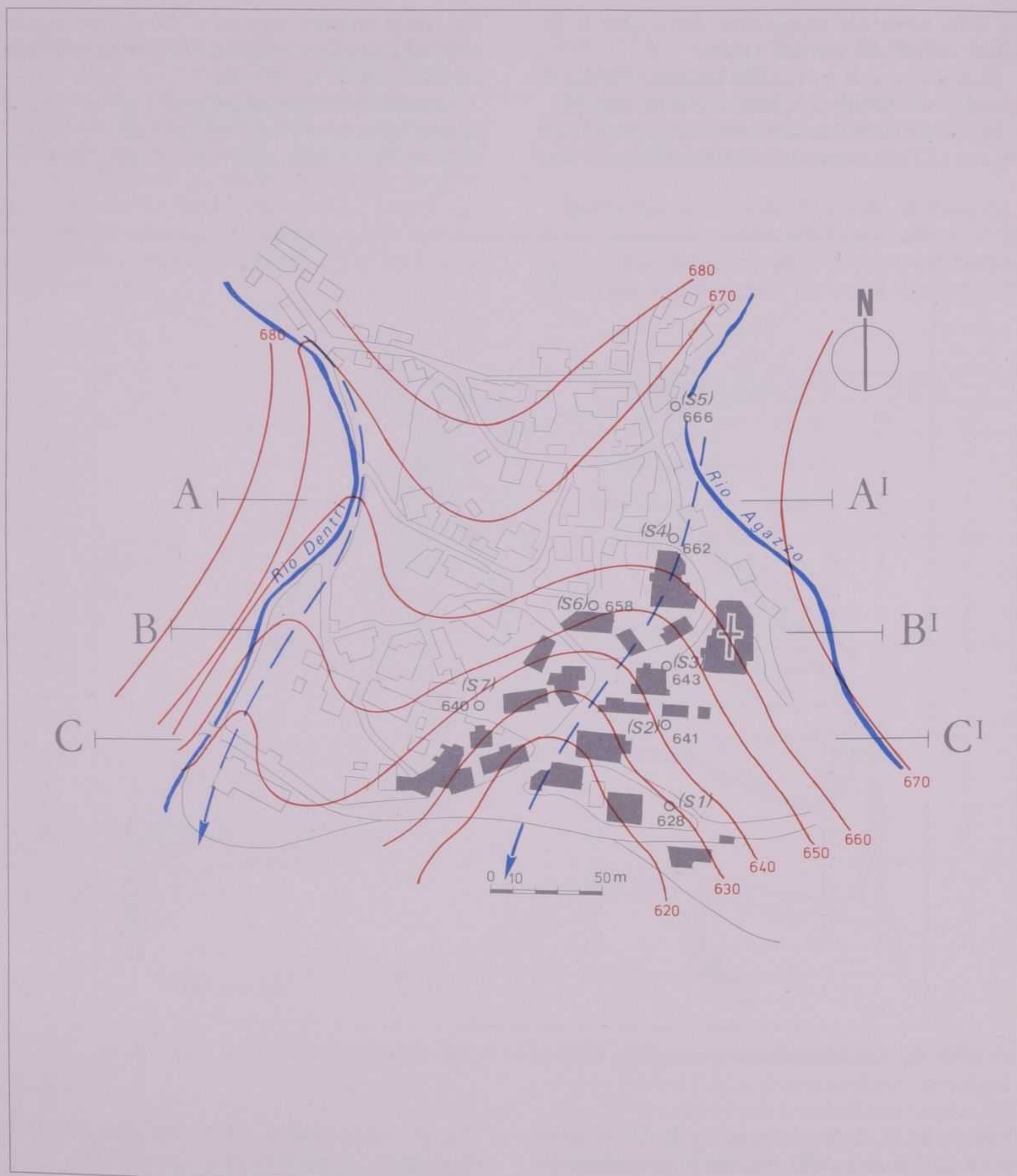


FIG. 9 - Carta delle isoipse del basamento roccioso (in rosso) con indicazione dei deflussi superficiali (linee blu continue), dei deflussi sotterranei (linee blu discontinue) e della traccia dei profili di figura 10 (in grigio scuro).

Per quanto riguarda il Rio Dentri era difficile pensare a vecchi percorsi sensibilmente diversi da quello attuale, trovandosi esso ancora in una fase più giovanile, con pronunciate pendenze longitudinali, ben lontane da un profilo di equilibrio, con alveo scavato in roccia ad eccezione della parte terminale.

L'attendibilità di queste induzioni di carattere idrologico era confortata da indizi di altra natura, quali l'accertata presenza di elementi idrogeologici di particolare significato cui accenneremo in seguito e anche la peculiare ubicazione dell'area di dissesto già più volte menzionata.

L'insieme di tutte queste circostanze ha rappresentato il punto di partenza per intraprendere una accurata ricerca sull'argomento al fine di acquisire dati di maggior concretezza e precisione. A tale riguardo è risultata di grande utilità l'esatta determinazione della quota dei punti di sondaggio.

Il documento cartografico così ottenuto (Fig. 9) mostra nell'insieme una superficie inclinata da monte a valle, con variazioni di pendenza di lieve entità nel settore settentrionale e con un accentuato incremento dei valori dell'acclività nel settore meridionale. Detta superficie risulta sensibil-

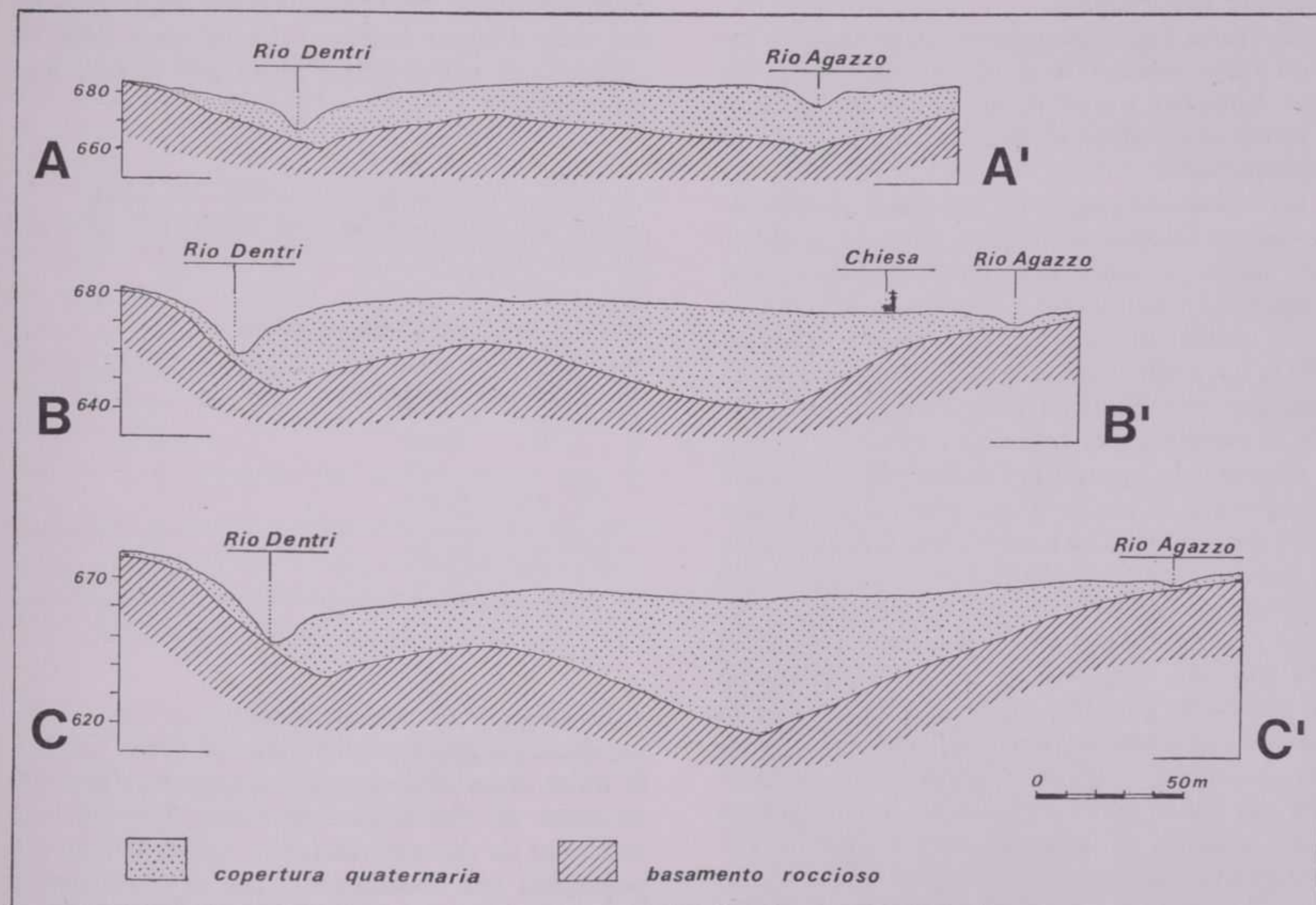


FIG. 10 - Profili geologici condotti in direzione Est-Ovest nella zona abitata di Prato Carnico. La traccia dei profili è indicata in figura 9.

Si ricorda a questo proposito che per la parte altimetrica ci si è appoggiati come quota di riferimento a quella della base dello spigolo nord-orientale della torre campanaria di Prato Carnico, fissata in 660,00 metri s.l.m., dopo averne accertata l'attendibilità. Sulla scorta di tali dati e tenendo in considerazione gli spessori della copertura quaternaria si è pervenuti alla determinazione delle quote della superficie rocciosa sepolta, in corrispondenza dei vari punti terebrati.

Oltre a queste operazioni si è proceduto alla determinazione altimetrica di affioramenti rocciosi particolarmente indicativi, integrando in tal modo i dati prima rilevati. Si è ottenuta così una rete di punti quotati che, pur presentando una certa inomogeneità di distribuzione areale, si sono tuttavia rivelati sufficienti e validi per la determinazione delle isoipse relative alla superficie sepolta.

mente incisa ad occidente in corrispondenza all'incirca dell'attuale percorso del Rio Denti. La sua parte orientale è contraddistinta invece da un accentuato avvallamento a forma di cucchiara, con asse di approfondimento diretto da nord-est a sud-ovest, direzione che, congiuntamente alla configurazione della depressione morfologica stessa, permette di riconoscere un tratto del vecchio alveo del Rio Agazzo.

Idrogeologia. Il problema principale era quello di stabilire la possibile esistenza di una falda acquifera o quantomeno di direzioni preferenziali di deflusso sotterraneo nell'ambito della zona in studio.

Il primo fattore da tenere presente a questo riguardo è rappresentato dal comportamento idrogeologico delle formazioni costituenti la zona stessa.

Ricordando quanto è già stato ampiamente illustrato, si constata che il basamento roccioso risulta essere costituito da gessi dolomitici del Permiano superiore e da arenarie più o meno argillose della formazione di Val Gardena. Queste ultime, data anche l'assenza di fenomeni cataclastici e di fessurazione diffusa, si possono considerare sostanzialmente impermeabili.

D'altra parte è già stato rilevato in precedenza un buon comportamento di tenuta idraulica anche dei gessi dolomitici, i quali durante i sondaggi eseguiti hanno manifestato sempre costanti caratteri di impermeabilità.

Sul basamento poggia un materasso alluvionale di spessore abbastanza rilevante, formato da ghiaie con sabbie e limo, debolmente argillose, che comportano infiltrazione e circolazione d'acqua.

Da questo sintetico inquadramento è ipotizzabile in via preliminare la possibile esistenza di un acquifero, con limite di permeabilità coincidente con la superficie del substrato roccioso.

Constatando tuttavia la sensibile variabilità della superficie in parola (Figg. 9-10) si può presumere che i soli apporti meteorici su di una zona così ristretta, sarebbero insufficienti a garantire una rilevante circolazione d'acqua nel sottosuolo per tutta l'estensione dell'area considerata. Ne deriva che una falda acquifera di una certa consistenza ed estensione potrebbe essere giustificata solo in rapporto ad eventuali acque affluenti dal territorio contermini. A questo riguardo vanno considerati due fattori idrici che potrebbero configurarsi come elementi di alimentazione: i torrenti che lambiscono lateralmente l'abitato di Prato Carnico e l'orizzonte sorgentifero posto a monte dell'abitato stesso.

Il Rio Dentri scorre in roccia fino a q. 670, mentre a valle risulta inalveato nelle sue stesse alluvioni. In quest'ultimo tratto il suo deflusso è stato regolamentato con briglie e con una breve canalizzazione in corrispondenza alla strada statale della Val Pesarina.

Laddove l'alveo è inciso in roccia è da escludere una sua azione disperdente con deflussi laterali. Questa eventualità potrebbe presentarsi invece per il tratto terminale. Riferendoci tuttavia alla configurazione geomorfologica della valle (Fig. 10) si osserva che esiste una sostanziale congruenza tra alveo superficiale e alveo sepolto, quest'ultimo con un profilo trasversale assai più ampio e svasato del primo. Tali condizioni determinano nell'insieme, sotto il profilo idrogeologico, un marcato asse di drenaggio verso il quale convergono sia i deflussi superficiali, sia quelli sotterranei.

Analoghe conclusioni possono essere riferite anche al tronco medio superiore del Rio Agazzo. Nel tratto inferiore di quest'ultimo, a partire da una

cinquantina di metri a monte della chiesa parrocchiale, si è potuto accertare invece una situazione del tutto particolare, per cui l'attuale asta del Rio Agazzo si discosta notevolmente dal vecchio percorso che si identifica col paleoalveo al quale si è accennato nel paragrafo precedente (Figg. 9-10). In tale quadro l'alveo sepolto esercita non solo una evidente azione di richiamo delle acque disperse dal corso d'acqua attuale, ma costituisce anche un elemento di convergenza idrica per le altre aree contermini.

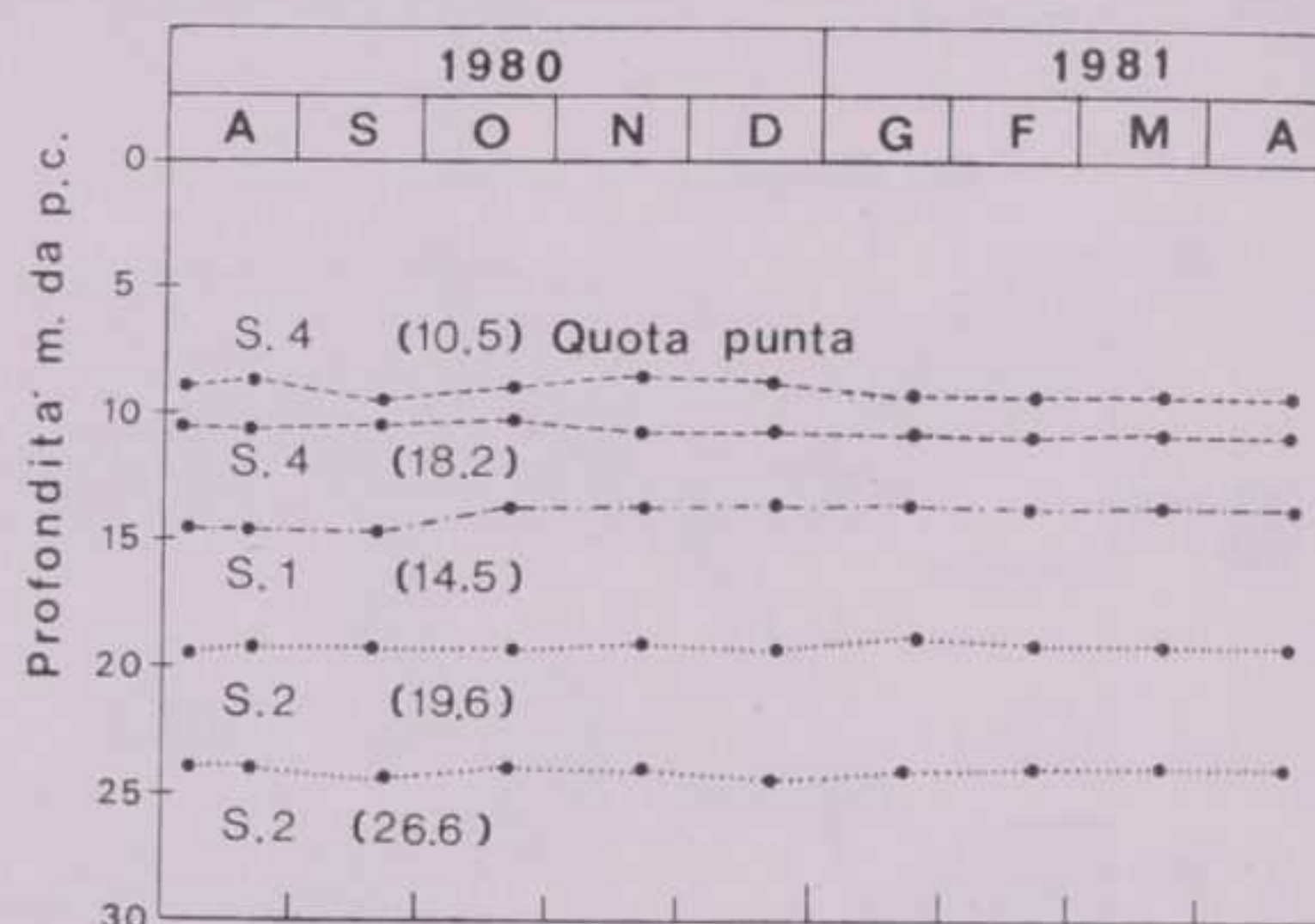


FIG. 11 - Andamento dei livelli piezometrici.

Rimangono da esaminare infine le acque sorgive ubicate a monte dell'abitato di Prato Carnico. Si tratta di un allineamento di sorgenti alimentate da acque di circolazione in roccia. L'acquifero è costituito da dolomie cariate e calcari bituminosi, permeabili per fessurazione, che si dispongono a formare una struttura sinclinale. Il limite di permeabilità dell'acquifero è ben definito e rappresentato dagli ormai noti gessi dolomitici del Permiano superiore. Questa struttura idrogeologica assume massimo sviluppo e quindi una notevole capacità di immagazzinamento solo in corrispondenza del versante sinistro del Rio Dentri, limitatamente al quale vengono a giorno le acque sotterranee mediante sorgenti di emergenza. I deflussi idrici così originati confluiscono integralmente, dopo breve tratto, nel Rio Dentri, rientrando in tal modo nello schema idrogeologico di quest'ultimo.

Da questa schematica visione di insieme si possono trarre le seguenti conclusioni.

La maggior parte dell'abitato di Prato Carnico è ubicata in corrispondenza ad una zona di spartiacque idrogeologico, in cui la presenza d'acqua nel sottosuolo, legata ai soli afflussi meteorici, dovrebbe essere di modesta entità.

Una situazione del tutto diversa è stata accertata nel settore sudorientale del paese dove, in corrispondenza del vecchio alveo del Rio Agazzo, il materasso alluvionale risulta costantemente impre-

gnato d'acqua per notevole spessore. Per investigare l'evoluzione nel tempo dei livelli di falda e per determinare la permeabilità della coltre sono stati posizionati in quest'ultima 5 piezometri di tipo Casagrande che hanno fornito i livelli piezometrici riportati in figura 11 (i piezometri sono individuati con il numero del sondaggio entro cui sono stati installati e con la quota della loro punta porosa).

La punta dei piezometri è stata posta per circa 1,0 metri entro un filtro di sabbia, mentre la parte restante del foro di sondaggio è stata intasata con argilla.

Le punte di alcuni piezometri raggiungono appena la superficie di saturazione; è stato comunque possibile eseguire tramite questi strumenti prove di permeabilità a carico variabile che hanno permesso di valutare, alle quote delle punte, i coefficienti di permeabilità orizzontale (k_h) della coltre che sono risultati sufficientemente uniformi; infatti si ha:

$$k_h = (5,5 \div 19) \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

Le prove sono state ripetute più volte, e i valori dei risultati ottenuti nelle varie posizioni hanno pertanto indicato una certa dispersione, come riportato in figura 12.

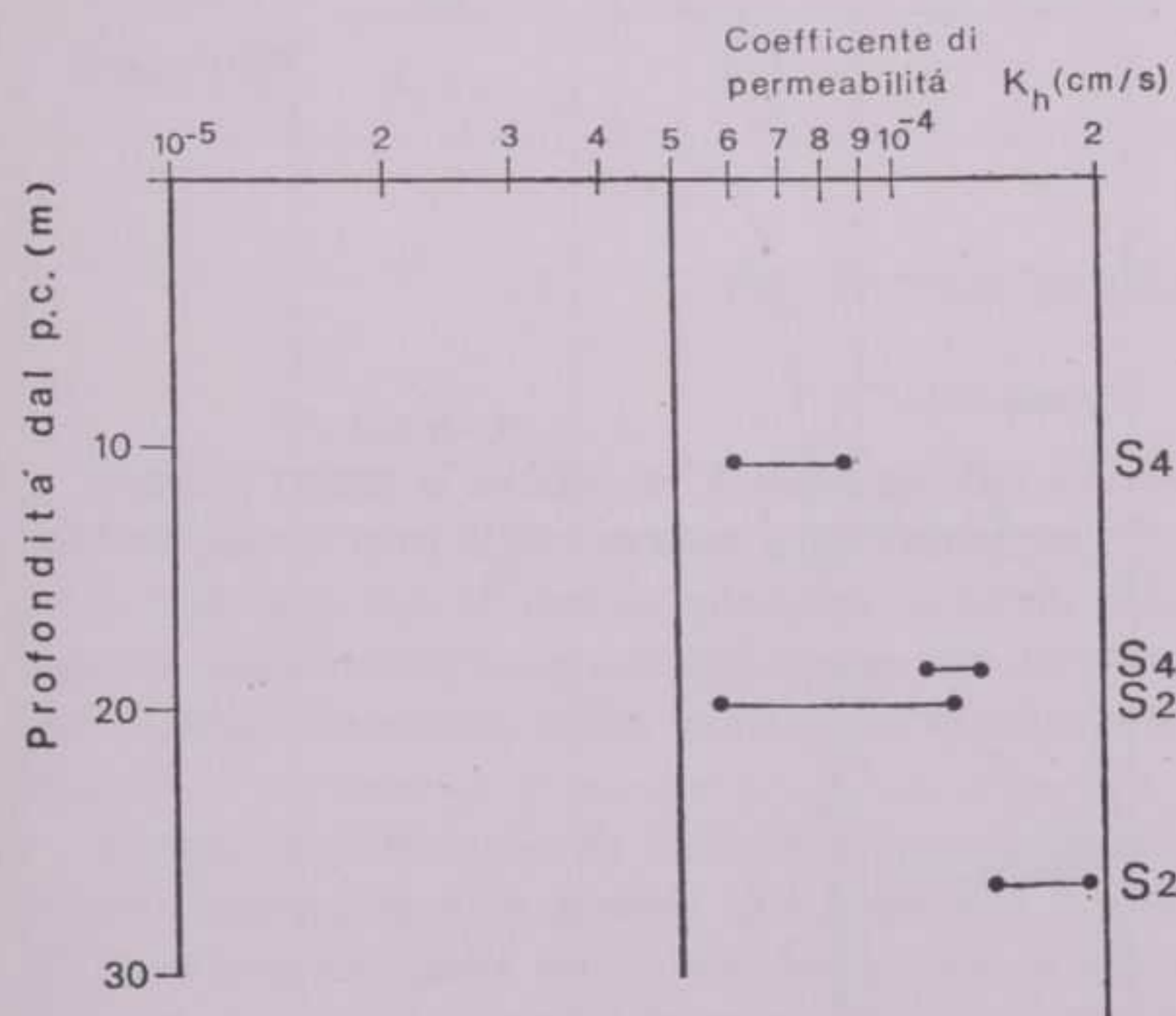


FIG. 12 - Valori dei coefficienti di permeabilità valutati *in situ*.

Infine, i livelli piezometrici osservati per un periodo di soli nove mesi, con un inverno estremamente secco, hanno avuto escursioni massime dell'ordine del metro e hanno indicato chiaramente che la coltre non è satura per tutto il suo spessore, ma che il flusso è delimitato da una superficie di saturazione posta mediamente 14-16 metri al di sotto della superficie del pendio.

La resistenza dei terreni di copertura. La determinazione dei parametri che caratterizzano la resistenza al taglio dei materiali della coltre è risultata complessa a causa della natura dei terreni che la costituiscono.

Considerando la successione stratigrafica, si incontrano, a partire dal piano di campagna, tre distinte formazioni:

- 1 - ghiaie sabbioso-limose, con frazione fine poco plastica;
- 2 - limi sabbiosi ed argillosi di media plasticità;
- 3 - materiali sciolti gessoso-dolomitici non plastici.

Le formazioni 2 e 3 sono caratterizzate da una certa discontinuità di estensione orizzontale.

E' stato possibile valutare i parametri della resistenza al taglio con l'apparecchiatura triassiale solo per i terreni del secondo gruppo, mentre la resistenza residua è stata determinata sui terreni del secondo e del terzo gruppo.

Vi è da dire che i terreni del primo gruppo, tuttavia, principalmente non o poco coesivi, hanno per loro natura resistenza al taglio piuttosto elevata; inoltre, in questa formazione, non sembra possa svilupparsi, anche in relazione alla situazione idrogeologica presente, un piano di resistenza limite e pertanto la conoscenza dei parametri resistenti di questa formazione non riveste, nel caso esaminato, particolare importanza pratica.

I terreni del secondo e del terzo gruppo costituiscono due sottili livelli, caratterizzati da una certa discontinuità e posti al disopra del substrato roccioso, sui quali agiscono i massimi livelli di pressione neutrale e di sollecitazione al taglio.

Sui campioni di questi livelli sono state eseguite, con l'apparecchiatura di taglio anulare di tipo BROMHEAD (1977), prove meccaniche per determinare la resistenza al taglio residua. I risultati ottenuti sono rappresentati in figura 13 nel piano $\tau/\sigma'_n - \sigma'_n$ e si riferiscono a campioni di terreno rimaneggiati, le cui principali caratteristiche di classificazione sono riportate in Tabella 1.

TABELLA 1 - Caratteristiche di classificazione dei materiali su cui sono state eseguite prove di resistenza meccanica

Materiali	I_p	$W_L\%$	$<0,42\text{mm}\%$	$<2\mu\%$
a) Gessoso-dolomitici	0	0	100	0
b) limi argillo-sabbiosi	8	28	71	12
c)	14	33	82	16

E' stata sottoposta a prova la parte dei campioni passante al vaglio U.S. Standard n° 40.

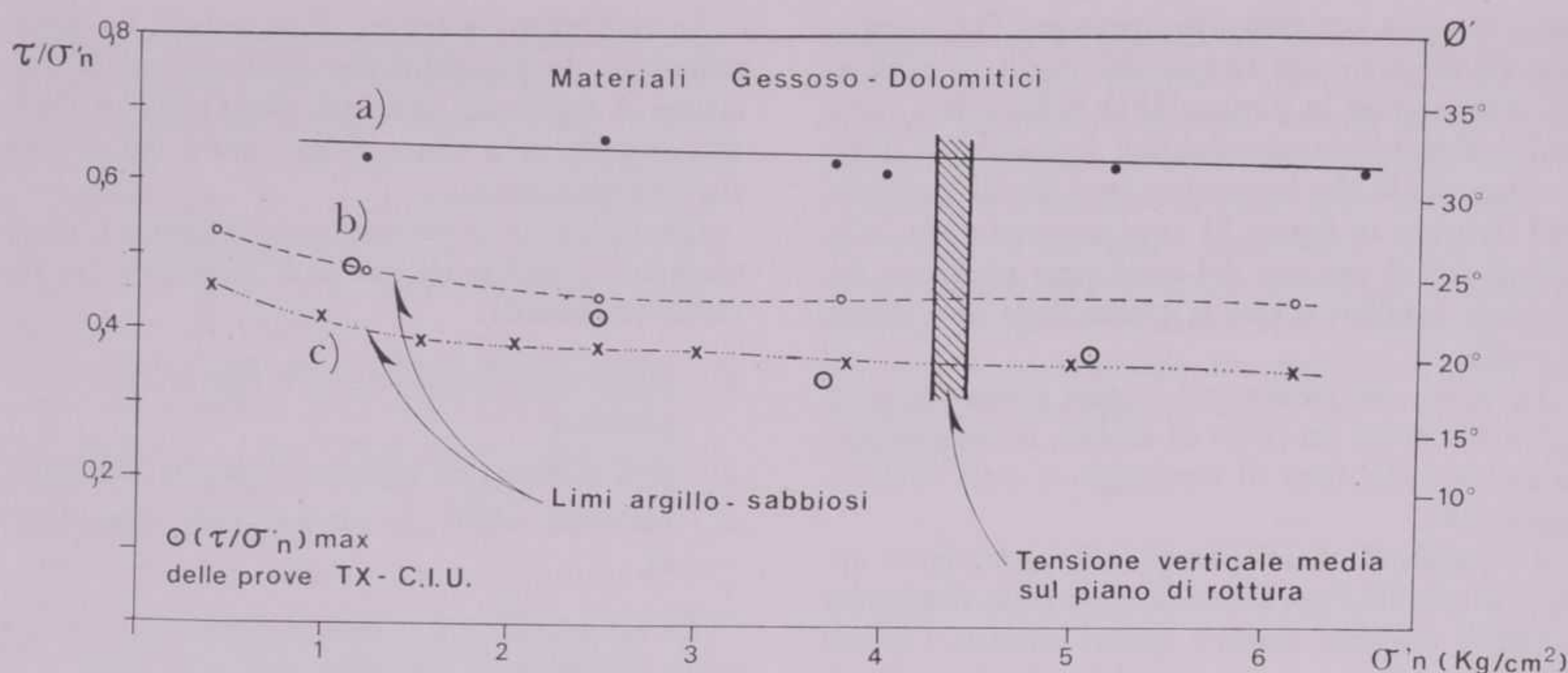


FIG. 13 - Resistenze normalizzate espresse in funzione delle pressioni normali effettive.

Le velocità angolari impiegate sono state di $0,36^\circ/\text{min.}$ ed i campioni sono stati deformati fino a determinare il minimo rapporto τ/σ'_n .

Si può osservare che, per ogni valore della tensione verticale effettiva di consolidazione σ'_n le resistenze normalizzate (τ/σ'_n) dei materiali gessoso dolomitici sono risultate ben superiori a quelle offerte dai terreni plastici e che questi ultimi, in corrispondenza della tensione effettiva media presente sul supposto piano di scivolamento del pendio ($\sigma'_n = 4,12 \div 4,22 \text{ Kg/cm}^2$) esibivano angoli di attrito residuo $\Phi'_r = 19,5^\circ \div 24^\circ$ a seconda della plasticità più o meno alta del campione esaminato.

Le caratteristiche di resistenza sono state determinate, con l'apparecchiatura triassiale, sui due soli campioni indisturbati che è stato possibile prelevare nel livello plastico.

Per poter disporre di un più elevato numero di informazioni, ogni prova è stata effettuata con due fasi distinte di consolidazione. Dopo una prima fase di consolidazione i provini sono stati deformati, mai più del 5,5%, sino a raggiungere i valori massimi di resistenza.

E' seguita una seconda fase di consolidazione e quindi di deformazione a rottura in condizioni non drenate (T. C. KENNEY e G. H. WATSON, 1961; W. F. ANDERSON, 1974).

Durante la fase di taglio è stata misurata la pressione interstiziale.

Questa metodologia è giustificata solo dall'esiguo numero di campioni indisturbati disponibili; essa tuttavia lascia qualche perplessità, in relazione soprattutto alla possibilità che un disturbo indotto sul campione, nella prima fase della prova, possa determinare qualche effetto nel corso della successiva fase di deformazione (P. W. ROWE e L. BARDEN, 1964).

Le curve sforzi-deformazioni, pressioni neutrali-deformazioni e gli stati tensionali a rottura vengono illustrati nelle figure 14 e 15 rispettivamente.

Si può osservare che, in ogni fase di deformazione, il valore massimo dello sforzo deviatorico

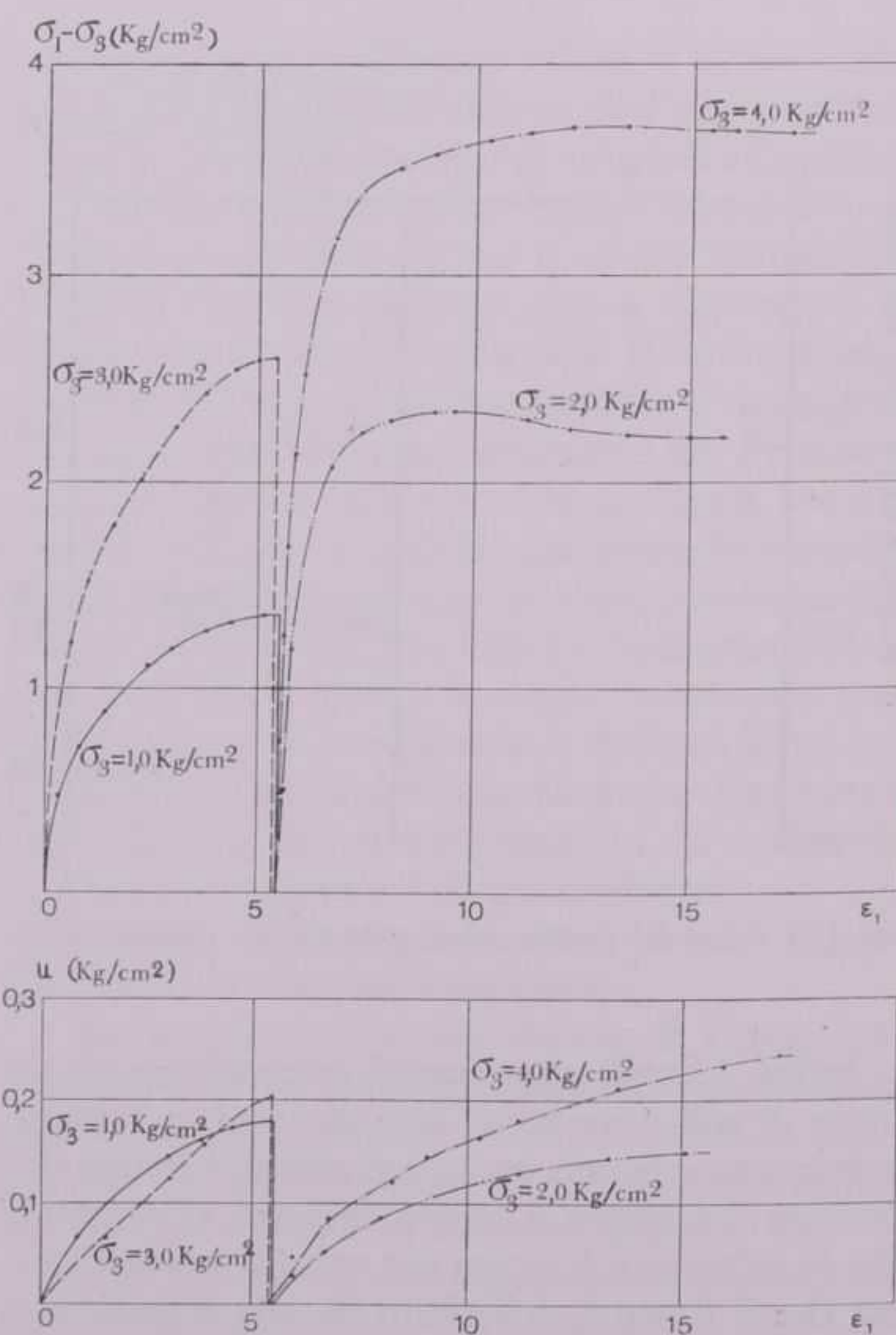


FIG. 14 - Tensione deviatorica e pressione neutrale in funzione della deformazione nelle prove triassiali.

$(\sigma_1 - \sigma_3)$ è stato raggiunto per deformazioni dell'ordine del 4 ÷ 6% e che il suo valore si è mantenuto pressoché costante nell'intervallo di deformazioni esaminate.

I parametri di resistenza al taglio determinati con le modalità illustrate sono i seguenti:

$$c' = 0,12 \div 0,16 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Phi' = 17,2^\circ \div 19,3^\circ$$

I massimi valori del rapporto τ/σ'_n desunti dalla figura 15 sono stati infine riportati nella figura 14, dove sono raccolti i risultati delle prove effettuate per determinare l'angolo di attrito residuo.

In particolare l'area di dissesto assume una forma planimetrica a settore circolare con apice rivolto verso monte ed è ubicata in corrispondenza ad un avvallamento sotterraneo, inciso nel substrato roccioso. La roccia di quest'ultimo non è affiorante, ma costantemente mascherata da una copertura quaternaria di notevole spessore.

La coltre detritica risulta nella sua parte inferiore perennemente impregnata d'acqua, come hanno testimoniato le periodiche misure piezometriche eseguite in foro. Si tratta di acqua drenata dalla depressione esistente nel basamento roccioso (alveo sepolto), in corrispondenza alla quale la circolazione idrica sotterranea viene alimentata soprattutto dalle acque del Rio Agazzo.

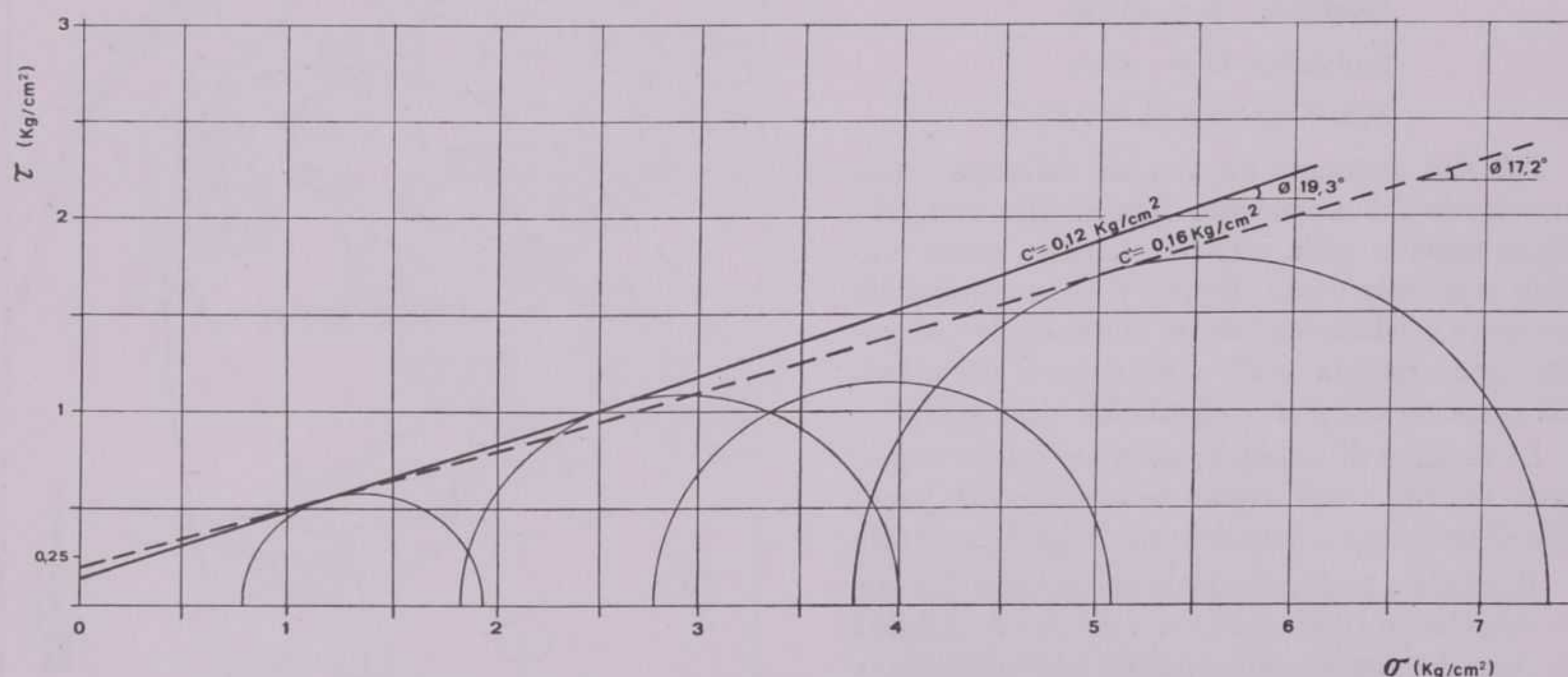


FIG. 15 - Stati tensionali a rottura nelle prove triassali.

Poiché, come è evidente, i risultati dei diversi tipi di prova non differiscono sensibilmente è lecito supporre che il livello plastico, a causa delle grosse deformazioni subite nel corso dei notevoli movimenti avvenuti, offra resistenza di tipo residuo.

Questo meccanismo di mobilitazione delle resistenze residue con le grandi deformazioni è stato evidenziato in molti studi sui fenomeni di dissesto conseguenti i processi franosi dovuti ad erosione al piede (BROMHEAD, 1978; HUTCHINSON *et alii*, 1980).

SITUAZIONE ATTUALE DI STABILITÀ E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dall'esame dei fatti sopra riportati si evince che il dissesto si è verificato su di un pendio relativamente acclive ($5^\circ - 15^\circ$), raccordantesi a valle con una ripida scarpata ($25^\circ - 26^\circ$) sul Torrente Pesarina.

I sondaggi meccanici, oltre le notizie riguardanti la copertura, hanno confermato quanto risultava dai rilevamenti geologici di superficie circa la natura litologica del basamento roccioso in corrispondenza dell'area in esame. Si tratta di gessi dolomitici del Permiano superiore che, per le loro buone caratteristiche di resistenza meccanica e di tenuta idraulica, risultano del tutto estranei ai processi di dissesto, i quali hanno interessato esclusivamente la copertura quaternaria.

I processi di dissesto furono avvertiti con maggior evidenza a partire dal 1882 (GORTANI, 1950), quando l'unghia della conoide di Prato Carnico, proprio in corrispondenza della zona di dissesto, venne profondamente erosa dall'azione di una violenta piena del Rio Liana, affluente di destra del Pesarina. In seguito a tale erosione si verificò un franamento di notevoli proporzioni la cui nicchia di distacco è individuabile nell'arcuata rientranza del ciglio del terrazzo. A monte di que-

st'ultima si ebbero in seguito movimenti di terreno che rappresentano in definitiva una lenta continuazione ed estensione di quel primo evento.

L'unico intervento di stabilizzazione, a tutt'oggi realizzato, consistente nella costruzione di una muratura in sponda sinistra del Torrente Pesarina in corrispondenza della confluenza con il Rio Liana, ha avuto l'effetto di bloccare il fenomeno erosivo, ma non ha migliorato le generali cattive condizioni di stabilità, che tuttora risultano piuttosto precarie.

La delimitazione dell'area di dissesto ha permesso di definire le sue caratteristiche geometriche che risultano essere:

larghezza $B = 150$ m

lunghezza $L = 230$ m

profondità $H = 45$ m

$B/L \approx 0,65$ e $H/L \approx 0,20$

Tali dati denotano un marcato carattere tridimensionale del movimento franoso che non può essere trattato, nelle verifiche statiche, come uno stato tensionale piano. Inoltre il volume instabile si muove condizionato da un substrato la cui immersione è ruotata di $25^\circ - 30^\circ$ rispetto alla massima pendenza del piano superficiale della coltre.

Le verifiche di stabilità sono state condotte pertanto facendo riferimento a sezioni verticali parallele all'immersione del substrato (Figg. 16a e 16b).

Il carattere tridimensionale del fenomeno è stato considerato conducendo le verifiche di stabilità su tre sezioni ugualmente spaziate ed il coefficiente di sicurezza globale (F) dell'ammasso è stato valutato considerando la media pesata dei coefficienti di sicurezza (F_i) relativi alle singole sezioni esaminate.

Il fattore che determina il peso da assegnare alle singole sezioni è il peso immerso del volume (W'_i) (per unità di profondità) della sezione; si ha quindi:

$$F = \frac{F_1 W'_1 + F_2 W'_2 + F_3 W'_3}{W'_1 + W'_2 + W'_3} = \frac{\sum_{i=1}^3 F_i W'_i}{\sum_{i=1}^3 W'_i} \quad (1)$$

$$\text{dove: } W'_i = \sum_j A_j \gamma'_j \quad (2)$$

A_j = Area della sezione a cui compete un peso di volume immerso γ'_j

Il metodo di calcolo adottato nelle verifiche è quello proposto da BELL (1968) che considera l'equilibrio delle forze e dei momenti dell'intera massa in movimento che slitta su una superficie di forma qualsiasi. La risoluzione del metodo in forma numerica è stata fornita da BARLA *et alii* (1974) ed è stata adattata per essere introdotta nel processore Data General (Nova 1220) da COLLESELLI *et alii* (1980).

E' stato deciso di considerare una pesata media del tipo espresso dalla relazione (1) anziché quella consigliata da LAMBE e WHITMAN (1969):

$$F = \frac{\sum_{i=1}^3 F_i A_i}{\sum_{i=1}^3 A_i} \quad (3)$$

poichè l'espressione (3) è adatta per verifiche in termini di tensioni totali mentre nel nostro caso l'analisi è stata condotta in tensioni effettive.

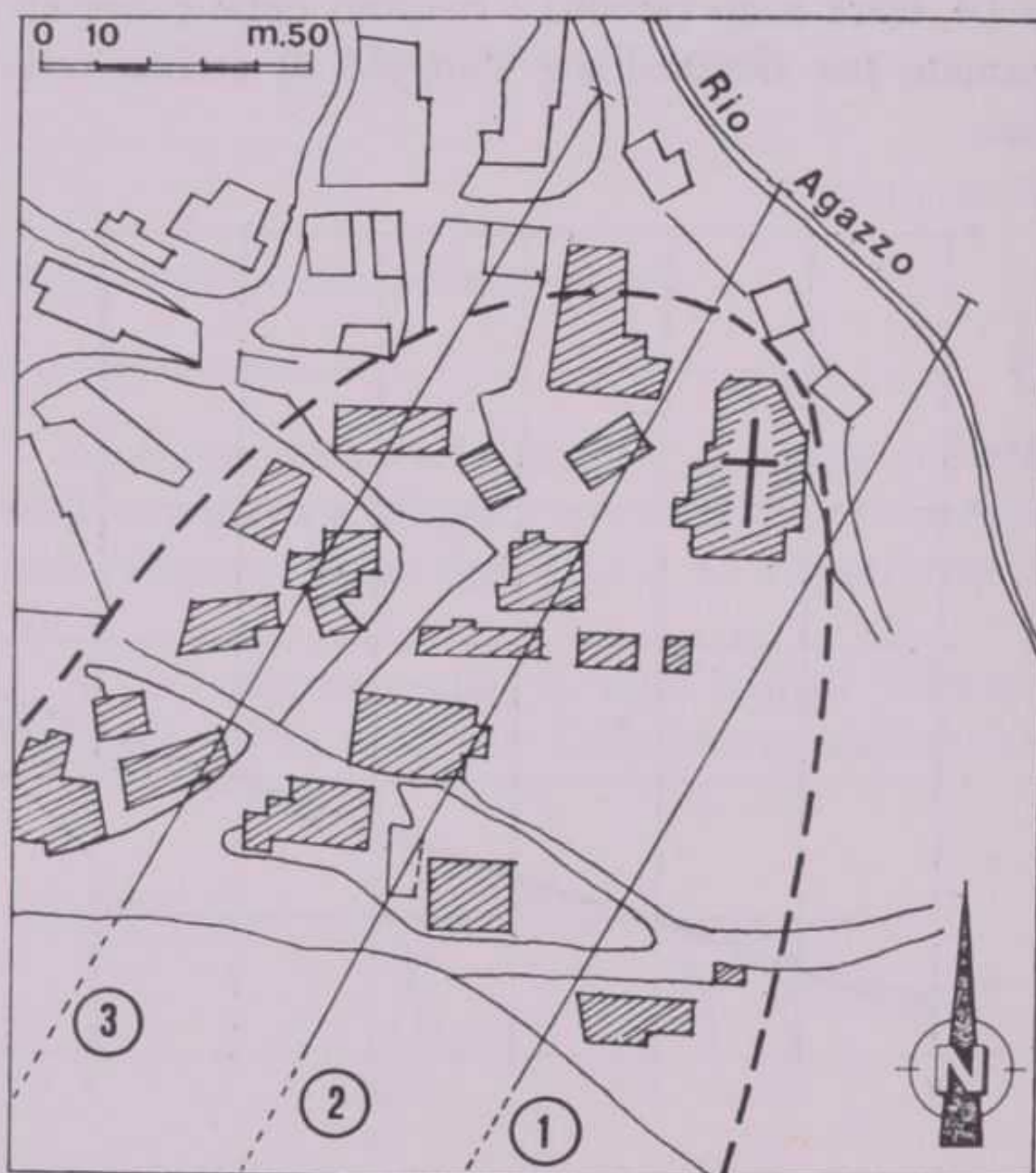


FIG. 16a - Traccia delle sezioni di figura 16b considerate nelle verifiche di stabilità. La linea tratteggiata delimita la zona di dissesto.

La conoscenza della topografia superficiale e di quella sepolta del substrato roccioso ha permesso la costruzione delle sezioni 1-2-3 di figura 16b; i coefficienti di sicurezza relativi ad una situazione con massimi livelli di pressione interstiziale presente sono riportati, con riferimento alle sezioni determinate, nella colonna 3 della Tabella 2.

TABELLA 2 - Sommario dei valori calcolati del coefficiente di sicurezza

(1) Sezione	(2) Coefficiente di sicurezza	(3) Situazione geometrica attuale	(4) Situazione geometrica modificata
1	F_1	0,95	1,07
2	F_2	1,11	1,20
3	F_3	1,19	1,30

F dato dalla relazione (1) $F_s = 1,09$ $F_e = 1,21$

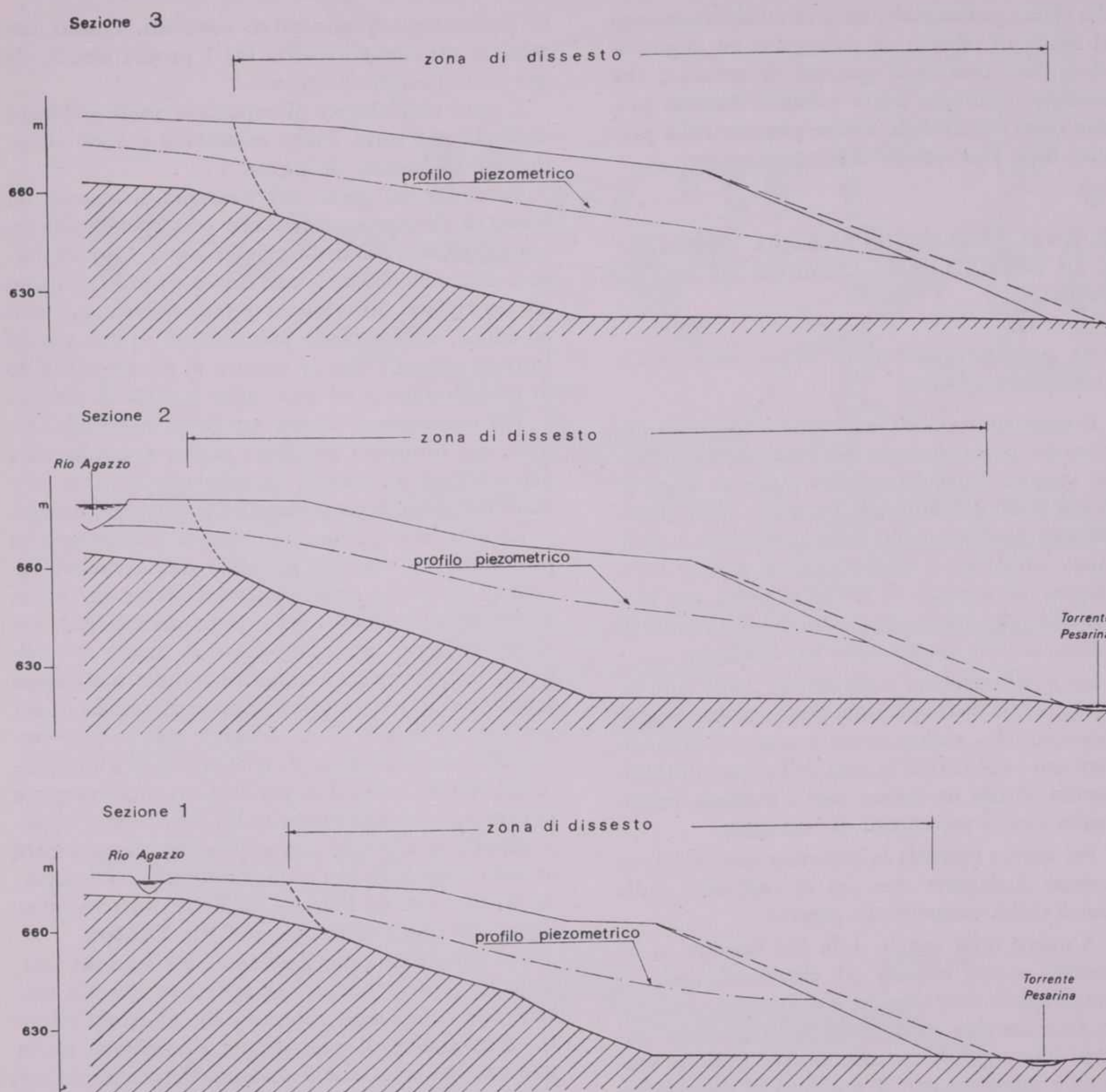


FIG. 16b - Sezioni considerate nelle verifiche di stabilità. La scarpata indicata con tratto discontinuo si riferisce alla proposta di stabilizzazione.

Il coefficiente globale di stabilità risulta $F = 1,09$, valore prossimo all'unità, determinato introducendo nelle verifiche i parametri residui di resistenza al taglio ($c'_r = 0$; $\Phi'_r = 19^\circ$).

Se si pensa di riportare il pendio nella situazione della probabile geometria originaria (indicata nelle sezioni di figura 16b con tratto spezzato), realizzando con un accumulo di materiale sulla scarpata terminale del pendio una scarpata più dolce ($\beta = 21,8^\circ$ anziché $\beta = 25,5^\circ$) si ottiene un incremento percentuale medio del coefficiente di sicurezza dell'intera zona di frana di:

$$\frac{\Delta F}{F_a} \cdot 100 = \frac{F_s - F_a}{F_a} \cdot 100 = 11\%$$

I valori dei coefficienti di sicurezza valutati, in queste condizioni geometriche, per ogni singola sezione sono riportati in colonna 4 della Tabella 2.

Un ulteriore incremento del coefficiente di sicurezza si può realizzare drenando con gallerie o dreni suborizzontali (la cui posizione deve essere determinata in base alle condizioni idrogeologiche presenti) la parte profonda della coltre.

L'incremento del coefficiente di sicurezza sarà funzione del tipo di opera drenante realizzata, oltre che dei fattori geometrici che caratterizzano interventi di questo tipo.

La regimentazione del corso del Rio Agazzo, con la sua canalizzazione, specie nel tratto a monte

della chiesa parrocchiale, indurrà un abbassamento del livello di falda e ne consegnerà un miglioramento delle condizioni generali di stabilità, che dovranno comunque essere valutate, tenendo presente i dati forniti dalle letture piezometriche protratte dopo l'esecuzione dell'intervento.

2 - ANALISI DI PARTICOLARI SITUAZIONI DI DISSESTO NEL COMUNE DI PRATO CARNICO

ZONA IMMEDIATAMENTE AD OVEST DELL'ABITATO DI PRATO CARNICO

Il substrato roccioso della zona è costituito per intero dai gessi dolomitici del Permiano superiore, che vengono abbondantemente a giorno lungo lo attuale alveo del Torrente Pesarina. Per il resto dell'area gli affioramenti sono assai scarsi e di limitata estensione e sono ubicati ai piedi e sulla scarpata del terrazzo di fronte al ponte per Pradumbli e sulla destra idrografica del Rio Denti in prossimità della statale della Val Pesarina.

Sia in affioramento e sia nei tre punti terebrati (Fig. 17) la roccia presenta buone proprietà geologico-tecniche, analogamente a quanto è stato riscontrato e riferito per la zona dell'abitato di Prato Carnico. Anche in questo caso i sondaggi hanno fornito elevate percentuali di carotaggio.

Per quanto riguarda la copertura quaternaria si possono distinguere due tipi di sedimenti, sulla base di criteri compositivi e genetici.

A monte della statale della Val Pesarina si ritrovano terreni eluviali ed eluvio-colluviali, di caratteristiche morfologiche e di spessore quali sono stati descritti nella parte generale. Sono depositi limo-argillosi con abbondante frazione sabbiosa e rappresentano il prodotto di degradazione delle rocce tipiche del Permiano.

Per il resto della zona il substrato roccioso è coperto da terreni alluvionali attuali e recenti. Particolare interesse rivestono le alluvioni terrazzate che costituiscono in parte aree suscettibili di urbanizzazione e in parte aree destinate a scopi agricoli. Questi terreni formano un terrazzo più o meno pianeggiante che degrada con una scarpata piuttosto ripida sulle alluvioni del fondovalle. Sulla scorta dei dati forniti dai tre sondaggi meccanici eseguiti lungo un profilo nord-sud, si ricava che gli spessori variano in breve spazio da un minimo di circa 7 m ad un massimo di 20 m. I sedimenti presentano una chiara deposizione gradata avvertibile dalla sovrapposizione di livelli granulometricamente differenti. Si passa da livelli di ghiaie fini limose a banchi con struttura più grossolana, composti da ciottoli e ghiaia limosa

in proporzioni quantitative variabili. Questi termini si ritrovano in tutti tre i profili seriali, sia pur con spessori differenti.

I tratti morfologici di superficie sono pressoché analoghi per tutta l'area esaminata e sono riconducibili al profilo di figura 17.

Partendo dal greto del Pesarina si osserva un tratto di debole pendenza che corrisponde alla attuale zona di esondazione delle acque. Questo tratto si raccorda a monte, con breve e ripida scarpata, ad un ripiano alluvionale relativamente più alto ed antico, che si scinde attualmente in due piccoli terrazzi minori e che si accosta al versante vallivo in corrispondenza ad una netta rottura di pendio.

Più interessante risulta essere la morfologia sepolta del substrato roccioso, ricostruita sulla base dei sondaggi meccanici, di sondaggi elettrici verticali e di periodiche misure piezometriche in foro.

Le alluvioni terrazzate recenti mascherano in profondità un vecchio percorso del Torrente Pesarina, con alveo inciso profondamente in roccia, la cui sezione mostra una certa dissimetria, con versante destro più complicato. A monte e a valle del vecchio alveo l'andamento della morfologia sepolta segue a debole profondità il profilo di superficie. In figura 17 è disegnata una sezione trasversale, che comunque da sola non indica il tracciato del vecchio corso d'acqua. Dalle ricerche eseguite in campagna si può tuttavia desumere come la valle sepolta si allunghi con andamento leggermente arcuato, ricollegandosi a quella attuale, da una parte nei dintorni di Pieria e dall'altra in corrispondenza del tratto terminale del Rio Denti.

Tra la vecchia valle, così come è stata illustrata, e quella attuale esiste una specie di dorsale rocciosa che risulta oggi coperta dalle alluvioni recenti. Questa zona di spartiacque sotterraneo tra le due valli assume la sua massima larghezza ad occidente della traccia del profilo riportato in figura, e va via via assottigliandosi fino a scomparire in prossimità del tratto terminale del Rio Denti, dove risulta essere interessata anche da fenomeni carsici, che sono all'origine della sorgente posta di fronte al ponte per Pradumbli. Il bordo meridionale della zona di spartiacque coincide con la scarpata di terrazzo che limita sulla sinistra idrografica l'attuale area di esondazione del Torrente Pesarina. Lungo tutta l'area di scarpata, per una larghezza variabile intorno ai 10-15 metri, il pendio è scomposto a gradoni, separati tra loro da spaccature e fenditure beanti ben rilevabili in superficie. Il processo di dissesto ha coinvolto sia il basamento roccioso e sia la sovrastante coltre alluvionale (Fig. 17). Si tratta di un fenomeno di collasso che suddivide il tutto in zolle allungate e disposte a gradinata, connesso in origine all'evoluzione morfologica del fondovalle e innescato dal-

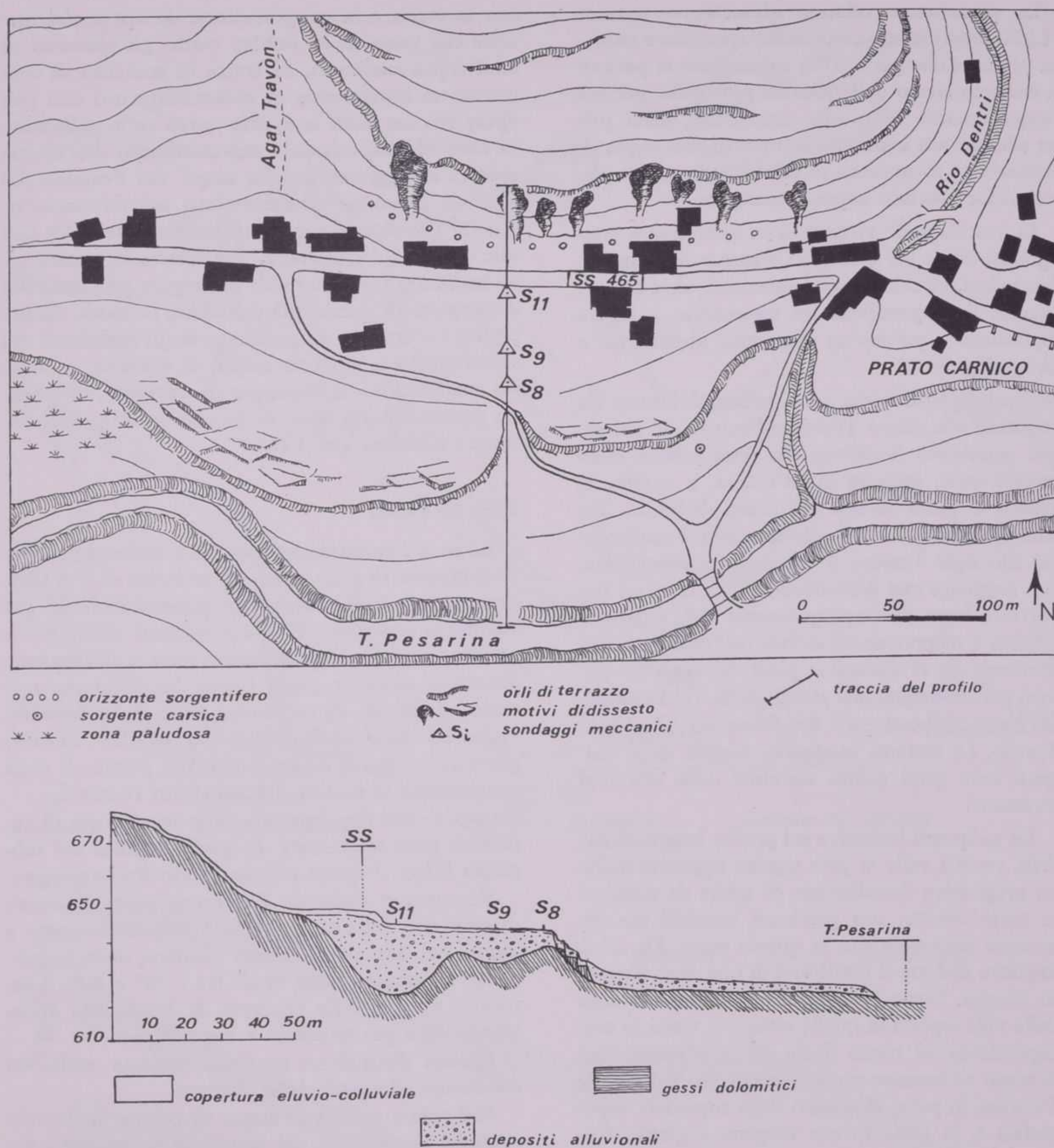


FIG. 17 - Tratti geomorfologici della zona immediatamente ad Ovest dell'abitato di Prato Carnico.

l'azione erosiva del torrente. Il dissesto è ancora oggi sensibilmente attivo a causa dell'azione aggressiva delle acque di subalveo sui gessi dolomitici del Permiano, acque che risultano particolarmente abbondanti e ben visibili all'estremità occidentale della zona, dove esiste una vera e propria palude.

Il quadro geomorfologico testé illustrato indica, almeno in parte, i lineamenti idrogeologici della zona. L'elemento maggiormente significativo sotto questo aspetto si identifica con la vecchia val-

le sepolta (Fig. 17). Quest'ultima infatti costituisce una struttura idrogeologica con acquifero rappresentato dai depositi alluvionali di riempimento, permeabili, e limite di permeabilità coincidente con la superficie del substrato roccioso. Questa superficie ha andamento ondulato e contraddistinto da due incisioni separate tra loro da un piccolo dosso. Le ripetute misure piezometriche, eseguite in corrispondenza all'incisione principale (-20,40 metri), hanno accertato una costante presenza d'acqua con livelli freatici varianti da -5 a -9 metri dal piano campagna.

Le piezometrie relative all'incisione minore (-12,20 metri) hanno evidenziato sporadica e modesta presenza d'acqua solo in coincidenza ai periodi di massimo invaso dell'incisione principale, per cui l'acqua tracima, in queste circostanze, dalla prima alla seconda concavità attraverso una soglia di permeabilità sotterranea in corrispondenza del piccolo dosso roccioso sopra menzionato.

La vecchia valle viene così in definitiva a configurarsi come un serbatoio freatico di cospicue dimensioni. La relativa alimentazione, oltre che dipendere dalle precipitazioni meteoriche, è legata soprattutto a particolari situazioni idrologiche e idrogeologiche.

Notevoli apporti idrici sono presumibilmente da imputarsi allo stesso Torrente Pesarina, le cui acque potrebbero immettersi in certa misura nella vecchia valle, laddove quest'ultima, a monte, si allaccia a quella attuale nei pressi di Pieria. Un altro elemento di sicura alimentazione è costituito dal Rio Agàr Travòn, il cui deflusso superficiale non raggiunge mai il fondovalle. Una terza ed importante fonte di impinguamento del serbatoio freatico è rappresentata inoltre dall'orizzonte sorgentifero che si allunga ai piedi del versante vallivo, parallelamente alla statale della Val Pesarina, nel tratto compreso tra il Rio Dentri ed il Rio Agàr Travòn. Le costanti erogazioni idriche delle sorgenti sono quasi subito assorbite dalle alluvioni terrazzate.

Da un'ipotesi induttiva sul profilo longitudinale della vecchia valle si può arguire oggettivamente un progressivo decadimento di quota da occidente verso oriente, con pendenze variabili ma comunque sempre rivolte in questo senso. Da ciò è implicito dedurre il verificarsi di una certa corrente freatica. Come è stato rilevato, la confluenza della valle sepolta in quella attuale si trova in corrispondenza del tratto finale del Rio Dentri. Qui le acque sotterranee confluiscono verso l'alveo del Pesarina, in parte al disotto della superficie topografica e, in parte invece vengono a giorno formando la già citata sorgente in roccia, ubicata ai piedi del terrazzo di fronte al ponte per Pradumbli. La notevole e perenne emergenza d'acqua (10-15 l/sec.) è un indice assai significativo di un marcato scorrimento in sottosuolo e quindi una conferma dell'esistenza di una corrente freatica nei termini sopra indicati.

Da questa sintetica fotografia dell'ambiente geologico si evince che per la salvaguardia e l'utilizzo del territorio in questione sono auspicabili due direzioni principali di intervento. La prima, più importante, consiste nel proteggere la scarpata di terrazzo prospiciente il Torrente Pesarina in modo da eliminare o contenere l'aggravarsi del dissesto

con la scelta e la progettazione di opere sistematiche che tengano in debito conto gli elementi di base sopra analizzati. Si tratta in sostanza di contenere un movimento di scoscendimento con una opera che contrasti le spinte verso valle della massa instabile, riparandola nel contempo dall'azione erosiva ed aggressiva delle acque del Pesarina. La seconda direzione di intervento sul territorio riguarda l'orizzonte sorgentifero a monte della statale della Val Pesarina. E' necessario in questo caso realizzare un sistema di drenaggio più razionale e completo di quello già esistente, in modo da impedire l'eventuale allagamento degli scantinati dei vicini edifici e, nel contempo, di favorire un rapido smaltimento delle acque di versante, che hanno provocato una serie di piccoli smottamenti durante l'alluvione del 1966.

ZONA DI PRICO

La zona è caratterizzata da un basamento roccioso composto in gran parte da arenarie di Val Gardena e in minor misura da gessi dolomitici del Permiano superiore (Fig. 18). Questi ultimi costituiscono una fascia piuttosto stretta e allungata in direzione est-ovest (vedi Carta del substrato roccioso). I terreni di copertura sono di natura eluviale ed eluvio-colluviale, presentano spessori piuttosto esigui e rispecchiano dal punto di vista compositivo la natura del substrato roccioso. Ne deriva che l'andamento della morfologia di superficie poco si discosta da quello sepolto del substrato litico, il quale affiora molto limitatamente.

Per quanto riguarda l'acclività possono essere distinti due settori: il primo, immediatamente a monte del cimitero di Prato Carnico, dove le pendenze misurano valori medi tra i 30° e 40°; il secondo, a valle della frazione di Prico, con andamento assai più morbido e meno ripido.

Questa distinzione areale è marcata anche da condizioni idrogeologiche diverse.

Nel primo settore le acque di origine meteorica e quelle provenienti dal territorio sovrastante, caratterizzato da alcune sorgenti, impregnano la coltre dei terreni superficiali in tutta la sua estensione, percolando lentamente e diffusamente a valle con deflusso ipodermico al disopra della superficie rocciosa sepolta che rappresenta un netto limite di permeabilità.

Nel settore più orientale invece i deflussi avvengono secondo tre direzioni preferenziali, identificantesi con altrettante valleciole allungate e sensibilmente incise che attivano e accelerano la corruzione delle acque dai dossi che le separano, costituendo importanti elementi di drenaggio.

Le diverse condizioni rilevate hanno comportato nelle due aree una differente evoluzione mor-

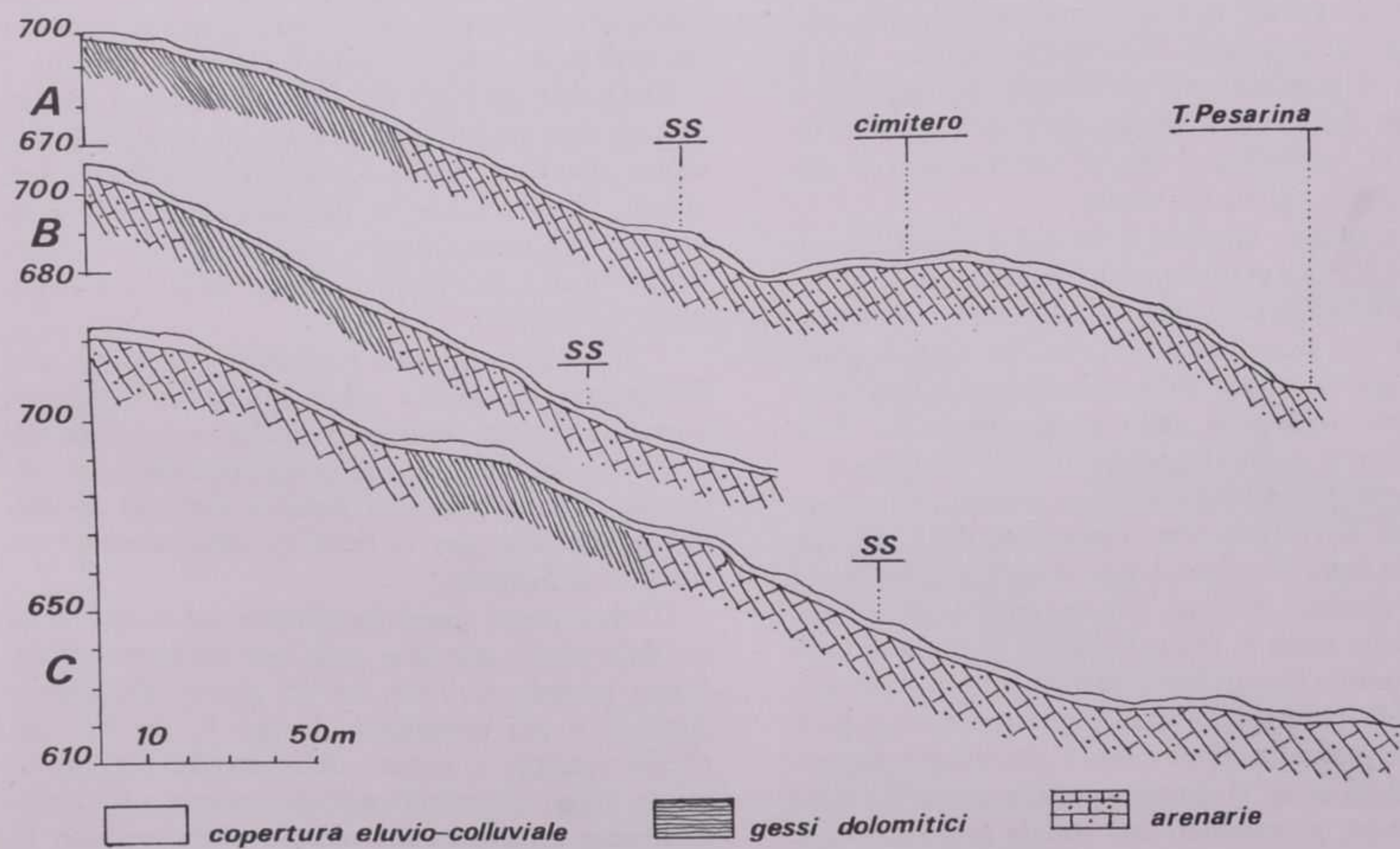
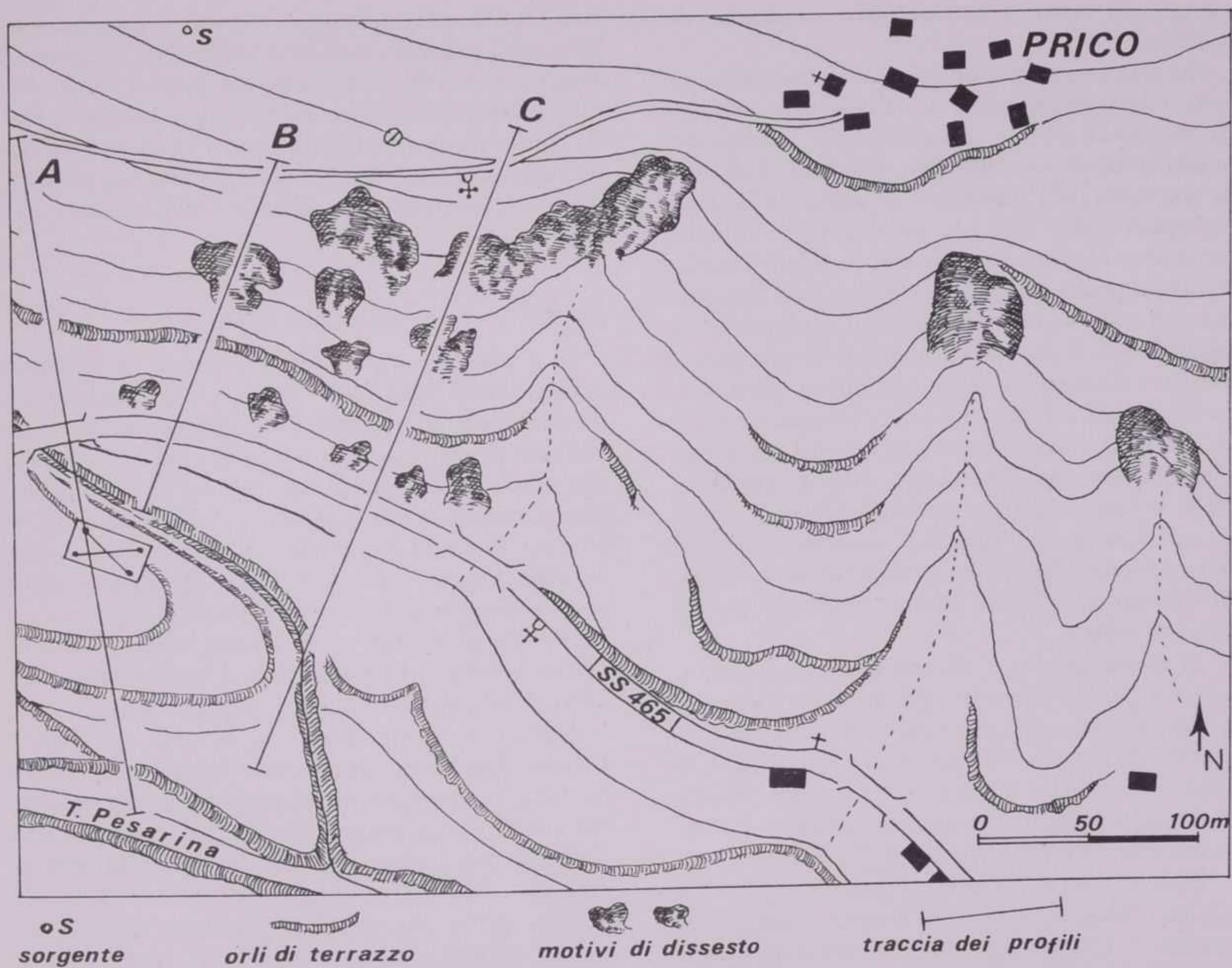


FIG. 18 - Tratti geomorfologici della zona di Prico.

fologica del versante con peculiari condizioni di dissesto.

Nel settore a monte del cimitero si osserva una certa diffusione di processi franosi caratterizzati da movimenti molto superficiali che interessano la sola coltre eluvio-colluviale. Il terreno è dotato di una accentuata umidità e in occasione di precipitazioni meteoriche più prolungate ed intense viene notevolmente imbibito con decadimento delle sue proprietà meccaniche. Questi fatti comportano un marcato effetto di « creep » rilevabile da rigonfiamenti e deformazioni plastiche che determinano sul versante una serie di diffuse gibbosità. In alcuni casi il fenomeno è tale per cui si verifica una serie di rotture che tendono via via a riunirsi, determinando sparsi episodi di franamento. Nelle situazioni limite i materiali eluvio-colluviali si muovono su una superficie coincidente con il tetto del substrato roccioso, dando luogo a nicchie di distacco con classica forma circolare e piccoli corpi di frana.

In questo quadro evolutivo del versante, dato anche il piccolo spessore (1-3 m) della copertura eluvio-colluviale, non sono prevedibili ingenti movimenti di terreno. Possono tuttavia verificarsi in occasione di eventi meteorici non comuni, processi franosi sufficienti a provocare periodiche interruzioni stradali sulla statale della Val Pesarina.

Senza entrare nel merito di soluzioni specifiche di intervento, le opere sistematorie dovrebbero tendere a favorire un rapido smaltimento delle acque di versante (epidermiche e ipodermiche), in modo da evitare una eccessiva impregnazione dei terreni di copertura. Risulterebbe inoltre opportuno il potenziamento della struttura muraria a monte della strada, presentando essa qualche segno di instabilità, al fine di contrastare con più efficacia le spinte da monte.

Per quanto riguarda il settore a sud della frazione di Prico si sono potute ipotizzare fin dall'inizio condizioni di buona stabilità, non ravvisandosi in esso alcun indizio di dissesto. Questo generale aspetto di equilibrio del versante è stato confermato in seguito dallo studio comparato delle condizioni geomorfologiche e della situazione idrogeologica. Fanno eccezione a questa regola generale le ristrette aree interessate dalle tre vallette sopra ricordate, lungo le quali si è verificata una sensibile erosione lineare, oggi quasi esclusivamente attiva in zona di testata. Si tratta di valli con profilo longitudinale analogo e un po' particolare. Il tratto medio-basso è caratterizzato da pendenze piuttosto deboli e non è attualmente soggetto ad erosione. Il tratto superiore invece è molto inclinato, presentando una testata profondamente scavata in roccia (arenarie di Val Gardena) e in fase di progressivo arretramento. Tale processo ero-

sivo, che si propaga verso monte, è piuttosto attivo nella vallecchia subito a valle della frazione di Prico e potrebbe costituire, sia pure a lungo termine, motivo di preoccupazione per l'abitato. Onde contenere possibili incrementi di questa erosione regressiva, sarebbe auspicabile una regimazione delle acque superficiali a monte della testata valliva.

ZONA TRA AVAUSA E SOSTASIO

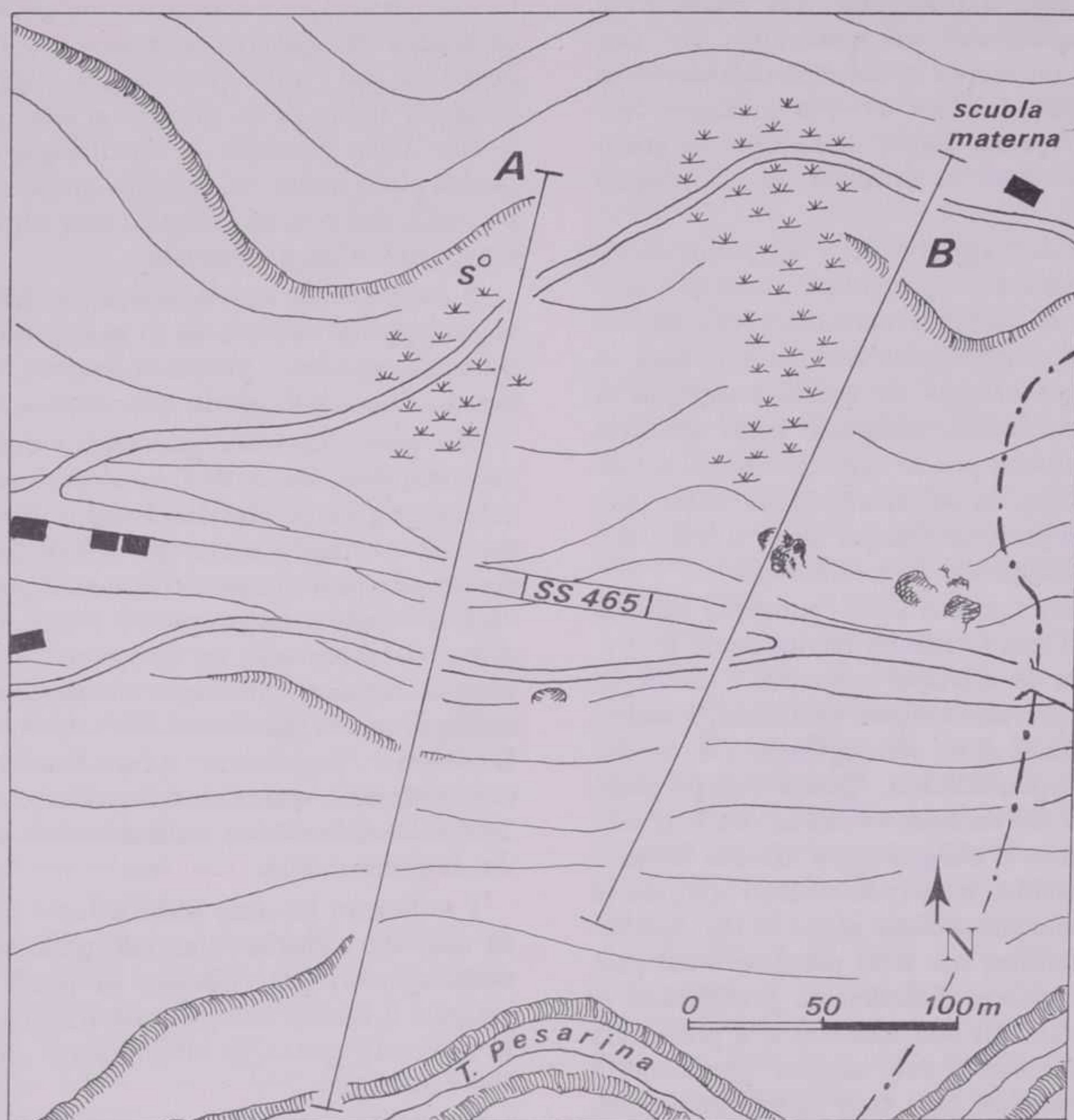
Si è ritenuto opportuno esaminare in dettaglio anche questa zona, non tanto perchè interessata da fenomeni di franamento, quanto invece perchè essa presenta aspetti ambientali assai peculiari, che non trovano giustificazione nel quadro geologico prospettato nei precedenti rilevamenti. Ci si riferisce in modo particolare all'area che sta a monte della statale della Val Pesarina rappresentata graficamente in figura 19. A questo riguardo sono da segnalare due aspetti caratterizzanti di notevole interesse, l'uno di ordine morfologico e l'altro di indole idrologica e idrogeologica.

Dall'osservazione diretta si avverte con immediatezza che l'area sopra citata corrisponde ad un sensibile raddolcimento del pendio che si raccorda, sia a valle che a monte, a profili di versante con acclività più accentuata. Più in dettaglio essa si configura dall'accostamento di piccole spianate prative, prive o quasi di vegetazione arborea, separate da lenti declivi e da dolci e brevi dorsali. Il tutto forma due dossi principali, piuttosto arrotondati e disposti in senso trasversale, che si raccordano ad ampi o poco incisi avvallamenti.

Dal punto di vista idrologico la zona è interessata da due piccoli corsi d'acqua, con portate non molto rilevanti, provenienti dal territorio sovrastante. Queste acque si incanalano negli avvallamenti sopra menzionati e più precisamente ai lati della dorsale in corrispondenza della scuola materna di Sostasio.

Il rio più orientale risulta in gran parte artificialmente incanalato ed è quello con maggior portata in quanto non solo smaltisce le acque del territorio sovrastante, ma costituisce anche il collettore di un sistema di pozzi e cunicoli di drenaggio realizzati per la bonifica della zona ad occidente di Sostasio.

Il rivo posto immediatamente ad ovest della scuola materna presenta anch'esso carattere di deflusso permanente, ma ha un alveo con aspetti variabili e più complessi. Lungo le pendici del ripido versante a monte della strada per Sostasio le acque assumono esclusivamente un decorso lineare attraverso un piccolo alveo scavato in roccia (arenarie di Val Gardena). Al disotto le stesse acque si disperdono su un'area più larga,



o S sorgente
 * * zone paludose
 orli di terrazzo
 motivi di dissesto
 traccia dei profili
 limite vecchia frana

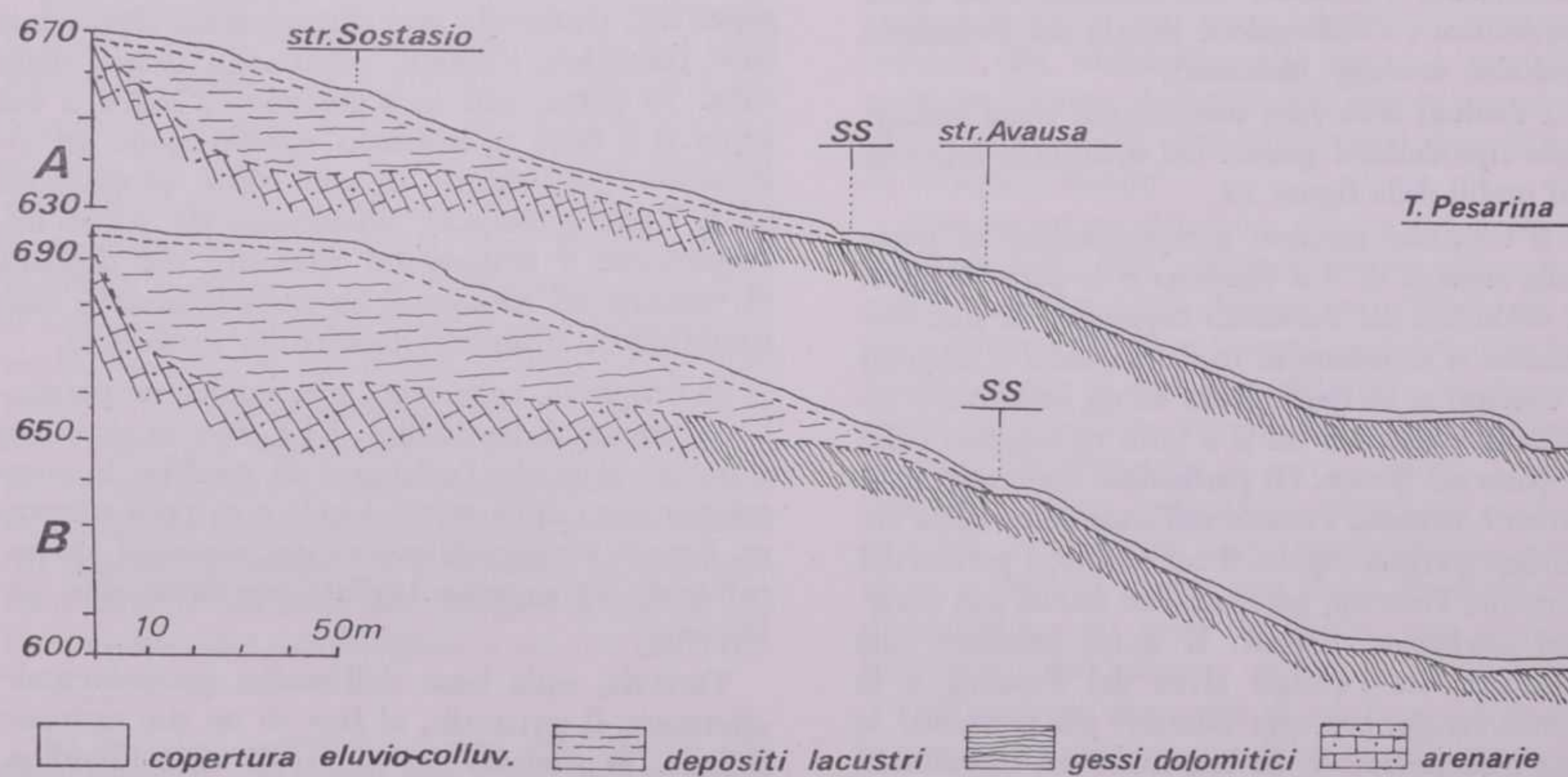


FIG. 19 - Tratti geomorfologici della zona tra Avausa e Sostasio.

procedendo verso il fondovalle con carattere di deflusso sia epidermico che ipodermico. La sede risulta essere un ampio e dolce avvallamento in cui la circolazione idrica avviene piuttosto lentamente, con episodi limite di ristagno in corrispondenza dei quali si formano vere e proprie paludi.

L'elemento di maggior rilievo dal punto di vista idrogeologico è rappresentato da alcune sorgenti ubicate al limite settentrionale dell'area in istudio, laddove si osserva una netta rottura di pendio. L'acqua erogata da queste scaturigini si riversa in parte nell'avvallamento sopra descritto e in parte defluisce più ad occidente lungo un altro avvallamento, in cui si avvertono vistosi impaludamenti e presenza d'acqua lungo la sede stradale della carreggiabile Avausa-Sostasio.

I rilevamenti riportati nella cartografia ufficiale indicano che l'area in istudio risulta essere interamente coperta da alluvioni terrazzate o da depositi morenici prevalentemente grossolani, materiali in genere dotati di un certo spessore e di un elevato grado di permeabilità. Questa interpretazione strutturale del versante contrasta con le condizioni idrologiche e idrogeologiche dinanzi illustrate, per cui sarebbe assai problematico spiegare la esistenza di una circolazione idrica di tipo ipodermico ed epidermico con zone paludose e nel contempo risulterebbero difficilmente giustificabili le sorgenti rilevate. In tale contesto si è presentata l'esigenza di chiarire, con maggior precisione, i rapporti di causalità tra i fatti rilevati in superficie e i caratteri costituzionali del versante.

Nell'indagine, accanto al tradizionale metodo di rilevamento, è risultato determinante l'uso della geoelettrica e l'esplorazione diretta del sottosuolo mediante sondaggi meccanici.

I risultati sono stati interessanti, come emerge dalla riproduzione grafica del sottosuolo espressa dai profili della figura 19.

Il substrato roccioso è rappresentato in parte dalle arenarie di Val Gardena e in parte dai gessi dolomitici del Permiano superiore. Le due formazioni si accostano in modo anomalo e vengono a contatto in corrispondenza ad un importante accidente tettonico a cui si è fatto riferimento nella I^a parte del lavoro. Di particolare significato risolutivo è risultato l'esame sull'andamento della superficie rocciosa sepolta il cui profilo, a partire dal Torrente Pesarina, presenta due settori con caratteri morfologici diversi. Il tratto inferiore, che intercorre tra l'attuale alveo del Pesarina e la strada statale, presenta caratteri più giovanili; la sua modulazione è da imputarsi all'approfondimento del corso d'acqua principale. Il tratto più a monte, che risulta sospeso su quello inferiore, è dovuto ad un ciclo erosivo diverso e più antico.

La sua particolare configurazione geometrica ricalca aspetti peculiari di una morfologia glaciale, e potrebbe con tutta probabilità rappresentare il fondo di roccia della primitiva valle glaciale.

Nel tratto inferiore la morfologia di superficie ricalca più o meno fedelmente quella dello zoccolo roccioso, che è mascherato da una sottile copertura eluvio-colluviale e diluviale.

A monte della strada statale, al fondo roccioso si sovrappone un insieme di sedimenti argillosi, di notevole spessore, presumibilmente di genesi lacustre, di cui si è già in precedenza trattato.

Dal punto di vista geotecnico detti sedimenti sono costituiti da materiale altamente coesivo, di colore grigiastro, che ha fornito elevate percentuali di carotaggio e che ha offerto notevole resistenza alla penetrazione meccanica nelle operazioni di sondaggio. Le proprietà indici, rilevate nelle prove di laboratorio su campioni rappresentativi, sono le seguenti. Si tratta essenzialmente di una argilla di media plasticità ($W_L=40\%$; $W_P=25\%$; $I_P=15\%$), inglobante una frazione sabbiosa (25% circa) e quantità subordinate di ghiaia (5-10%). Detti materiali sono dotati di un basso grado di permeabilità.

I sedimenti lacustri sono a loro volta ricoperti da una coltre eluvio-colluviale permeabile, che assume spessori più rilevanti ai piedi della ripida scarpata a monte della scuola materna, sulla quale spuntano qua e là affioramenti di arenarie di Val Gardena.

Il quadro ambientale di ordine geologico posto sinteticamente in evidenza permette ora una intuitiva correlazione causale dei fenomeni rilevati in superficie, risultando essi direttamente dipendenti dalle condizioni litologico-strutturali globali della zona. In particolare le scaturigini d'acqua a cui sopra si è fatto riferimento appartengono ad un orizzonte sorgentifero di più vaste proporzioni (vedi Carta geologica), alimentato da acque immagazzinate e lentamente rilasciate dai depositi di versante ed emergenti su questo laddove esse incontrano i sedimenti lacustri in sottosuolo.

In definitiva, nella zona non sussistono particolari problemi di instabilità. Vi è solo da ricordare a questo riguardo l'esistenza di qualche limitato smottamento di carattere locale e di poca rilevanza, dovuto a rammollimento dei materiali eluvio-colluviali, su scarpate tagliate per intervento antropico.

Tuttavia, sulla base dell'analisi geoambientale effettuata, il territorio, al fine di un suo ottimale utilizzo, va risanato dal punto di vista idraulico, intercettando le acque sorgive a monte e disciplinando quelle di superficie, con opere idonee ad assolvere una efficace azione drenante.

ZONA DI SOSTASIO

L'abitato di Sostasio è impostato sulla parte più meridionale di una conoide di deiezione, dovuta all'apporto solido del rio omonimo. Si tratta di alluvioni ghiaiose ormai del tutto stabilizzate, di notevole spessore e di buona permeabilità, che riposano su di un substrato litico formato dalle arenarie di Val Gardena e da arenarie e da argilliti del Carbonifero. Queste favorevoli condizioni geologiche, unitamente ad una morfologia pianeggiante o a volte di dolce pendio, determinano una situazione tranquilla sotto il profilo statico ⁽¹⁾.

Una fenomenologia assai più complessa e meritevole di attenzione offre invece la parte di versante che, dall'estremità meridionale della zona urbanizzata, degrada verso il fondovalle. In questo caso il comportamento del substrato roccioso, la variabilità di risposta meccanica dei terreni di copertura e la differenziazione di situazioni idrogeologiche dipendono essenzialmente dalla morfologia. Infatti nel quadro di una differente evoluzione del versante secondo aree ben individuabili, la costituzione gessoso-dolomitica del substrato roccioso e la natura eluvio-colluviale dei terreni superficiali rappresentano dei fattori costanti per tutto il territorio in esame.

Si deve premettere che, per i piccoli spessori offerti dai materiali di copertura eluviale ed eluvio-colluviale la topografia riflette fedelmente i motivi morfologici della superficie sepolta del substrato roccioso. Nella descrizione si farà riferimento alla cartina e, soprattutto, ai profili di figura 20, i quali sono stati ricavati da un rilievo topografico di dettaglio.

Partendo dall'alto in prossimità dell'unghia della conoide di Sostasio, che termina con una netta rottura di pendio, si osserva un'area pressoché pianeggiante, costituente i resti di un vecchio terrazzo della Val Pesarina. In corrispondenza appaiono evidenti i caratteri di una morfologia pseudocarsica evidenziata dalla presenza di dossi arrotondati, da frequenti e piccole doline imbutiformi, alle quali si collegano verso valle brevi e poco profonde incisioni lineari che ricordano i solchi carsici. Tali forme sono legate praticamente a modificazioni della parte più superficiale del basamento roccioso, in rapporto a fenomeni di dissoluzione dei gessi dolomitici, che risultano costantemente coperti dai depositi quaternari. I processi di dissoluzione sono favoriti dal fatto che nell'area in parola, per le caratteristiche morfologiche a cui si è dianzi ac-

cennato, si verifica un certo rallentamento del movimento delle acque sia superficiali che sotterranee.

Va comunque ribadito che i fenomeni pseudocarsici presenti sono limitati alla parte più superficiale del basamento roccioso, salvo qualche sporadico caso, di carattere strettamente locale, dove la massa rocciosa può essere interessata da strutture di natura carsica, che comunque dovrebbero riguardare spessori assai modesti.

In corrispondenza a queste particolari situazioni potrebbero verificarsi, sotto carico, limitati assestamenti del terreno, peraltro con effetti negativi di scarso rilievo.

A prescindere da questi casi limite l'area non presenta in definitiva problemi tali da precludere una sua destinazione a fini ricreativi, come di fatto è già stata in parte utilizzata.

L'area testè descritta si ricollega a valle ad un versante dotato di un'accentuata acclività (30° circa) e discretamente ricoperto da vegetazione arborea. Da un punto di vista morfologico detto versante è solcato da una serie di piccoli avvallamenti tra loro paralleli, incisi secondo la direzione di massima pendenza e separati da dossi più o meno pronunciati. La copertura quaternaria è costituita da materiali eluviali di lieve spessore in corrispondenza dei dossi e da depositi colluviali nelle incisioni vallive. Questi dati di fatto implicano l'esistenza di una morfogenesi selettiva in atto, non dipendente dalla natura del substrato litico, ma imputabile ai riflessi di un'azione degradante differenziata delle acque.

I dossi presentano buona stabilità perché i materiali eluviali poggiano su una superficie rocciosa caratterizzata da una certa rugosità e da piccoli anfratti che, unitamente alla scarsa e sporadica presenza d'acqua, dovuta ai soli apporti meteorici, costituiscono validi elementi frenanti al verificarsi di fenomeni franosi.

Una situazione del tutto diversa si osserva in corrispondenza delle vallecicole. Queste ultime, pur essendo interessate da deflussi superficiali solo in concomitanza di piogge intense, rappresentano delle piccole aste di drenaggio dei dossi circostanti e soprattutto dell'area pseudocarsica in precedenza descritta. Ne deriva che, in corrispondenza, i materiali di copertura sono spesso impregnati d'acqua la quale comporta un certo rammollimento degli stessi e provoca inoltre una lenta dissoluzione e disgregazione dei gessi dolomitici, con graduale incremento dell'incisione valliva.

Dall'evolversi fluttuante di tali fenomeni deriva la particolare struttura morfologica delle vallecicole, le quali si allargano in testata per restringersi via via verso il basso. In zona di testata la copertura quaternaria tende a scivolare sulla sottostante su-

⁽¹⁾ Le lesioni osservabili sui muri della chiesetta nella parte occidentale dell'abitato sono dovute presumibilmente al terremoto. Tale manufatto, assieme ad altri adiacenti, è fondato in zona di scarpata della conoide alluvionale, in posizione cioè di una certa precarietà sotto l'aspetto sismico (C. FRIZ - G. GATTO, 1979).

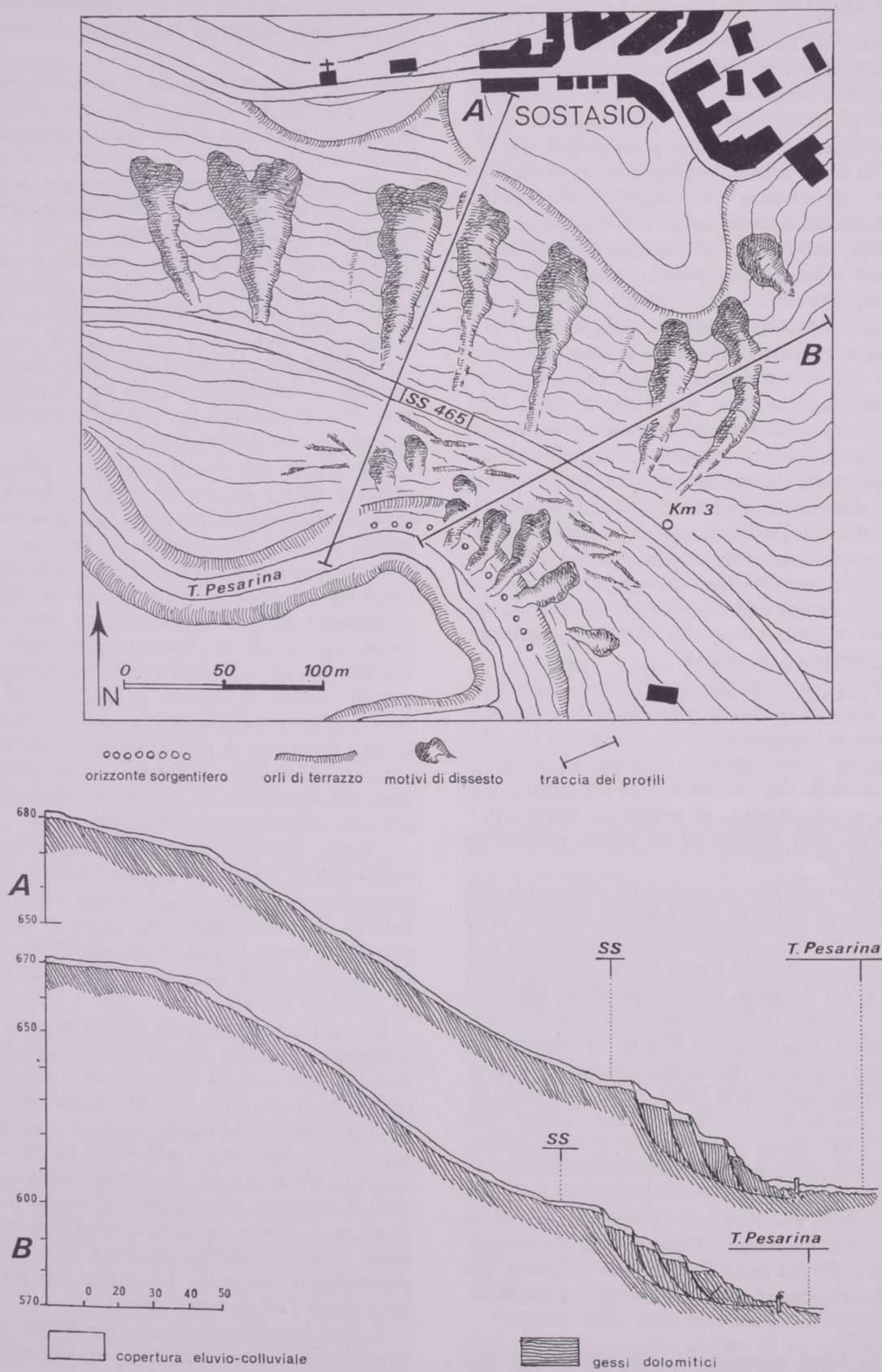


FIG. 20 - Tratti geomorfologici della zona di Sostasio.

perficie rocciosa di supporto, determinando spesso un intreccio di nicchie di distacco che suddividono i materiali sciolti in placche di forma irregolare e dimensioni assai variabili. Nel tratto medio-basso delle valleciole detti depositi risultano traslati nell'ambito di un globale processo di reptazione, avvertibile anche dall'inclinazione delle pian- te verso valle. Non mancano inoltre locali processi di accumulo dovuti a trasporto e rideposizione da parte delle acque di ruscellamento.

I generali aspetti di instabilità rilevati potrebbero avere col tempo riflessi negativi sulla viabilità della strada statale.

Resta da esaminare ora l'area più bassa della zona in istudio e cioè quella parte di versante compresa tra la statale della Val Pesarina e il fondovalle vero e proprio. Anche in questo caso i terreni di copertura assumono spessori modesti e lasciano intravedere a tratti il basamento roccioso. Il profilo topografico, che riflette ovviamente l'andamento della superficie litica sepolta, presenta pendenze piuttosto elevate (35° - 40°) e si ricollega a quello dell'area sovrastante, prima esaminata, mediante un breve tratto pianeggiante in corrispondenza della strada statale. E' un profilo che in dettaglio mostra notevoli complessità, con frequenti, piccole e brusche rotture di pendio. Questa particolare morfologia di superficie è un riflesso della costituzione interna del versante stesso. La area infatti si scompone in una serie di zolle allungate in senso longitudinale, di dimensioni e di forma assai varia. Si tratta di blocchi rocciosi che conservano la loro copertura quaternaria e che hanno acquisito nell'insieme un certo grado di libertà in seguito a movimenti rotazionali, nell'ambito di un processo di globale collasso dell'intero versante. I sistemi di frattura che delimitano le varie zolle sono stati in parte riempiti da materiali trasportati dall'acqua. Questa particolare fenomenologia di dissesto interessa il basamento per parecchi metri. La porzione rocciosa dissestata poggia su una superficie con leggera concavità rivolta verso l'alto, superficie tipica di scorrimento dei processi di scoscendimento. Al disotto di detta superficie la massa rocciosa conserva le sue originali caratteristiche di struttura.

Alle condizioni strutturali testè descritte è strettamente connesso il comportamento idrogeologico dell'area. Esistono, da quanto si è detto, i presupposti per poter escludere vistosi fenomeni di ruscellamento superficiale per cui le acque penetrano nel sottosuolo attraverso quella tipica rete di fessure in precedenza illustrate. Si instaura così in corrispondenza una circolazione idrica sotterranea, sensibilmente rallentata dai depositi di riempimento delle fessure e dal restringersi delle stesse in profondità, che attiva un allineamento di sor-

genti di emergenza ai piedi del versante. La porzione rocciosa dissestata forma in definitiva un acquifero il cui limite di permeabilità corrisponde con la superficie di scorrimento principale.

Non vi è dubbio che il particolare meccanismo di franamento del versante è stato innescato e predisposto dall'erosione al piede operata dalle acque del Torrente Pesarina. Per quanto riguarda il processo regressivo del dissesto, tutt'ora in atto, non vanno sottovalutate, come concausa di notevole importanza, le acque di infiltrazione le quali esercitano un'azione di rammollimento nei terreni contenuti nelle fessure e provocano nel contempo un graduale allargamento di queste ultime.

Il progressivo arretramento del dissesto è all'origine di seri motivi di preoccupazione per la stabilità della sede stradale, anche perchè sussistono già degli indizi premonitori.

Tenendo presente la diagnosi effettuata risulta pienamente giustificata la recente costruzione di un muro di sponda lungo il piede del versante. Tale opera serve in piccola parte a contrastare le spinte da monte nel tentativo di ristabilire una situazione di equilibrio e, soprattutto, a preservare la scarpata da ulteriori scalzamenti ad opera del Torrente Pesarina. Devono essere evitate nel modo più assoluto discariche di materiali di riporto a valle della strada in modo da non sovraccaricare, come è già avvenuto, una zona in condizioni statiche precarie.

Gli interventi realizzati vanno tuttavia integrati con provvedimenti diretti alla regolamentazione delle acque di versante, intendendo con questo termine sia le acque di ruscellamento e sia quelle di percolazione ipodermica, le quali ultime camminano al disotto della cotica erbosa in seno ai terreni eluviali e colluviali. Queste acque interessano l'intero versante a partire dall'abitato di Sostasio fino al fondovalle, costituendo un fattore determinante nel provocare i vari tipi di dissesto che sono stati illustrati. Una soluzione globale del problema potrebbe essere rappresentata dalla effettuazione di un'opera di drenaggio ai bordi del terrazzo a valle di Sostasio, che caratterizza la parte superiore dell'intera zona esaminata. Tale manufatto dovrebbe ovviamente svilupparsi in direzione longitudinale (est-ovest) con la funzione di smaltire le acque lateralmente, seguendo criteri analoghi a quelli già seguiti per proteggere a monte la contigua zona di frana ⁽¹⁾. Un intervento del genere:

— comporterebbe una attenuazione dei fenomeni pseudocarsici nell'area più alta del versante;

(1) Si tratta di una vecchia frana di ampie proporzioni situata tra Avausa e Sostasio, ormai stabilizzata in seguito alle opere di bonifica eseguite, consistenti in cunettoni che intercettano le acque provenienti da monte.

— tenderebbe a contenere, nell'area intermedia, sia i processi di reptazione, riducendo l'effetto del contenuto d'acqua nei terreni, e sia l'approfondimento delle vallecicole;

— contribuirebbe infine a ridurre notevolmente le infiltrazioni idriche nell'area più bassa, contrastando od annullando, al limite, l'evoluzione regressiva del fenomeno di scoscendimento.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano i Professori P. COLOMBO, G. V. DAL PIAZ e A. DAL PRÀ per la lettura critica del testo e per i consigli avuti.

Un ringraziamento al Prof. Gb. DAL PIAZ per aver accolto la pubblicazione del lavoro nelle "Memorie di Scienze Geologiche".

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON W. F., 1974 - *The use of multi-stage triaxial tests to find the undrained strength parameters of stony boulder clay*. Proc. Inst. of Civil Eng., v. 57, part 2, pp. 367-372, London.
- BARIGAZZI L., COLOMBETTI A., 1976 - *Studio del movimento franoso dell'abitato di Prato carnico (Udine)*, Ing. Barigazzi & C. - S.N.C., INTERGEO (Parma), 25 p., (inedito).
- BARLA G., CORNERI C., CRAVERO M., GIANI G. P., 1974 - *L'applicazione dei metodi dell'equilibrio limite nello studio dei pendii naturali e delle scarpate*. Assoc. Miner. Subalpina, Suppl. al Boll. anno XI, n° 3-4, 197 p., Torino.
- BELL J. M., 1968 - *General slope stability analysis*. Journ. Soil Mech. and Found. Division, v. 94, n° 6, pp. 1253-1270, New York.
- BROMHEAD E. N., 1977 - *A simple ring shear apparatus*. Technical note, (inedito).
- BROMHEAD E. N., 1979 - *Factors affecting the transition between the various type of mass movement in coastal cliffs consisting largely of overconsolidated clay special reference to southern England*. Quart. Journ. Engineering Geology, v. 12, n° 4, pp. 291-300, London.

COLLESELLI F., COSTANTINI C., MONTANARI F., 1979 - *Stabilità allo scivolamento di pendii, fondazioni ed opere di sostegno*. Coop. Libr. Ed. Univ. Padova, 185 p., Padova.

CUTTINI M., 1974 - *Indagine geologica e geotecnica dei terreni sui quali sorgono gli abitati di Pieira e di Prato Carnico*. Regione autonoma Friuli-Venezia Giulia, Assessorato Lavori Pubblici, 32 p., (inedito).

EARTH MANUAL., 1968 - *S. Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation*. U. S. Gov. Print. Office, 783 p., Denver.

FRIZ C., GATTO G., 1979 - *Rapporto tra ambiente geologico e rischio sismico in val di Resia (Friuli)*. Mem. Museo Tridentino Sc. Nat., v. 23, pp. 7-31, Trento.

GORTANI M., 1950 - *Relazione geologica sulla zona franosa di Prato Carnico (Udine)*. 5 p., (inedito).

HUTCHINSON J. N., BROMHEAD E. N., LUPINI J. F., 1980 - *Additional observations on the Folkestone Warren landslides*. Quart. Journ. Engineering Geology, v. 13, n° 1, pp. 1-31, London.

KENNEY T. C., WATSON G. H., 1961 - *Multiple stage triaxial tests for determining c' and Φ' of saturated soils*. Proc. 5th Int. Conf. Soil Mech., v. 1, pp. 191-195, Paris.

LAMBE T. W., WHITMAN R. V., 1969 - *Soil Mechanics*. J. Wiley & S. Inc., 553 p., New York.

MARTINIS B., 1979 - *Le acque solfuree di Arta (Carnia) ed il loro ambiente geologico*. Grafiche Fulvio S.p.A., 180 p., Udine.

ROWE P. W., BARDEN L., 1964 - *Importance of free ends in triaxial testing*. Journ. Soil Mech. Found. Division, v. 90, n° 1, pp. 1-27, New York.

SELLI R., 1963 - *Schema geologico delle Alpi Carniche e Giulie occidentali*. Giornale di Geologia, v. 20, 104 p., Bologna.

CARTE GEOLOGICHE

CARTA GEOLOGICA DELLE TRE VENEZIE. Foglio 13 "Ampezzo", Scala 1:100.000, 1933. Pubbl. Uff. Idrogr. R. Magistr. Acque, Venezia.

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA. Fogli 4-13 "Monte Cavallino-Ampezzo", Scala 1:100.000, 1967. Min. Ind. Comm. - Serv. Geol. d'Italia, Roma.