



PROVINCIA DI CHIETI

PROGETTO DEFINITIVO

ADEGUAMENTO DELLE S.S. 81-84
TRATTO GUARDIAGRELE-EST
INNESTO S.S. 652 "VAL DI SANGRO"

LOTTO I

RESPONSABILE PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Fabrizio Besozzi
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 15126

I PROGETTISTI:

Dott. Ing. Fabrizio Besozzi
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 15126

Dott. Ing. Marco Petrangeli
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 18744

Dott. Ing. Giovanni Zallocco
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 5745

COORDINAMENTO ATTIVITA' IN LOCO:

Dott. Arch. Mariano Strizzi
Iscritto Albo Architetti Provincia di Chieti n° 97

PROGETTAZIONE:

A.T.I.

mandataria

SILEC S.p.A.

Divisione Progettazione
e Studi

SELPRO

mandanti



IL GEOLOGO:	EM./RE.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.
Dott. Geol. Roberto Salucci A.P. Ordine dei Geologi del Lazio n° 633	A	OTT. '03	Emissione	MP	RS	FB
Dott. Geol. Fabio Melchiorri A.P. Ordine dei Geologi del Lazio n° 663						

*STUDI E INDAGINI
Geologia ed idrogeologia
Relazione*

SCALA : -

CODICE IDENTIFICATIVO :

FASE/LOTTO

D 1

DOC.

R I

OPERA/DISCIPLINA

G E O O

PROGR.

0 0 1

REV.

A

INDICE

INTRODUZIONE

Capitolo 1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

- 1.1 Sondaggi geognostici
- 1.2 Prove Spt
- 1.3 Campioni indisturbati
- 1.4 Prove di laboratorio geotecnico
- 1.5 Piezometri e rilievi di falda
- 1.6 Inclinatori
- 1.7 Indagini geofisiche

Capitolo 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Capitolo 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Capitolo 4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE

Capitolo 5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

5.1 I DEPOSITI MARINI CENOZOICI

- 5.1.1 LE ARGILLE SILTOSE GRIGIE
- 5.1.2 IL COMPLESSO CAOTICO
- 5.1.3 LE ARGILLE GRIGIO-AZZURRE

5.2 I DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

- 5.2.1 DEPOSITO DI CONOIDE ALLUVIONALE
- 5.2.2 DEPOSITI DI ALLUVIONI RECENTI E TERRAZZATI
- 5.2.3 DEPOSITO DI VERSANTE
- 5.2.4 DEPOSITO ELUVIO-COLLUVIALE
- 5.2.5 DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI

5.2.6 CORPO DI FRANA

Capitolo 6 ANALISI DELLE FOTO AEREE

Capitolo 7 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

7.1 DESCRIZIONE DELLE FORME PRINCIPALI DELL'AREA DI STUDIO

7.1.1 FORME DI VERSANTE DOVUTE ALLA GRAVITÀ

7.1.1.1 *I movimenti franosi*

7.1.2 FORME FLUVIALI E DI VERSANTE DOVUTE AL DILAVAMENTO

7.1.2.1 *Le forme calanchive*

7.1.3 FORME ANTROPICHE

Capitolo 8 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

8.1 I COMPLESSI IDROGEOLOGICI DELL'AREA DI STUDIO

Capitolo 9 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO

Capitolo 10 PROFILO GEOLOGICO E ANDAMENTO DELLE PROGRESSIVE

10.1 GEOLITOLOGIA DEL TRACCIATO

10.2 IDROGEOLOGIA DEL TRACCIATO

10.3 GEOMORFOLOGIA DEL TRACCIATO

10.4 CONSIDERAZIONI PROGETTUALI

BIBLIOGRAFIA

- ALLEGATI : CARTA GEOLOGICA (scala 1: 5.000)
CARTA GEOMORFOLOGICA (scala 1: 5.000)
CARTA IDROGEOLOGICA (scala 1: 5.000)
UBICAZIONE DELLE INDAGINI (scala 1: 5.000)

INTRODUZIONE

Lo scopo del presente lavoro è la definizione dell'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico del settore compreso tra Guardiagrele e Casoli, per l'adeguamento delle S.S. 81-84 nel tratto Guardiagrele-Est innesto S.S. 652 "Val di Sangro".

Il lavoro è stato svolto eseguendo una campagna di rilevamento condotta sul terreno, soffermandosi in particolar modo sulle caratteristiche litostrutturali e geomorfologiche dei depositi marini cenozoici e dei depositi continentali quaternari affioranti nell'area di studio, unitamente alle analisi bibliografica e cartografica preliminari, e all'indagine preliminare e di controllo eseguita con l'ausilio delle fotografie aeree.

Sulla base di tale indagine sono stati ricostruiti i seguenti elaborati cartografici

- Carta Geologica – scala 1:5000
- Carta geomorfologica – scala 1:5000
- Carta idrogeologica – scala 1:5000
- Profilo geologico – scala 1:5000 /1:500

Parallelamente ai rilievi di campagna è stata realizzata una campagna integrativa di indagini geognostiche mediante sondaggi , prove in sito, prove di laboratorio geotecnico e indagini geofisiche.

Nella stesura del presente elaborato si è fatto anche riferimento ai risultati di un precedente studio geologico eseguito dallo Studio Associato di Geologia Sotrage dei dott. C. Carlino e E. Rossetti per conto della provincia di Chieti.

Tutto lo studio rispetta quanto previsto dal D.M. 11703/1988 e dalla circolare n. 30483 del 24/09/1988

1. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nel presente rapporto vengono illustrati i risultati delle indagini geognostiche eseguite per i lavori di adeguamento della SS81-84 nel tratto Guardiagrele - SS 652.

Per l'accertamento delle caratteristiche dei terreni è stato predisposto il seguente programma di indagini geognostiche:

- esecuzione di 16 sondaggi a carotaggio continuo con esecuzione di prove geotecniche in situ e prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati per la caratterizzazione geologico-stratigrafica dei terreni e per la valutazione dei principali parametri meccanici
- installazione di 8 piezometri e successivo monitoraggio
- installazione di 8 inclinometri e successivo monitoraggio
- esecuzione di prove geotecniche di laboratorio
- esecuzione di n. 33 stendimenti di sismica a rifrazione

Il dettaglio relativo all'utilizzo dei diversi fori di sondaggio è il seguente:

SONDAGGIO	UTILIZZO	SONDAGGIO	UTILIZZO
S1	INCLINOMETRO	S11bis	INCLINOMETRO
S2	PIEZOMETRO	S12	PIEZOMETRO
S4	PIEZOMETRO	S13	PIEZOMETRO
S5	NON ATTREZZATO	S14	INCLINOMETRO
S8	INCLINOMETRO	S15	PIEZOMETRO
S9	INCLINOMETRO	S15bis	NON ATTREZZATO
S10	INCLINOMETRO	S16	PIEZOMETRO
S11	INCLINOMETRO	S17	INCLINOMETRO

I lavori di campagna sono stati eseguiti nei mesi marzo – aprile - maggio 2003 mentre le prove di laboratorio e le misure inclinometriche e piezometriche si sono protratte fino al mese di settembre 2003.

L'ubicazione delle indagini è riportata nelle allegate planimetrie di progetto in scala 1:5.000.

1.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI

Per la caratterizzazione litostratigrafica e tecnica dei terreni dell'area interessata dal progetto sono stati eseguiti sedici sondaggi a carotaggio continuo, seguendo la metodologia a rotazione con aste e carotiere semplice a circolazione diretta; le sonde usate sono state due CMV MK 900 montate su carro cingolato.

Le profondità raggiunte per ciascun sondaggio sono riportate nella tabella seguente:

SONDAGGI O	PROFONDITA' RAGGIUNTA	NOTE
S 1	60,0 m	
S 2	30,0 m	
S 3	-----	Non eseguito per impossibilità accesso
S 4	30,0 m	
S 5	27,0 m	
S 6	25,0 m	Non eseguito per impossibilità accesso
S 7	34,0 m	Non eseguito per impossibilità accesso
S 8	20,0 m	
S 9	30,0 m	
S 10	30,0 m	
S 11	30,0 m	
S 11bis	15,0 m	
S 12	26,5 m	
S 13	30,0 m	
S 14	30,0 m	
S 15	30,0 m	
S 15bis	20,0 m	
S 16	30,0 m	
S 17	30,0 m	

L'ubicazione dei sondaggi geognostici è riportata nell'allegato "ubicazione delle indagini geofisiche e geognostiche". Ogni sondaggio, individuato dalla lettera S e da un numero progressivo (S1,S2 ecc), è stato identificato da un pallino nero. I sondaggi S3 , S6 ed S7 non sono stati eseguiti per l'impossibilità di raggiungere la postazione con le attrezzature da perforazione . I sondaggi S11bis ed S15 bis non previsti in fase di programma preliminare sono stati eseguiti per integrare le informazioni geologiche in due punti particolari.

Le caratteristiche dell'attrezzatura usata sono:

- carotiere semplice: diametro esterno $\phi_{est} = 101$ mm con lunghezza utile $L = 350$ cm;
- rivestimento: diametro esterno $\phi_{est} = 127$ mm con lunghezza $L = 150$ cm;
- aste di perforazione, con filettatura tronco-conica, con diametro esterno $\phi_{est} = 76$ mm e lunghezza utile $L = 300, 150$ e 100 cm;

Il rivestimento è stato collocato sino alla profondità di esecuzione dell'ultima prova in situ o dell'ultimo prelievo di campione indisturbato.

La perforazione, per quanto possibile è stata eseguita a secco, senza l'impiego di fluidi di circolazione.

Le operazioni di sondaggio sono state condotte effettuando le seguenti procedure tecniche:

- carotaggio dei terreni e conservazione del materiale prelevato in apposite cassette catalogatrici, in legno; sulle cassette sono state riportate le seguenti indicazioni: sede del cantiere, sigla del sondaggio, data, numero della cassa catalogatrice e quota progressiva del materiale conservato;
- esecuzione di 52 prove penetrometriche dinamiche in situ tipo S.P.T., a punta aperta e chiusa e determinazione del grado di addensamento/consistenza;
- nei terreni coesivi sono stati prelevati 43 campioni indisturbati. I campioni di terreno così prelevati sono stati sigillati con paraffina e siglati con appositi moduli indicanti: committente, riferimento, località, numero campione, numero sondaggio, profondità testa, profondità scarpa e data; i campioni sono stati infine inviati in laboratorio per l'esecuzione delle analisi relative alla determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali;
- monitoraggio dell'eventuale livello di falda sia durante la perforazione che a seguito dell'installazione di 8 piezometri (cinque a tubo aperto e tre celle casagrande)..

Le suddette operazioni sono state visionate e controllate da un geologo costantemente presente durante le fasi lavorative, con documentazione fotografica dei terreni conservati nelle casse catalogatrici per ciascun sondaggio.

Le informazioni relative ai dati di cantiere sono state sintetizzate nelle stratigrafie redatte per ciascun sondaggio ed allegate in apposito allegato.

Le misure di resistenza alla penetrazione sono state effettuate con pocket penetrometer tascabile marca BELLADONNA modello ST 308 (fondo scala = 6 kg/cm²) su porzioni consistenti di materiale ogni 20 cm circa; i dati ottenuti hanno permesso la definizione della consistenza dei materiali secondo il seguente schema di riferimento.

Definizione	Resistenza alla punta (Kg/cm ²)
Privo di consistenza o molto molle	< 0.25
Poco consistente o molle	0.25 ÷ 0.50
Moderatamente consistente	0.50 ÷ 1.00
Consistente	1.00 ÷ 2.00
Molto consistente	2.00 ÷ 4.00
Duro	> 4.00

1.2 PROVE SPT

Sono state eseguite 52 prove penetrometriche dinamiche in situ tipo S.P.T. (Standard Penetration Test) utilizzando un campionatore tipo Raymond a punta aperta ("P.A.").

Le aste SPT hanno diametro esterno $\phi_{est} = 50$ mm e $\phi_{est} = 60$ mm, con lunghezza utile $L = 300, 150, 100$ cm e peso conforme alla normativa di riferimento.

Il campionatore Raymond a punta aperta ha le seguenti caratteristiche:

- diametro esterno $\phi_{est} = 51$ mm;
- diametro interno $\phi_{int} = 35$ mm;
- lunghezza campionatore 59,5 cm (comprese le due filettature di 2x2,5 cm);
- lunghezza raccordo 18 cm;

- lunghezza scarpa 6 cm;
- lunghezza totale 78,5 cm.

Per quanto è stato possibile le prove si sono svolte in terreni granulari, con recupero del materiale per i test eseguiti con la punta aperta.

Il materiale prelevato è stato successivamente catalogato e conservato in buste di PVC, inserite nelle cassette catalogatrici.

Il foro è stato sempre rivestito sino alla quota di inizio di esecuzione della prova, prima della quale si è sempre proceduto ad una accurata pulizia del foro; la penetrazione del campionatore per peso proprio, delle aste e del maglio da 63,4 kg è sempre stata trascurabile.

La prova è stata sospesa quando il numero di colpi N , per un tratto di penetrazione pari a 15 cm, ha superato 50 ($N_{SPT} = \text{Rif.}$); in questo caso è stata poi annotata la lunghezza del tratto di avanzamento.

Nelle tabelle seguenti vengono schematizzati i rapporti tra le qualità meccaniche dei terreni ed il numero N_{spt} per orizzonti granulari e coesivi.

TERRENI GRANULARI SCHEMA DELLE RELAZIONI N_{SPT}/ ADDENSAMENTO	
N_{SPT}	Stato di addensamento
0 – 4	Sciolto
4 – 10	Poco addensato
10 – 30	Moderatamente addensato
30 – 50	Addensato
> 50	Molto addensato

TERRENI COESIVI SCHEMA DELLE RELAZIONI N_{SPT}/ CONSISTENZA	
N_{SPT}	Consistenza
< 2	Privo di consistenza
2 – 4	Poco consistente
4 – 8	Moderatamente consistente
8 – 15	Consistente
15 – 30	Molto consistente

> 30	Estremamente consistente
------	--------------------------

Nella presente indagine è stata utilizzata anche la configurazione a punta chiusa; i corrispondenti valori di N_{SPT} sono stati corretti, secondo il criterio di Palmer e Stuart, riducendo del 30% il numero dei colpi ottenuti ad eccezione di quelle che hanno superato i 50 colpi prima del raggiungimento dei 15 cm di avanzamento (rifiuto)

Le lunghezze dei tratti di avanzamento delle prove giunte a rifiuto sono specificati nelle osservazioni riportate sulle stratigrafie di ciascun sondaggio allegato alla presente relazione.

Nelle tabelle che seguono sono riassunti i dati relativi alle prove S.P.T. eseguite nei vari sondaggi con una valutazione del grado di addensamento e consistenza eseguita mediante le tabelle sopra allegate

SCHEMA DELLE PROVE SPT					
Sondaggio/ # SPT	Profondità (m)	Quota rivestimento (m)	Tipo punta	Addensamento e consistenza	N_{SPT}
S 1 / 1	7.85	7.5	A	Estrem. Consistente	45
S 1 / 2	15,1	15,0	A	Estrem. Consistente	68
S 2 / 1	6.5	6.0	A	Estrem. Consistente	41
S 2 / 2	19.25	18.50	A	Estrem. Consistente	65
S 4 / 1	6.0	6,0	A	Estrem. Consistente	63
S 4 / 2	11.65	11.5	A	Estrem. Consistente	62
S 5 / 1	7.08	7.0	A	Estrem. Consistente	51
S 8 / 1	5.40	4.5	A	Estrem. Consistente	34
S 8 / 2	10.0	10,0	A	Estrem. Consistente	Rif.
S 8 / 3	13.0	12.0	A	Estrem. consistente	Rif.
S 8 / 4	16.0	15.0	A	Estrem. consistente	Rif.
S 9 / 1	3.5	3.0	A	Estrem. Consistente	25
S 9 / 2	8.0	7.5	A	Estrem. Consistente	Rif.
S 9 / 3	15.0	15,0	A	Estrem. Consistente	Rif.
S 9 / 4	18.0	18.0	A	Estrem. Consistente	Rif.
S 9 / 5	23.0	22.5	A	Estrem. Consistente	Rif.
S 10 / 1	2.4	1.5	A	Moderat. Addensato	27
S 10 / 2	4.7	4.5	A	Estrem. Consistente	57

S 10 / 3	7.5	7.5	A	Estrem. consistente	Rif.
S 10 / 4	19.0	18.0	A	Estrem. consistente	Rif.
S 10 / 5	22.0	21.0	A	Estrem. consistente	Rif.

SCHEMA DELLE PROVE SPT					
Sondaggio/ # SPT	Profondità (m)	Quota rivestimento (m)	Tipo punta	Addensamento e consistenza	N_{SPT}
S 11 / 1	2,0	1.5	A	Poco consistente	4
S 11 / 2	5,0	4.5	A	Estrem. consistente	53
S 11 / 3	8,0	7.5	A	Estrem. consistente	58
S 11 / 4	10.5	10.5	A	Estrem. consistente	64
S 11bis/1	3,0	3.0	A	Estrem. onsistente	33
S 11bis/2	7,0	6.0	A	Estrem. consistente	Rif.
S 11bis/3	12,0	12.0	A	Estrem. consistente	Rif.
S 11bis/4	14,0	13.5	A	Estrem. consistente	Rif.
S 12 / 1	2.0	1.5	A	Molto addensato	Rif.
S 12 / 2	3.8	3.0	A	Molto addensato	Rif.
S 12 / 3	5.0	4.5	A	Molto addensato	Rif.
S 12 / 4	6,4	6.0	A	Molto addensato	Rif.
S 12 / 5	15.0	15.0	A	Estrem. consistente	Rif.
S 12 / 6	20.0	19.5	A	Estrem. consistente	Rif.
S 14 / 1	2.8	1.5	A	Molto addensato	Rif.
S 14 / 2	5.0	4.5	A	Molto addensato	Rif.
S 15 / 1	3.0	3.0	A	Estrem. consistente	61
S 15bis/1	4,5	4.5	A	Estrem. consistente	49
S 15bis/2	7.2	6.0	A	Estrem. consistente	46
S 15bis/3	9.8	9.0	A	Estrem. consistente	Rif.
S 15bis/4	15.0	15.0	A	Estrem. consistente	Rif.
S 16 / 1	3.5	3.0	A	Molto addensato	Rif.
S 16 / 2	5.0	4.5	A	Molto addensato	Rif.
S 16 / 3	7.0	6.0	A	Molto addensato	Rif.
S 16 / 4	8.5	7.5	A	Molto addensato	Rif.
S 16 / 5	10.0	9.0	A	Molto addensato	Rif.
S 16 / 6	11.50	10.5	A	Molto addensato	Rif.
S 16 / 7	13.0	12.0	A	Molto addensato	Rif.
S 17 / 1	9,0	9.0	A	Estrem. consistente	Rif.

1.3 CAMPIONI INDISTURBATI

Prima del prelievo di ciascun campione indisturbato si è sempre rivestito il foro sino alla quota di inizio campionamento ed è stata effettuata un'accurata pulizia del foro. Le fustelle tipo "Shelby" in acciaio INOX utilizzate hanno diametro interno $\phi_{int} = 85$ mm e lunghezza L = 50, 55 e 60 cm e sono prive di qualsiasi scabrosità o parti corrose. In tutto sono stati prelevati 43 campioni indisturbati tipo "Shelby" negli orizzonti a comportamento prevalentemente coesivo,.

I campioni prelevati sono stati paraffinati e successivamente conservati in posizione orizzontale in luoghi protetti dal sole e dall'acqua. Durante il trasporto si è cercato di evitare disturbi dovuti ad urti o rotolamenti.

Nelle tabella seguente vengono sintetizzate le informazioni relative allo schema di prelievo dei campioni (indisturbati e disturbati).

SCHEMA DEI CAMPIONI INDISTURBATI			
Sondaggio/ Campione	Profondità Dal p.c.	Litotipo	Campionatore
S1/C1	3.6 – 4.0	Limo argilloso nocciola con sfumature grigie	Shelby
S1/C2	11.75-12.25	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S1/C3	19.85-20.3	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S1/C4	30.15-30.75	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S1/C5	44.4-44.8	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S1/C6	51.45-51.9	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S1/C7	58.6-59.0	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S2/C1	4.1-4.7	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S2/C2	10.5-10.9	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S2/C3	414.9-15.3	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S2/C4	24.6-24.9	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S4/C1	1.6 – 2.1	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S4/C2	4.0 – 4.4	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S4/C3	8.9 – 9.35	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S5/C1	0.35 – 0.85	Limo argilloso marrone con livelli sabbiosi	Shelby
S5/C2	3.5 – 3.85	Argilla limosa di colore nocciola	Shelby
S5/C3	10.8 – 11.35	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S8/C1	0.5-1.0	Campione non analizzato	Shelby
S8/C2	2.2-2.7	Argilla limosa nocciola con sfumature grigie	Shelby
S9/C1	1.5-2.0	Campione non analizzato	Shelby
S9/C2	6.0-6.3	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S10/C1	3.5-4.0	Argilla limosa avana con sfumature grigie	Shelby
S10/C2	7.0-7.5	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby
S10/C3	10-10.5	Campione non analizzato	Shelby
S10/C4	18.5-19.0	Campione non analizzato	Shelby
S11/C1	3.5-4.0	Argilla limosa avana con sfumature grigie	Shelby
S11/C2	6.5-7.0	Campione non analizzato	Shelby
S11/C3	11.3-11.8	Argilla limosa nocciola con sfumature grigie	Shelby
S11/C4	15.5-16.0	Campione non analizzato	Shelby
S11bis/C1	1.5-2.0	Ghiaia con sabbia – Argilla limosa avana	Shelby
S11bis/C2	4.7-5.0	Argilla limosa grigia con sottili livelli sabbiosi	Shelby

SCHEMA DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Sondaggio/ Campione	Profondità Dal p.c.	Litotipo	Campionatore
S13/C1	1.2-1.5	Argilla limosa avana con sfumature grigie	Shelby
S15/C1	1.0 -1.5	Argilla limosa avana con sfumature grigie	Shelby
S15/C2	10.8-11.3	Campione non analizzato	Shelby
S15bis/C1	1.4-1.8	Argilla limosa marrone con sfumature grigie	Shelby
S15bis/C2	3.2-3.7	Argilla limosa marrone con sfumature grigie	Shelby
S15bis/C3	8.5-9.0	Argilla limosa nocciola con sfumature grigie	Shelby
S15bis/C4	12.7-13	Campione non analizzato	Shelby
S16/C1	2.8-3.0	Limo argilloso avana con ghiaia	Shelby
S16/C2	15.6-16	Limo argilloso avana con sfumature grigie	Shelby
S16/C3	17.5-18	Campione non analizzato	Shelby
S16/C4	20.7-21.2	Campione non analizzato	Shelby
S17/C1	4.8-5.3	Limo argilloso avana con sfumature grigie	Shelby

1.4 PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

Le prove di laboratorio geotecnico sono state eseguite, presso il laboratorio geotecnico Italgoe Snc , su n. 31 campioni indisturbati ritenuti sufficientemente rappresentativi dei litotipi incontrati dalle indagini. Le prove di laboratorio sono consistite nelle usuali procedure di riconoscimento (peso specifico, densità, umidità naturale, granulometria ecc.), e in prove meccaniche per la definizione della resistenza al taglio e prove edometriche per la definizione della compressibilità..

Le prove sono state eseguite rispettando quanto previsto nelle norme AGI (associazione Geotecnica Italiana) del 1977.

Si elencano di seguito in maniera schematica i risultati delle prove eseguite rimandando all'allegato " Certificati delle prove di laboratorio " per il dettaglio delle stesse.

Sondaggio n°	campione n°	prof. camp. dal p.c. m	Granulometria vagliatura		granulometria aerometria		contenuto d'acqua W	Peso di volume PV	Triassiale (UU) senza saturaz. Cu	Triassiale (UU) con saturaz. Cu	Prova di Taglio diretto		Prova Triassiale CU		Prova edometrica vedi Tab.
			ghiaia %	sabbia %	limo %	argilla %					°	c' Kg/cmq	°	c' Kg/cmq	
S1	C1	3,6-4,0					19,52	2,01			22	0,1			
S1	C3	19,85-20,3	0,0	3,0	51,0	46,0	16,12	2,11	4,37						
S1	C4	30,20-30,65	0,0	3,0	52,0	45,0	20,56	2,08					28	0,4	
S1	C5	44,4-44,8	0,0	2,0	47,0	51,0	22,34	2,07	5,18						
S1	C6	51,45-51,9	0,0	4,0	48,0	48,0	19,26	2,10					28	0,5	*
S1	C7	58,6-59,0	0,0	1,0	55,0	44,0	15,19	2,07	7,00						
S2	C2	10,5-10,9	0,0	2,0	48,0	50,0	19,76	2,05	2,39						
S2	C3	14,9-15,3	0,0	2,0	48,0	50,0	15,85	2,03					29	0,10	
S2	C4	24,7-25,0	0,0	2,0	48,0	50,0	17,47	2,07	4,99						*
S4	C1	1,6-2,1	0,0	13,0	46,0	41,0	18,82	2,02			22	0,05			
S4	C2	4,0-4,4	0,0	5,0	57,0	38,0	17,35	2,08	1,43						
S4	C3	8,9-9,35	0,0	6,0	53,0	41,0	18,60	2,04	1,71						
S5	C1	0,35-0,85	0,0	13,0	45,0	42,0	20,99	2,04			20	0,03			
S5	C2	3,5-3,85	0,0	10,0	51,0	39,0	20,81	1,98	1,19						
S5	C3	10,8-11,35	0,0	6,0	56,0	38,0	19,18	2,06	2,51						
S8	C2	2,2-2,7	0,0	2,0	47,0	51,0	22,47	1,94			20	0,07			
S9	C2	6,0-6,3	0,0	1,0	48,0	51,0	16,24	2,10			27	0,05			
S10	C1	3,5-4,0	0,0	2,0	48,0	50,0	22,28				17	0,0			
S10	C2	7,0 – 7,5	0,0	3,0	51,0	46,0	19,93		2.538						

Sondaggio n°	campione n°	prof. camp. dal p.c.	Granulometria vagliatura		Granulometria aerometria		contenuto d'acqua	Peso di volume	Triassiale (UU) senza saturaz.	Triassiale (UU) con saturaz.	Prova di Taglio diretto		Prova Triassiale CU		Prova edometrica
			ghiaia	sabbia	limo	argilla					W	PV	Cu	Cu	
		m	%	%	%	%	%	gr/cc	Kg/cmq	Kg/cmq	°	Kg/cmq	°	Kg/cmq	
S11	C1	3,5-4,0	0,0	2,0	44,0	54,0	24,20	1,93			18	0,0			*
S11	C3	11,3-11,8	0,0	2,0	43,0	55,0	21,58	2,10	2,15						
S11bis	C1	1,5-2,0	60,0	25,0	10,0	5,0									
			7,0	4,0	44,0	45,0	20,93	1,93	0,77						
S11bis	C2	4,7-5,0	0,0	2,0	48,0	50,0	19,23	2,05		1,20					
S13	C1	1,2-1,5	0,0	3,0	44,0	53,0	18,05	2,00		0,56					*
S15	C1	1,0-1,5	1,0	5,0	46,0	48,0	23,25	2,01			22	0,0			
S15bis	C1	1,4-1,8	5,0	14,0	40,0	41,0	21,03	2,02	1,11						
S15bis	C2	3,2-3,7	8,0	10,0	31,0	51,0	28,68	1,80							*
S15bis	C3	8,5-9,0	0,0	3,0	49,0	48,0	17,79	2,01	1,56						
S16	C1	2,8-3,0	22,0	8,0	35,0	35,0									
			1,0	13,0	51,0	35,0	32,44	1,88			21	0,1			
S16	C2	15,6-16,0	0,0	4,0	55,0	41,0	18,41	2,04		1,45					*
S17	C1	4,8-5,3	2,0	6,0	50,0	42,0	15,48	2,05	5,46						

1.5 PIEZOMETRI E RILIEVI DI FALDA

Sono stati installati n. 3 piezometri a cella di casagrande nei sondaggi S2 , S15 ed S16 e n. 5 piezometri a tubo aperto nei sondaggi S4 , S12, S13, S15 ed S16.

Piezometri Casagrande

Questo tipo di piezometro è stato posizionato nella perforazione dopo aver accuratamente pulito il foro dai detriti di perforazione.

Questi piezometri sono costituiti da una cella porosa di polietilene ad alta densità con un diametro di 50 mm, collegata alla superficie da due tubicini rigidi in PVC del diametro di 15 mm ed uno spessore di 3 mm, giuntati tra loro da appositi manicotti.

La posa di questi piezometri è stata eseguita posizionando intorno alla cella uno strato di ghiaietto pulito. La cella è stata isolata mediante il posizionamento alla base ed al tetto della ghiaia di uno strato di bentonite a palline.

Al di sopra dello strato isolante il piezometro è stato riempito con miscela cementizia fino al piano campagna.

La sommità del boccaforo è stata impermeabilizzata con malta cementizia per impedire l'infiltrazione d'acque superficiali.

Il terminale piezometrico è stato inserito in un pozzetto metallico dotato di lucchetto.

Piezometri a tubo aperto

Questo tipo di piezometro è stato posizionato nella perforazione dopo aver accuratamente pulito il foro dai detriti di perforazione.

Questi piezometri sono costituiti da un tubo in pvc microfessurato di diametro variabile da 10 a 40 mm giuntati tra loro da appositi manicotti.

In corrispondenza dei terreni in falda è stato posto il tubo microfessurato, nella restante parte è stato installato un tubo cieco.

Per il dettaglio relativo alle porzioni finestrate dei singoli piezometri si rimanda alle indicazioni fornite nelle stratigrafie dei sondaggi.

La posa di questi piezometri è stata eseguita posizionando intorno alla tubazione un filtro con ghiaietto pulito.

Il terminale piezometrico è stato inserito in un pozzetto metallico dotato di lucchetto.

Si riportano nelle sottoelencate tabelle le letture piezometriche eseguite nel periodo dei lavori.

SONDAGGIO S 2 – PIEZOMETRO CASAGRANDE - Profondità: 26,0 m	
QUOTA DAL P.C.	DATA
9.70	07/05/03
10.10	23/05/03
10.35	18/07/03

SONDAGGIO S 4 – TUBO APERTO - Profondità: 26,0 m	
QUOTA DAL P.C.	DATA
1.10	07/05/03
1.25	23/05/03
1.30	18/07/03

SONDAGGIO S 12 – TUBO APERTO - Profondità: 26,0 m	
QUOTA DAL P.C.	DATA
4.40	07/05/03
4.40	23/05/03
4.50	18/07/03

SONDAGGIO S 13 – TUBO APERTO - Profondità: 26,0 m	
QUOTA DAL P.C.	DATA
5.20	07/05/03
5.60	23/05/03
6.00	18/07/03

SONDAGGIO S 15 – TUBO APERTO - Profondità: 26,0 m	
QUOTA DAL P.C.	DATA
12.30	07/05/03
12.65	23/05/03
13.90	18/07/03

SONDAGGIO S 15 – CELLA CASAGRANDE - Profondità: 26,0 m	
QUOTA DAL P.C.	DATA
12.30	07/05/03
12.65	23/05/03
13.90	18/07/03

SONDAGGIO S 16 – TUBO APERTO - Profondità: 26,0 m	
QUOTA DAL P.C.	DATA
Assente	07/05/03
Assente	23/05/03
Assente	18/07/03

SONDAGGIO S 16 – CELLA CASAGRANDE - Profondità: 26,0 m	
QUOTA DAL P.C.	DATA
Assente	07/05/03
Assente	23/05/03
Assente	18/07/03

1.6 INCLINOMETRI

I fori di sondaggio denominati S1, S8,S9,S10,S11, S11bis, S14 ed S17 sono stati attrezzati con tubazioni inclinometriche secondo le seguenti prescrizioni:

- i singoli spezzoni di tubo inclinometrico a 4 guide , in materiale UNI 9006 (Al-Mg 05-Si 04-Fe 02), aventi diametro interno $\phi_{int} = 75,6$ mm e lunghezza 3 m, sono stati giuntati tramite manicotti, fissati con rivetti e sigillati con colla e nastro adesivo;
- la cementazione, che garantisce l'accoppiamento del sistema tubo-terreno, è stata ottenuta mediante una miscela di acqua, cemento e bentonite, iniettata dal fondo del foro (“cementazione in risalita”);
- la cementazione è stata eseguita con tubazione di rivestimento provvisorio in opera gradualmente rimossa in fase di iniezione;
- Il boccaforo è stato protetto tramite un pozzetto protettivo munito di lucchetto.

Le misure inclinometriche sono state eseguite per il controllo della stabilità dei versanti , con una sonda dotata di sensori di inclinazione e con un sistema di acquisizione automatica dei dati.

I controlli sono stati effettuati con una sonda biasciale, avente sensibilità pari a 20.000 $\text{sen}\alpha$, un campo di misura della verticale $\pm 30^\circ$, una deriva di temperatura dallo zero <0.005 % F.S., una deriva di temperatura del fattore di scala <0.005 % F.S. e un campo di funzionamento in temperatura $-5^\circ / +60^\circ\text{C}$

La sonda è dotata di servoinclinometri, disposti fra di loro ortogonalmente ed in asse al corpo sonda, installati in una torpedine munita di due carrelli a ruote contrapposte (una fissa e una mobile) per lo scorrimento nelle guide dei tubi inclinometrici (la direzione ed il verso di una delle singole quattro guide viene data dalla ruota fissa).

Il sensore servoinclinometrico è costituito principalmente da un magnete, da una bobina mobile, da una massa di sbilanciamento e da un rilevatore di posizione. La rotazione della bobina, indotta dalla componente della forza di gravità, genera un segnale nel rilevatore di posizione. Tale segnale, confrontato con un segnale fisso di riferimento, fa sì che si crei una corrente che inviata alla bobina all'interno di un campo magnetico serve a tenerla nella posizione di zero; la corrente è direttamente

proporzionale alla forza che tende a far ruotare la bobina e quindi all'angolo di inclinazione.

La sonda viene calata nel tubo inclinometrico tramite un cavo di lunghezza pari a 50 m, dotato di connettore stagno fino a 50 bar, che garantisce il sostegno della sonda e al tempo stesso permette la misura precisa grazie alla propria caratteristica di inestendibilità; inoltre la precisione dell'intervallo tra due misure successive è dato da tacche di riferimento, vulcanizzate sul cavo. L'errore massimo sulla metratura è pari a $\pm 5 \text{ cm}/100 \text{ m}$, mentre l'allungamento, con un carico di 20 kg, è minore di 0,005% della lunghezza nominale.

La centralina, del tipo OG385, oltre ad alimentare i sensori della sonda, amplifica i segnali e consente di immagazzinare, in una memoria allo stato solido, i dati di campagna e i valori di inclinazione delle misure inclinometriche, limitando al minimo l'intervento umano ed evitando così possibili errori di trascrizione.

Successivamente i dati vengono trasmessi, mediante un'interfaccia RS 232, ad un computer più potente per la elaborazione e la restituzione dei risultati. Questi ultimi vengono forniti in forma numerica (letture di campagna, valori di spostamento e valori angolari) ed in forma grafica (inclinazioni, deformate e azimuth degli spostamenti).

Le misure inclinometriche e le relative elaborazioni allegate (numeriche e grafiche) sono riportati nell'apposito allegato.

Su tutte le tubazioni è stata eseguita finora una prima lettura di taratura (lettura di zero) e n. 2 letture successive.

Osservando i diagrammi della risultante sia dei movimenti per punti che di quelli per sommatoria rispetto all'origine si riscontrano spostamenti calcolati alle diverse quote praticamente insignificanti.

Le modestissime variazioni che si osservano in prossimità della testa di alcune tubazioni sono probabilmente da attribuire a sollecitazioni derivanti presumibilmente dal passaggio di mezzi agricoli a breve distanza dalle stesse.

In conclusione, durante il periodo di controllo non sono stati rilevati movimenti di tipo gravitativi lungo i tratti di versante interessati dalle misure inclinometriche.

1.7 INDAGINI GEOFISICHE

L'indagine è stata effettuata allo scopo di definire le caratteristiche sismostratigrafiche e fisico-meccaniche delle formazioni geologiche interessate dalla traccia di progetto, integrando i dati emersi dalle indagini dirette.

Più precisamente sono state realizzate n° 33 basi sismiche a rifrazione di superficie in onde P utilizzando come sensori una catena di 12 geofoni con interdistanza geofonica pari a 10 m. Sono state generate onde compressionali P energizzando in 3 *shot points* in linea tramite cannoncino a cartucce tecniche; in particolare, lo *shot A* e lo *shot B* sono posizionati all'origine ed alla fine dello stendimento e lo *shot C* a metà stendimento (cioè a 60 m dallo *shot A* e dallo *shot B*). Con tale tipo di geometria, ogni stendimento presenta una lunghezza della catena geofonica di 110 m; in totale sono stati realizzati 3.630 m di sismica a rifrazione di superficie.

La posizione e la lunghezza delle basi sono state programmate cercando un giusto compromesso tra la necessità di investigare la zona interessata dal tracciato di progetto, le difficoltà logistiche dei siti, le profondità massime da esplorare e la risoluzione del metodo, ottenendo informazioni sismostratigrafiche complete per una corretta caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni.

L'ubicazione delle basi sismiche eseguite è riportata nell'allegato "ubicazione delle indagini geofisiche e geognostiche". Ogni base, individuata dalla lettera B e da un numero progressivo (B1, B2 ecc), viene rappresentata da un segmento delimitato da un pallino che rappresenta lo *shot A* e da un triangolo che rappresenta lo *shot B*.

Per ogni singolo stendimento sono stati ricostruiti i seguenti elaborati :

- ◆ SEZIONI SISMOSTRATIGRAFICHE : per ogni base sismica è rappresentata la sezione sismostratigrafica interpretativa ed il relativo profilo di velocità. Le sezioni, evidenziando la posizione degli *shots* e dei geofoni, mostrano una discretizzazione sismica del sottosuolo derivante dall'interpretazione delle dromocrone; i sismostrati sono rappresentati con diversi colori (in giallo puntinato la coltre, in marroncino tratteggiato il limo argilloso, in grigio tratteggiato le argille di base) e ad ognuno è associata una curva di medesimo colore che ne evidenzia la velocità sismica lungo lo stendimento.
- ◆ DROMOCRONE : per ogni base sismica sono riportati in grafico i tempi, individuati sui sismogrammi, dei primi arrivi delle onde sismiche su ciascun geofono e per ogni *shot*; in rosso è rappresentata la dromocrona relativa allo *shot A*, in blu quella relativa allo *shot C* ed in verde quella relativa allo *shot B*.
- ◆ SISMOGRAMMI : per ogni base sismica sono riportati i sismogrammi registrati in fase di acquisizione, corredati con i dati tecnici. I sismogrammi, riportati per ogni *shot*, sono stati opportunamente sottoposti ad una fase di *processing* matematico (filtraggi, amplificazioni, equalizzazioni) in modo da evidenziare i primi arrivi delle onde sismiche. I dati tecnici riguardano la geometria di ciascuna base sismica e le caratteristiche di registrazione e di elaborazione dei segnali sismici.
- ◆ INTERPRETAZIONI SISMOSTRATIGRAFICHE : per ogni base sismica sono riportati in una tabella riassuntiva le caratteristiche geometriche dello stendimento (distanza e quota degli *shots*, dei geofoni e pendenza media del profilo topografico), ed i valori di velocità e di profondità dei vari sismostrati calcolati sotto ogni *shot* e sotto ogni geofono.

Cenni teorici sull'indagine sismica a rifrazione

Il metodo sismico a rifrazione si basa sulla misura del tempo necessario affinché una perturbazione di origine elastica si trasmetta dalla sorgente (*shot point*) ai ricevitori (*geofoni*) che registrano i sismogrammi relativi agli arrivi di onde dirette e rifratte.

In fase di *processing* vengono individuati sui sismogrammi i *primi arrivi* che rappresentano il tempo che l'onda impiega a percorrere una traiettoria diretta o rifratta tra la sorgente ed i geofoni.

La prospezione sismica a rifrazione è particolarmente indicata per ottenere rapide informazioni nel caso di strutture di grandi dimensioni, costituite da uno strato rifrangente posto al di sotto di una serie stratigrafica dotata di velocità di propagazione delle onde sismiche inferiore.

Rappresentando in un sistema di assi cartesiani i tempi di arrivo delle onde sismiche ai geofoni in funzione della loro distanza dal punto di scoppio, si ottiene una famiglia di curve tempi-distanze funzione delle caratteristiche geologiche locali; tali curve si definiscono *dromocrone*.

Nella sottostante *Fig. 1* sono rappresentate le dromocrone relative alle onde dirette e rifratte nel caso di una semplice struttura geologica.

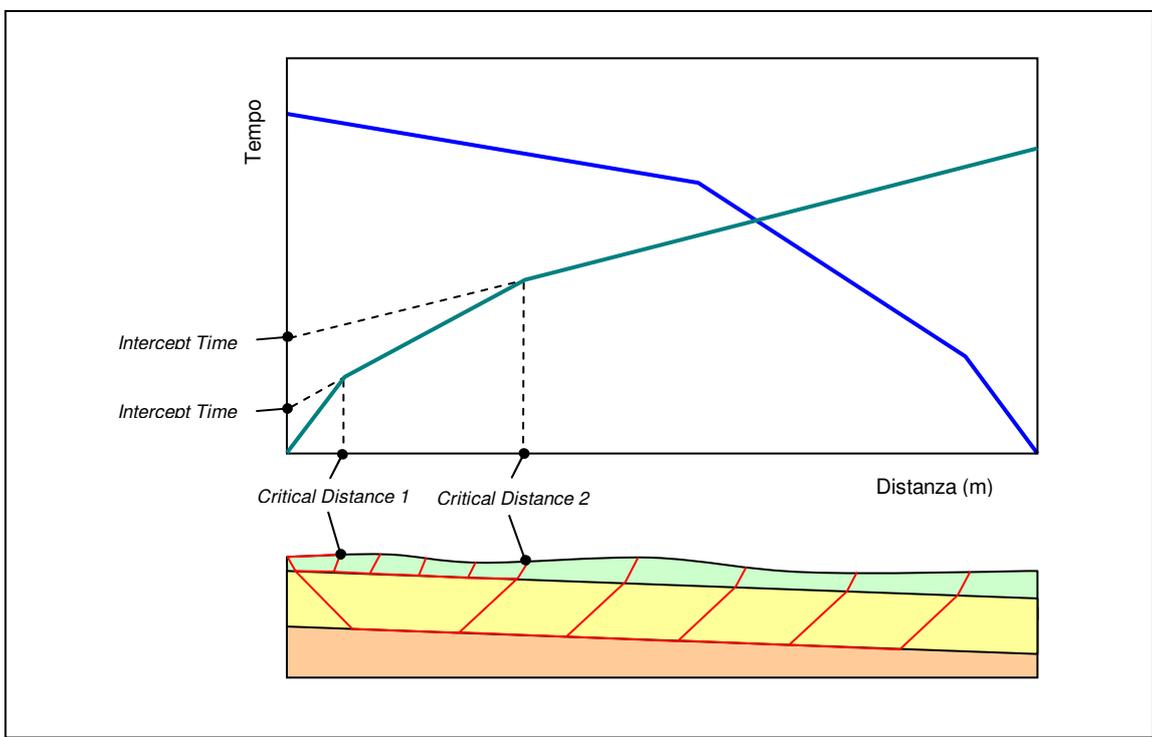


Fig. 1 – Esempio di dromocrone relative ad una particolare stratigrafia.

Considerando il diagramma spazio-tempo, possiamo notare che ad una certa distanza dallo scoppio (*Critical Distance 1*) le onde dirette arrivano contemporaneamente alle onde rifratte sulla prima interfaccia. Per i geofoni posti ad una distanza minore di tale punto, il primo arrivo è rappresentato da un'onda diretta che viaggia nel primo mezzo, a velocità V_1 . Per distanze maggiori della *Critical Distance 1*, il primo arrivo corrisponde all'onda rifratta sulla prima interfaccia, che viaggia ad una velocità V_2 . Tale condizione si mantiene fino a quando, arrivati ad una ulteriore distanza dallo scoppio (*Critical Distance 2*), il primo arrivo corrisponde all'onda rifratta sulla seconda interfaccia, che viaggia a velocità V_3 .

Si possono costruire *dromocrone* anche nel caso di n strati, purché le velocità aumentino sempre con la profondità; ogni punto angolare indica il passaggio da uno strato al successivo e le velocità sono indicate dall'inverso della pendenza dei rispettivi rami di dromocrone.

Se gli strati sono poco potenti e con velocità crescente con la profondità (come normalmente avviene nei terreni non consolidati), i percorsi delle onde saranno curvi, con concavità rivolta verso l'alto ed anche la corrispondente dromocrone sarà una curva (*Fig. 2*).

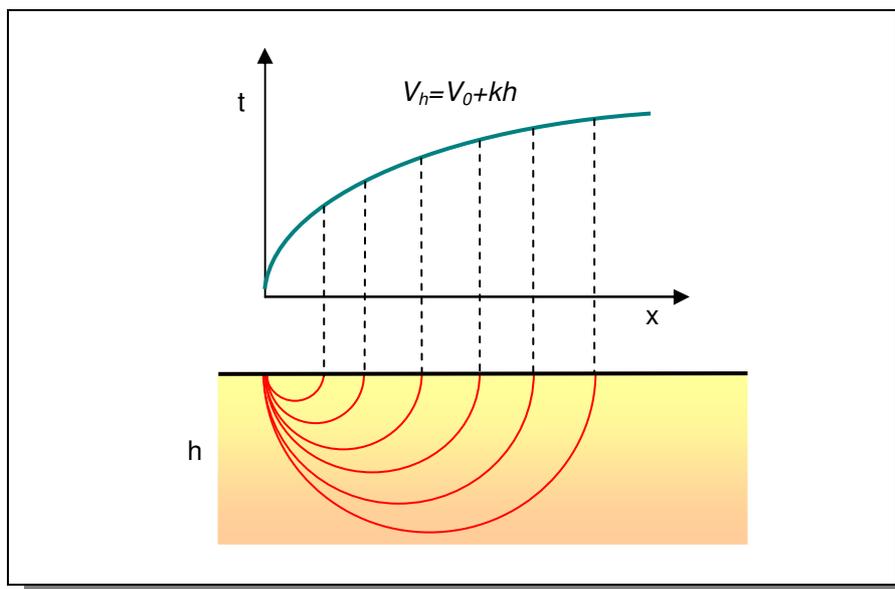


Fig. 2 - Dromocrona nel caso di aumento della velocità con la profondità.

Nella maggior parte dei casi, la prospezione sismica individua uno strato superficiale definito *aerato*, rappresentato da un sistema misto costituito dal terreno e dall'aria presente nei vuoti intergranulari. L'aerato è uno strato dotato di una forte attenuazione sismica e spesso presenta velocità sismiche inferiori alla velocità del suono ($\cong 340$ m/s); questo fenomeno, tipico dei *porous media*, dipende dal fatto che nei primi metri di terreno si ha un'interferenza distruttiva tra le onde elastiche (a traiettoria principalmente orizzontale) che si propagano nello scheletro solido e quelle che si propagano nell'aria presente all'interno dei vuoti; il fenomeno, reso molto complesso da parametri quali la disposizione spaziale dei granuli e la sinuosità delle traiettorie sismiche, fa sì che la velocità sismica del sistema terreno-aria sia inferiore a quella delle singole fasi.

I principali limiti della sismica a rifrazione risiedono nell'impossibilità teorica di rilevare successioni stratigrafiche composte da strati a velocità di propagazione delle onde sismiche decrescente con la profondità. In tal caso l'onda rifratta dallo strato sottostante meno veloce subisce una flessione verso il basso e non può tornare in superficie; in tale situazione lo strato sottostante meno veloce è definito *orizzonte muto*. Altra limitazione si ha in presenza di strati profondi di modesto spessore; in questo caso l'orizzonte non produce alcun cambiamento di pendenza sulle dromocrone e non è quindi rilevabile.

Riferendosi inoltre alla correlazione con i contatti litostratigrafici individuati in sondaggi geognostici, si precisa che l'identificazione degli strati rilevati con la prospezione sismica dipende dal grado di effettiva omogeneità dello spessore litostratigrafico; infatti, molto spesso interferiscono, con effetti opposti, fenomeni di cementazione o di degradazione al tetto e/o al letto dello strato geologico, i quali causano rispettivamente un innalzamento e un abbassamento dei valori della velocità delle onde sismiche. Per tale motivo, non sempre le discontinuità fisiche rilevate con l'indagine sismica corrispondono a semplici limiti stratigrafici e geologici.

Sorgente di energia

Considerate le distanze di energizzazione (120 m) è stato utilizzato come generatore di onde compressionali P un cannoncino modello ISOTTA a cartucce tecniche calibro 8 (*Foto 1*). Per ogni *shot point* viene preparato nel terreno, per mezzo di una trivella a mano, un foro profondo circa 30 cm, all'interno del quale viene successivamente fatta esplodere la cartuccia con il cannoncino; l'utilizzo di cartucce esplosive determina una migliore energizzazione sismica in termini di ampiezza e di spettro dell'impulso immesso, con un elevato valore del rapporto segnale/rumore.



Foto 1 – Cannoncino a cartucce modello ISOTTA

3.1.1 Apparato di ricezione

Sono stati utilizzati geofoni a componente verticale di frequenza propria pari a 14 Hz (*Foto 2*), posizionati sul terreno ad intervalli di 10 m e collegati tra loro da cavo elettrico e, tramite questo, all'unità di registrazione o sismografo.

Il sismografo è costituito da un sistema computerizzato PASI, modello 12S12L a 12 canali (*Foto 3*), con le seguenti caratteristiche:

- *Processore*: Pentium 266 Intel

- *Trattamento dati:* Floating Point 32 bit
- *Ambiente operativo:* Windows©
- *Supporto di memorizzazione:* Hard-Disk (3.2 Gb)
- *Risoluzione di acquisizione:* 12 bit
- *Formato dati acquisiti:* SEG-2
- *Connettori cavo geofoni:* standard NK-27-21C
- *Alimentazione:* batteria da 12VDC



Foto 2 – Particolare di geofono



Foto 3 – Sismografo PASI Modello 12S12L

Operazioni di campagna

Eseguito il posizionamento dei geofoni sul terreno, collegati questi tramite morsetti bipolari al cavo elettrico e quest'ultimo al sismografo, sono stati realizzati alcuni *shot* di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione del sismografo in termini di amplificazioni dei singoli canali di registrazione. Effettuata la taratura della strumentazione, si è proceduto alla prospezione sismica a rifrazione in modo tale che, dopo ogni energizzazione (o somma di energizzazioni) su ciascun punto prestabilito, si fosse acquisito o registrato il segnale sul sismografo per la successiva elaborazione da effettuarsi in sede. L'istante di tempo zero, ovvero il segnale d'inizio registrazione, è stato inviato allo strumento da un *geofono starter* posto nelle vicinanze dello *shot point*.

Ciascuna linea sismica è stata esplorata secondo un modulo prestabilito di energizzazioni (*shot* ogni 60 m e copertura su tutta la linea) per consentire il dettaglio richiesto dall'indagine (*Foto 4*).



Gli impulsi sismici ricevuti dai geofoni posizionati sulla superficie topografica sono stati acquisiti utilizzando il sismografo PASI 12S12L a 12 canali di registrazione simultanea, tramite il quale, dopo amplificazione, conversione analogico-digitale e filtraggio, sono stati registrati nell'hard disk di cui il sismografo stesso è dotato.

Elaborazioni delle tracce sismiche ed individuazione dei *FBP*

I sismogrammi acquisiti sono stati, in primo luogo, sottoposti ad una fase di *processing* matematico consistente in filtraggi (*band-pass, high-cut, low-cut*), amplificazioni (*gain, amplitude factor*) ed equalizzazioni (*trace equalisation*); questa fase è fondamentale per ridurre rumori di fondo e strumentali dai sismogrammi, aumentando il rapporto segnale/rumore ed esaltando i primi arrivi delle onde sismiche.

Successivamente si è passati alla fase d'interpretazione consistente, inizialmente, nell'individuazione dei primi arrivi delle onde sulle tracce sismiche (*First Break Point* o *FBP*). Da questi sono state ottenute le dromocrone relative alle varie basi sismiche.

Interpretazione delle dromocrone

L'interpretazione delle dromocrone è stata effettuata in un primo tempo con il metodo dei *tempi intercetti*, in modo da definire, in prima approssimazione, le velocità reali dei

mezzi e le profondità sotto i punti di scoppio; successivamente sono stati usati i metodi *Delay-Time* e *Generalized Reciprocal Method (GRM)* per avere una migliore interpretazione dei dati acquisiti. Prima di passare a tali metodi, si è utilizzata, in alcuni casi, la tecnica del *true velocity* che consente di definire con precisione le velocità del *bedrock* nel caso in cui esso sia pendente.

Il metodo d'interpretazione *Delay-Time* fa uso della sovrapposizione degli arrivi provenienti dal medesimo rifratte, ottenuti dalla comparazione delle registrazioni omologhe in linea (A-G); in questo modo si calcola il *tempo di ritardo (Delay-Time)* con il quale può essere stimata la profondità del rifratte in questione sotto ogni singolo geofono dello stendimento (*Fig. 3*).

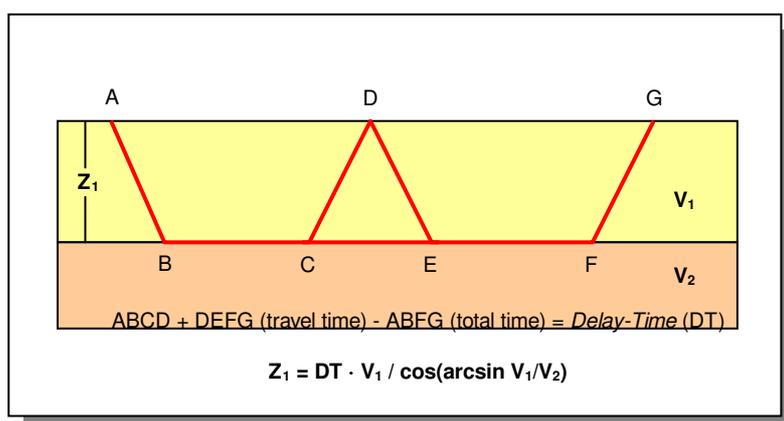


Fig. 3 – Schema semplificato del metodo del Delay-Time.

Nei casi di non correlabilità delle profondità, le funzioni velocità vengono quindi ricalcolate in modo da ottenere risultati univoci nella definizione stratigrafica dei rifrattori. Nei casi di evidenti eteropie laterali di velocità vengono elaborate funzioni di velocità variabili lungo la linea, in modo da ottenere omogeneità nel parametro profondità.

Il *GRM* (PALMER, 1980) è una generalizzazione del *Delay-Time* ed è utilizzato per una migliore ricostruzione della geometria del *bedrock*, cioè lo strato più profondo ed a maggiore velocità rilevabile dai sismogrammi (*Fig. 4*).

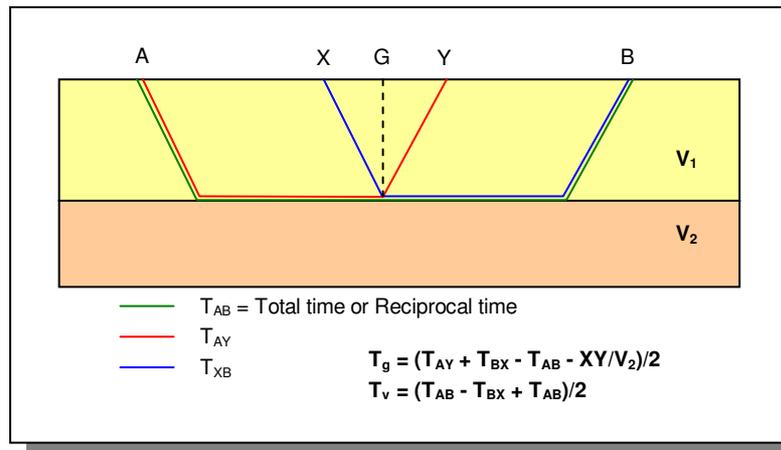


Fig. 4 – Schema semplificato del metodo GRM.

Risultati e conclusioni

Le basi sismiche sono state interpretate tramite l'utilizzo di software specifici che offrono la possibilità di utilizzare i metodi dei *tempi intercetti*, *Time Delay* e *GRM*. Per ogni base sismica si è operato utilizzando contemporaneamente tutti i metodi d'interpretazione, al fine di avere un'ottima soluzione dei sismogrammi acquisiti; in questo modo è stato possibile discretizzare i terreni in sismostrati, individuare le profondità del *bedrock* e determinare le eventuali variazioni ed anomalie di velocità all'interno dei terreni stessi, evidenziando anisotropie fisiche del mezzo.

L'interpretazione dei dati sismici, insieme a quelli derivanti dalle indagini dirette e di superficie, ha permesso di trarre le seguenti conclusioni.

- ✓ Tutte le basi sismiche mostrano una buona correlazione sismostratigrafica ed evidenziano, dall'alto verso il basso, principalmente 3 sismostrati:
 - *aerato* - coltre superficiale, con velocità delle onde P variabile tra circa 300 e 800 m/s, di spessore variabile tra circa 0 e 9 m;

- *sismostrato intermedio* - alterazione limoso-argillosa della formazione, con velocità delle onde P variabile tra circa 1.000 e 1.400 m/s, fino ad una profondità variabile tra circa 0 e 11 m;
- *bedrock* - formazione di base delle argille grigio-azzurre, con velocità delle onde P variabile tra circa 1.600 e 1.900 m/s.

Sebbene in alcune basi sismiche il substrato argilloso risulti affiorante, esso è comunque ricoperto da una sottile coltre superficiale di spessore metrico e per questo difficilmente rilevabile con la geometria adottata per gli stendimenti.

- ✓ Il passaggio tra i suddetti sismostrati non è evidenziato da nette interfacce sismiche in quanto le caratteristiche fisico-meccaniche dei termini argillosi migliorano gradualmente con la profondità; tale situazione si ripercuote anche sui valori di velocità delle onde sismiche che aumentano progressivamente con la profondità.
- ✓ Le porzioni superficiali di terreno (coltre ed alterazione della formazione) mostrano geometrie, velocità sismiche e quindi caratteristiche fisico-meccaniche variabili e talora confrontabili; per tale motivo, i sismostrati superiori variano di spessore o addirittura si fondono anche lungo uno stesso stendimento sismico. Alla luce di ciò, essi sono rappresentati nella sezione sismostratigrafica generale (TAV. 2) come un unico sismostrato superficiale all'interno del quale sono comunque evidenziate le ampie variazioni della velocità sismica.
- ✓ Le ampie variazioni di velocità sismica delle porzioni superficiali sono legate principalmente alla consistenza del terreno, allo stato di alterazione e/o fessurazione ed all'esistenza di zone allentate potenzialmente in frana, dotate di basse ed anomale velocità sismiche.
- ✓ Il substrato argilloso presenta valori di velocità sismica abbastanza costanti, a testimonianza delle sue omogenee caratteristiche fisico-meccaniche.
- ✓ In alcune tracce di vari sismogrammi si evidenziano anticipi delle onde legati alla probabile presenza di zone molto addensate all'interno dei sismostrati

superficiali; tali zone fungono localmente da rifrattori e, deviando le traiettorie delle onde sismiche, generano degli arrivi anomali nei sismogrammi. Durante la fase di *processing* matematico, tali arrivi vengono eliminati in quanto non vanno presi in considerazione in fase d'interpretazione delle dromocrone. In ogni caso è importante ricordare come tali anomalie testimoniano l'eterogeneità fisico-meccanica delle porzioni superficiali.

- ✓ Le formazioni investigate hanno evidenziato un'attenuazione nella propagazione delle onde sismiche soprattutto nei sismostrati superficiali, a testimoniare ancora una volta l'eterogeneità fisico-meccanica dalle coltri e delle porzioni alterate della formazione argillosa.

Sulla base dei risultati delle indagini geofisiche è stata ricostruita una sezione sismostratigrafica generale. Si è ricostruito lo spessore totale della coltre superficiale e dell'alterazione limoso-argillosa della formazione (in giallo puntinato) che ricoprono il substrato argilloso (in grigio tratteggiato); per ogni sismostrato sono indicati i valori delle velocità delle onde P e le relative variazioni laterali.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di studio è situata nella porzione più orientale dell'Appennino Centrale, più precisamente in prossimità del versante orientale della Montagna della Maiella, zona compresa nel foglio topografico 147 "Lanciano" della Regione Abruzzo alla scala 1:100.000, all'interno del quadrante II alla scala 1:25.000.

La finalità dello studio, data dall'adeguamento della "Piceno Aprutina" (S.S. 81), permette di individuare meglio la zona; amministrativamente l'area ricade interamente nella Provincia di Chieti, nel tratto della stessa strada statale 81 che collega i Comuni di Guardiagrele e Casoli.

La viabilità principale è naturalmente assicurata dalla "Piceno Aprutina" (S.S. 81), che attraversa l'area oggetto del progetto dell'infrastruttura, nello specifico da San Bartolomeo (territorio del Comune di Guardiagrele), fino al termine di Laroma (territorio di Casoli) all'incrocio per Fara San Martino.

Morfologicamente la zona appare compresa tra ripiani collinari, Caprafico (520 m s.l.m.) e Piano Laroma (530 m s.l.m.) ad ovest, e Piana Ascigno (400 m s.l.m.) ad est, che devono il loro aspetto fisiografico ai depositi argillosi su cui giacciono.

Tra queste colline scorre il principale lineamento idrografico, rappresentato dal Torrente Laio, entro il quale confluiscono tutta una serie di torrenti minori e fossi che caratterizzano l'intera zona.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

L'area situata al margine esterno della catena appenninica ricade nell'ambito del bacino periadriatico, inquadrato nel processo di migrazione del sistema catena – avanfossa verso est, la cui evoluzione è il risultato di un'intensa tettonica sinsedimentaria e dell'interazione tra variazioni climatiche, eustatismo ed un generalizzato fenomeno di sollevamento.

L'azione della tettonica sinsedimentaria si è sviluppata in più fasi dal Pliocene inferiore, causando una strutturazione dell'edificio a thrust, l'articolazione del bacino, il sollevamento generalizzato dell'area ed il suo basculamento verso E.

In tale area, si riconoscono: i depositi della successione carbonatica cretaceo – miocenica della Maiella e i sedimenti del Pliocene inferiore basale, in prevalenza pelitici, correlabili alle Argille del Cigno di CENTAMORE *et alii*, all'interno dei quali si

trovano intercalati i depositi della Colata gravitativa dell'Aventino – Sangro. La presenza di questi ultimi depositi si rinviene anche dentro i sedimenti argilloso - siltosi della Formazione Cellino e della Formazione Mutignano. I depositi terrigeni del Monte Porrara, messi in posto tra la prima e la seconda fase di movimento della Colata, si riscontrano nella parte più meridionale di tale area.

I sedimenti carbonatici cretacicico – miocenici della successione della Maiella sono ricollegabili ad una sedimentazione di ambiente di piattaforma e di rampa (BERNOULLI *et alii*, 1992). Le argille del Cigno e la Formazione Cellino, sono identificabili con i depositi distali dell'avanfossa del Pliocene inferiore. La Colata gravitativa dell'Aventino – Sangro è costituita da argille varicolori, calcareniti e calciruditi, sedimenti calcareo - marnosi e pelitico – arenacei; è una coltre alloctona di sedimenti derivanti da domini paleogeografici più interni che sono stati trasportati nella attuale posizione in più eventi durante la fase tettonica di strutturazione della catena, secondo quello che può esser considerato un fenomeno di “colamento”, controllato dalla gravità, ma connesso alle diverse fasi dell'orogenesi appenninica. La Formazione Mutignano costituita da peliti di piattaforma risulta coperta da depositi sabbioso – arenacei – ghiaiosi e ciottolosi di chiusura della successione plio – pleistocenica.

L'attuale assetto strutturale della zona è stato raggiunto attraverso diverse fasi, nel Pliocene inferiore una fase compressiva ha dato origine ai thrust della catena appenninica e alla loro migrazione verso est con deformazione dei depositi di avanfossa, poi ha seguito una successiva fase estensionale, contemporaneamente ad un fenomeno di sollevamento con maggiore ampiezza verso la catena e basculamento, con dislocazioni trasversali che hanno dato valori differenziati in senso longitudinale allo stesso sollevamento.

Sia durante la fase compressiva che durante quella di sollevamento e basculamento si sono creati settori variamente ribassati e rialzati, attraverso l'attività di faglie N20°-35°E e N45°-60°E, e subordinatamente N±20° e N40°-60°O. Azione che ha articolato il bacino durante la sedimentazione marina, determinando così la diversificazione tra gli ambienti deposizionali.

Il fenomeno di sollevamento generalizzato che si è sviluppato a partire dal Pleistocene inferiore, con valori differenziati in senso longitudinale per riattivazione e

neoformazione di faglie N20°-35°E e N45°-60°E, ha determinato l'emersione dell'area nonché l'attuale assetto monoclinale, sul quale si è andato impostando un reticolo idrografico che ha determinato la formazione dei depositi alluvionali terrazzati.

A partire dal Pleistocene medio si ha una riattivazione e neoformazione anche di faglie N40°-60°O che vanno a controllare lo sviluppo dei depositi continentali.

4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE

Attraversando il territorio dal massiccio carbonatico della Maiella fino alla vasta fascia collinare che degrada verso mare, vanno distinti peculiari processi morfogenetici che fortemente controllati dalla litologia e dall'assetto delle unità affioranti suddividono l'area in zone caratterizzate da specifiche forme.

La porzione sud – orientale del massiccio carbonatico della Maiella è interessata dall'importante azione della gravità, che con il crioclastismo e le acque di scorrimento superficiale, degradano e modellano i suoi versanti.

Naturalmente le quote più elevate si raggiungono nella zona che comprende la porzione sud - orientale della Maiella, con i 1900 metri s.l.m. nei pressi della Maielletta; il profilo dei versanti del massiccio è debolmente inclinato nella parte più sommitale, ma poi tende ad essere più verticale nella parte bassa, con scarsa copertura vegetativa e frequente distacco di detriti. Tra Pennapiedimonte e Serramonacesca il ripido profilo viene interrotto da ripiani suborizzontali in corrispondenza di resti di superfici di spianamento (Le Piane, Piana delle Mele, Pian della Civita) attribuibili all'attività di processi morfogenetici propri di differenti condizioni climatiche rispetto alle attuali.

Valli strette e profonde e più ampi valloni con formazione di grandi coltri detritiche attraversano il massiccio carbonatico. Fatta eccezione per il F. Pescara e il F. Sangro che attraversano la dorsale carbonatica ma nascono più ad ovest di questa, i principali corsi d'acqua di questo settore, si originano in tale area e vanno a sfociare nell'Adriatico tra Pescara e Fossacesia.

La variabilità del grado di resistenza dei diversi litotipi e i particolari assetti strutturali e giaciture della zona di affioramento della Colata gravitativa dell'Aventino – Sangro, produce forme molto articolate date dall'azione della gravità con frequenti fenomeni franosi di colamento, di scorrimento o di altro tipo e delle acque di scorrimento superficiale con erosioni di sponda, forme di dilavamento e sviluppo di alvei in approfondimento.

Procedendo verso est la fascia collinare viene interessata immediatamente a ridosso del massiccio della Maiella dalla notevolissima estensione dei morfotipi calanchivi, e con essa da forme connesse all'azione delle acque sia incanalate che non. Infatti la scarsa resistenza alla degradazione nonché la bassa permeabilità propria di questi versanti argillosi, facilita lo scorrimento superficiale delle acque e la formazione di solchi con produzione di depositi colluviali; ciò determina la profonda incisione di corsi d'acqua anche di piccole dimensioni.

Più verso mare, le forme connesse all'azione della gravità sono prevalenti, coinvolgono tutti i litotipi affioranti ma si innescano in maggioranza in quelli a predominante componente argilloso – siltosa. Frane a scorrimento rotazionale sono le più frequenti, ma anche i colamenti sono diffusi; il risultato di questi ingenti fenomeni sono notevoli quantità di detrito di versante, talvolta unito a formare coltri estese.

Infine tutto il tratto costiero è chiaramente interessato dall'azione del mare, in questa zona con una spiccata tendenza all'erosione, in maniera particolare nelle coste basse caratterizzate da un costante arretramento delle spiagge.

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

L'area in esame è ubicata, dal punto di vista geologico-strutturale, nel bacino periadriatico affiorante ad E dei rilievi carbonatici che costituiscono la catena appenninica.

Attraverso un dettagliato rilevamento geologico di campagna, condotto a scala 1:5.000, sono state individuate diverse unità litostratigrafiche affioranti nell'area di studio, sintetizzate nella Carta Geologica a scala 1:5.000. Esse si distinguono in depositi

marini cenozoici e depositi continentali quaternari, per i quali si fornisce una dettagliata descrizione derivante dall'analisi di campagna, unitamente ad un'analisi bibliografica.

5.1 DEPOSITI MARINI CENOZOICI

I depositi marini affiorano abbondantemente nell'area di studio e si distinguono, partendo dal più antico al più recente, in Argille siltose grigie, Complesso caotico ed Argille grigio-azzurre.

5.1.1 ARGILLE SILTOSE GRIGIE

Si tratta di sedimenti argillosi di colore grigio e grigio scuro, organizzati in strati di spessore prevalentemente centimetrico e subordinatamente decimetrico, mentre in alcuni casi si presentano sottilmente laminati come, ad esempio, in corrispondenza dell'affioramento a NE di Casa La Rotta in destra idrografica del T. Laio all'altezza della progressiva (5+730), in cui le argille sono messe in evidenza in corrispondenza di una nicchia di frana di scorrimento rotazionale (Fig. 1 a, b, c).

In tale affioramento si individua, inoltre, l'intercalazione di livelli millimetrici di sabbia fine di colore ocre, che sottolinea la stratificazione piano-parallela del deposito, avente giacitura N60W20E, probabilmente debolmente tiltata (Fig. 2).

Tuttavia, a contatto con gli agenti atmosferici tali argille si presentano fortemente alterate e prive di stratificazione, assumendo un aspetto generalmente compatto, mentre superficialmente assumono la tipica struttura a *mud crack* in conseguenza dell'essiccamento.

Per tale motivazione è stato difficile calcolare la giacitura degli strati; inoltre, nell'area oggetto di studio tali argille si presentano anche intensamente fratturate, come in corrispondenza della progressiva (4+150), in sinistra idrografica del T. Laio, in cui la

stratificazione, con valore giaciturale N-S10E, si presenta interrotta da un sistema di fratture subverticali N80W, N-S e N60E.

Le argille siltose grigie, relative al Pliocene Inferiore, sono attribuibili alla Formazione Cellino, istituita da Donzelli (1969) nel suo lavoro sulla geologia della Maiella.

Geotecnicamente presentano una resistenza al taglio governata prevalentemente dalla componente coesiva.

I sondaggi hanno evidenziato la presenza di una coltre superficiale più alterata di alcuni metri di spessore. I parametri fisico meccanici risultano tendenzialmente migliori in profondità al di sotto della suddetta coltre alterata.

La compressibilità è medio bassa per tutta la formazione tranne che per la coltre superficiale che risulta più compressibile, anche in virtù di ricorrenti fenomeni di imbibizione ed essiccazione legati alle fasi climatiche stagionali e che ne peggiorano la consistenza.

Si riportano di seguito i parametri emersi dalle prove Spt e dalle prove di laboratorio eseguite su questo litotipo.

Sondaggio n°	campione n°	prof. camp. dal p.c. m	Granulometria vagliatura		granulometria aerometria		contenuto d'acqua W %	Peso di volume PV gr/cc	Triassiale (UU) senza saturaz. Cu Kg/cmq	Triassiale (UU) con saturaz. Cu Kg/cmq	Prova di Taglio diretto		Prova Triassiale CU		Prova edometrica vedi Tab.
			ghiaia %	sabbia %	limo %	argilla %					ϕ' °	c' Kg/cmq	ϕ' °	C' Kg/cmq	
S5	C1	0,35-0,85	0,0	13,0	45,0	42,0	20,99	2,04			20	0,03			
S5	C2	3,5-3,85	0,0	10,0	51,0	39,0	20,81	1,98	1,19						
S5	C3	10,8-11,35	0,0	6,0	56,0	38,0	19,18	2,06	2,51						
S9	C2	6,0-6,3	0,0	1,0	48,0	51,0	16,24	2,10			27	0,05			
S10	C2	7,0 – 7,5	0,0	3,0	51,0	46,0	19,93		2,538						
S11	C1	3,5-4,0	0,0	2,0	44,0	54,0	24,20	1,93			18	0,0			*
S11	C3	11,3-11,8	0,0	2,0	43,0	55,0	21,58	2,10	2,15						
S11bis	C1	1,5-2,0	60,0	25,0	10,0	5,0									

			7,0	4,0	44,0	45,0	20,93	1,93	0,77						
S11bis	C2	4,7-5,0	0,0	2,0	48,0	50,0	19,23	2,05		1,20					
S13	C1	1,2-1,5	0,0	3,0	44,0	53,0	18,05	2,00		0,56					*
S16	C2	15,6-16,0	0,0	4,0	55,0	41,0	18,41	2,04		1,45					*
S17	C1	4,8-5,3	2,0	6,0	50,0	42,0	15,48	2,05	5,46						

SCHEMA DELLE PROVE SPT					
Sondaggio/ # SPT	Profondità (m)	Quota rivestimento (m)	Tipo punta	Addensamento e consistenza	N_{SPT}
S 5 / 1	7.08	7.0	A	Estrem. Consistente	51
S 8 / 1	5.40	4.5	A	Estrem. Consistente	34
S 8 / 2	10.0	10,0	A	Estrem. Consistente	Rif.
S 8 / 3	13.0	12.0	A	Estrem. consistente	Rif.
S 8 / 4	16.0	15.0	A	Estrem. consistente	Rif.
S 9 / 1	3.5	3.0	A	Estrem. Consistente	25
S 9 / 2	8.0	7.5	A	Estrem. Consistente	Rif.
S 9 / 3	15.0	15,0	A	Estrem. Consistente	Rif.
S 9 / 4	18.0	18.0	A	Estrem. Consistente	Rif.
S 9 / 5	23.0	22.5	A	Estrem. Consistente	Rif.
S 10 / 2	4.7	4.5	A	Estrem. Consistente	57
S 10 / 3	7.5	7.5	A	Estrem. consistente	Rif.
S 10 / 4	19.0	18.0	A	Estrem. consistente	Rif.
S 10 / 5	22.0	21.0	A	Estrem. consistente	Rif.

SCHEMA DELLE PROVE SPT					
Sondaggio/ # SPT	Profondità (m)	Quota rivestimento (m)	Tipo punta	Addensamento e consistenza	N_{SPT}
S 11 / 2	5,0	4.5	A	Estrem. consistente	53
S 11 / 3	8,0	7.5	A	Estrem. consistente	58
S 11 / 4	10.5	10.5	A	Estrem. consistente	64
S 11bis/1	3,0	3.0	A	Estrem. onsistente	33
S 11bis/2	7,0	6.0	A	Estrem. consistente	Rif.
S 11bis/3	12,0	12.0	A	Estrem. consistente	Rif.
S 11bis/4	14,0	13.5	A	Estrem. consistente	Rif.
S 12 / 5	15.0	15.0	A	Estrem. consistente	Rif.

S 12 / 6	20.0	19.5	A	Estrem. consistente	Rif.
S 15bis/1	4,5	4.5	A	Estrem. consistente	49
S 15bis/2	7.2	6.0	A	Estrem. consistente	46
S 15bis/3	9.8	9.0	A	Estrem. consistente	Rif.
S 15bis/4	15.0	15.0	A	Estrem. consistente	Rif.
S 17 / 1	9,0	9.0	A	Estrem. consistente	Rif.

5.1.2 COMPLESSO CAOTICO

Nell'area oggetto di studio affiorano depositi costituiti da alternanze di marne, argille e marne-argillose di colore grigiastro, aventi spessore variabile da 10 a 20 centimetri, in cui si rinvencono livelli decimetrici rosso-vinaccio; verso il basso il deposito passa ad argilla grigia e verdastra avente spessore decimetrico, intensamente e sottilmente laminata, nella quale si rinvencono strati centimetrici di calcare marnoso di colore bianco (Fig. 3 a, b. c).

Il Complesso caotico, appartenente ai Depositi della colata gravitativa dell'Aventino-Sangro, la cui l'età è ancora incerta sebbene in lenti argillose sia stata ritrovata *Globorotalia margaritae* del Pliocene inferiore (PATACCA *et alii*, 1992), si presenta caotico ed intensamente tettonizzato (Fig. 4 a, b), per cui è difficile individuarne la stratificazione; nell'area di studio, tuttavia, lungo la fascia a direzione circa antiappenninica in corrispondenza delle progressive (2+370) e (2+800), il deposito si presenta con giacitura N4W50SW.

In corrispondenza di tale fascia, inoltre, si rinvencono depositi più resistenti appartenenti alla colata gravitativa, costituiti da gesso cristallino opaco, stratificato e pseudostratificato, attribuibili alla crisi di salinità messiniana.

Il comportamento geotecnica di tale unità è di tipo misto con una componente coesiva che prevale nei livelli cementati e/o litoidi ed una attritiva che prevale nei termini più granulari. La compressibilità è globalmente bassa .

5.1.3 ARGILLE GRIGIO AZZURRE

Le argille in esame, di colore grigio-azzurro, si presentano organizzate generalmente in lamine piano-parallele di spessore millimetrico. Sono caratterizzate dalla presenza della tipica frattura concoide, come è possibile individuare in un affioramento a E di S. Bartolomeo, in cui le argille sono messe in evidenza in corrispondenza di una nicchia di frana di scorrimento rotazionale (Fig. 5).

Tuttavia, in tale affioramento le argille si presentano fortemente degradate ed alterate, in quanto sono entrate in contatto con gli agenti atmosferici, assumendo una colorazione grigio scuro tendente al marrone, e presentandosi prive di stratificazione; superficialmente il deposito assume la tipica struttura a *mud crack* in conseguenza dell'essiccamento.

Le argille grigio-azzurre, relative al Pliocene medio - Pleistocene inferiore, appartengono alla Formazione Mutignano *Auctorum* istituita da Donzelli (1969).

Geotecnicamente presentano una compressibilità medio bassa ed una resistenza al taglio governata prevalentemente dalla componente coesiva.

I sondaggi hanno evidenziato, come per le argille siltose, la presenza di una coltre superficiale più alterata di alcuni metri di spessore. I parametri fisico meccanici risultano tendenzialmente migliori in profondità al di sotto della suddetta coltre alterata.

Si riportano di seguito i parametri emersi dalle prove Spt e dalle prove di laboratorio eseguite su questo litotipo.

Sondaggio n°	campione n°	prof. camp. dal p.c. m	Granulometria vagliatura		granulometria aerometria		contenuto d'acqua W	Peso di volume PV	Triassiale (UU) senza saturaz. Cu	Triassiale (UU) con saturaz. Cu	Prova di Taglio diretto		Prova Triassiale CU		Prova edometrica vedi Tab.
			ghiaia %	sabbia %	limo %	argilla %					°	c' Kg/cmq	°	c' Kg/cmq	
S1	C1	3,6-4,0					19,52	2,01			22	0,1			
S1	C3	19,85-20,3	0,0	3,0	51,0	46,0	16,12	2,11	4,37						
S1	C4	30,20-30,65	0,0	3,0	52,0	45,0	20,56	2,08					28	0,4	
S1	C5	44,4-44,8	0,0	2,0	47,0	51,0	22,34	2,07	5,18						

S1	C6	51,45-51,9	0,0	4,0	48,0	48,0	19,26	2,10					28	0,5	*
S1	C7	58,6-59,0	0,0	1,0	55,0	44,0	15,19	2,07	7,00						
S2	C2	10,5-10,9	0,0	2,0	48,0	50,0	19,76	2,05	2,39						
S2	C3	14,9-15,3	0,0	2,0	48,0	50,0	15,85	2,03					29	0,10	
S2	C4	24,7-25,0	0,0	2,0	48,0	50,0	17,47	2,07	4,99						*
S4	C1	1,6-2,1	0,0	13,0	46,0	41,0	18,82	2,02			22	0,05			
S4	C2	4,0-4,4	0,0	5,0	57,0	38,0	17,35	2,08	1,43						
S4	C3	8,9-9,35	0,0	6,0	53,0	41,0	18,60	2,04	1,71						

SCHEMA DELLE PROVE SPT					
Sondaggio/ # SPT	Profondità (m)	Quota rivestimento (m)	Tipo punta	Addensamento e consistenza	N_{SPT}
S 1 / 1	7.85	7.5	A	Estrem. Consistente	45
S 1 / 2	15,1	15,0	A	Estrem. Consistente	68
S 2 / 1	6.5	6.0	A	Estrem. Consistente	41
S 2 / 2	19.25	18.50	A	Estrem. Consistente	65
S 4 / 1	6.0	6,0	A	Estrem. Consistente	63
S 4 / 2	11.65	11.5	A	Estrem. Consistente	62

5.2 DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

I depositi continentali quaternari rinvenuti nell'area in esame sono costituiti da diverse tipologie sedimentologiche; in particolare, dalle più antiche alle più recenti, si individuano: depositi di conoide alluvionale, depositi di alluvioni recenti e terrazzati, deposito di versante, deposito eluvio-colluviale e, infine, depositi alluvionali attuali.

Di tali depositi mancano gli elementi di datazione diretta, che consentono di inquadrarli con precisione dal punto di vista cronologico; l'età proposta è basata, di conseguenza, su dati bibliografici.

5.2.1 DEPOSITI DI CONOIDE ALLUVIONALE

Si tratta di conglomerati costituiti da clasti bianchi calcarei, eterometrici, di dimensioni da decimetriche a centimetriche, raramente metriche; si presentano sub-arrotondati ed arrotondati, immersi in una matrice sabbiosa calcarea di colore bianco (Fig. 6).

Il deposito, debolmente cementato, si presenta generalmente non organizzato, ma a luoghi è caratterizzato da una debole stratificazione suborizzontale, in cui gli strati sono costituiti alternativamente da clasti con granulometria grossolana e fine. Sono presenti, inoltre, sia fratture aventi giacitura SSE verticale e SSW verticale, sia piccole cavità allineate in corrispondenza della frazione granulometricamente più fine, evidenziando una superficie ondulata e sub-parallela alla stratificazione; le fratture e le cavità individuate aumentano l'instabilità del deposito, in corrispondenza del quale sono stati individuati fenomeni franosi di crollo.

Nella parte superiore del deposito si individuano anche livelli suborizzontali di suolo bruno, il cui spessore è variabile da 10 a 20 centimetri.

Tale deposito, di età pleistocenica, il cui spessore stimato è superiore ai 10 metri, nell'area in esame affiora unicamente in corrispondenza del versante in destra idrografica del T. Laio, in località Piano Laroma e non interessa direttamente il tracciato di progetto.

5.2.2 DEPOSITI DI ALLUVIONI RECENTI E TERRAZZATI

Si tratta di ciottoli e ghiaia, costituiti da clasti calcarei di colore bianco ed avana, aventi dimensioni decimetriche e centimetriche, sub-arrotondati ed arrotondati, caratterizzati da un elevato grado di smussamento; i clasti si presentano generalmente mal cementati o sciolti, immersi in una matrice limo-sabbiosa grigio-avana e terrosa di colore variabile da grigio a marrone (Fig. 7).

Inoltre, i depositi alluvionali terrazzati affioranti nell'area di studio si presentano generalmente privi di stratificazione, gradazione ed embriciatura evidenti.

Le caratteristiche del deposito, di età Pleistocene – Olocene, si individuano in corrispondenza delle scarpate di erosione fluviale, di altezza non superiore ai 5 m, situate sia in destra che in sinistra idrografica del T. Laio, che delimitano superfici morfologicamente sub-orizzontali; in corrispondenza di tali scarpate è stato possibile stimare lo spessore del deposito, variabile da 0.5 a 1.5 metri.

In particolare, in corrispondenza della scarpata di erosione fluviale in sinistra idrografica del T. Laio, in località Casa Testa all'altezza della progressiva (3+520), il deposito alluvionale terrazzato è caratterizzato dall'alternanza di livelli di suolo, costituito da terreno bruno e pietrisco di dimensioni centimetriche e millimetriche, di spessore variabile da 10 a 30 centimetri.

Interessano l'asse di progetto soltanto in corrispondenza dell'attraversamento del fiume Laio e di alcune incisioni secondarie. Sono stati incontrati nei primi metri del sondaggio S12, ubicato in corrispondenza della testata di una piccola incisione secondaria.

In tale unità sono state eseguite le seguenti prove Spt, che hanno evidenziato un ottimo addensamento, con un comportamento esclusivamente granulare ed una compressibilità decisamente bassa.

SCHEMA DELLE PROVE SPT					
Sondaggio/ # SPT	Profondità (m)	Quota rivestimento (m)	Tipo punta	Addensamento e consistenza	N_{SPT}
S 12 / 1	2.0	1.5	A	Molto addensato	Rif.
S 12 / 2	3.8	3.0	A	Molto addensato	Rif.
S 12 / 3	5.0	4.5	A	Molto addensato	Rif.
S 12 / 4	6,4	6.0	A	Molto addensato	Rif.

5.2.3 DEPOSITI DI VERSANTE

Si tratta di pietrisco di natura calcarea, eterometrico, costituito da clasti di colore bianco di dimensioni prevalentemente decimetriche e centimetriche, sub-angolosi e sub-arrotondati; si presentano immersi in una matrice a prevalente componente terrosa

di colore marrone-grigio, e subordinatamente a componente sabbiosa bianco-giallastra.

Il deposito si presenta non cementato e privo di organizzazione; le caratteristiche sono ben visibili in corrispondenza di alcuni sbancamenti antropici, come ad esempio in uno sbancamento realizzato per la costruzione di una strada secondaria situata a W del sondaggio S14, a quota 285 metri s.l.m. (Fig. 8 a, b).

Lo spessore del deposito di versante, di età olocenica, estrapolato attraverso l'analisi di stratigrafie dei sondaggi geognostici S9, S10, S11 e S15bis, è variabile da 2/3 a 9/10 metri circa.

Il comportamento geomeccanico è decisamente eterogeneo è condizionato dalle variabili componenti granulometriche che di volta in volta conferiscono comportamenti più prettamente coesivi o più prettamente attritivi. I parametri fisico meccanici emersi dalle prove Spt e dalle prove di laboratorio eseguite su alcuni campioni indisturbati risultano globalmente molto scadenti. La compressibilità molto variabile ma generalmente medio alta.

Sondaggio n°	campione n°	prof. camp. dal p.c.	Granulometria vagliatura		granulometria aerometria		contenuto d'acqua	Peso di volume	Triassiale (UU) senza saturaz.	Triassiale (UU) con saturaz.	Prova di Taglio diretto	Prova Triassiale CU	Prova edometrica
S10	C1	3,5-4,0	0,0	2,0	48,0	50,0	22,28				17	0,0	
S15bis	C1	1,4-1,8	5,0	14,0	40,0	41,0	21,03	2,02	1,11				
S15bis	C2	3,2-3,7	8,0	10,0	31,0	51,0	28,68	1,80					*
S15bis	C3	8,5-9,0	0,0	3,0	49,0	48,0	17,79	2,01	1,56				

SCHEMA DELLE PROVE SPT					
Sondaggio/ # SPT	Profondità (m)	Quota rivestimento (m)	Tipo Punta	Addensamento e consistenza	N_{SPT}
S 11 / 1	2,0	1,5	A	Poco consistente	4
S 10 / 1	2,4	1,5	A	Moderat. Addensato	27

Questa unità interessa direttamente l'asse di progetto in numerosi tratti, prevalentemente in trincea ed in rilevato.

5.2.4 DEPOSITI ELUVIO COLLUVIALI

Il deposito eluvio-colluviale è costituito da ciottoli e ghiaia di colore avana, di natura calcarea, sub-angolosi e sub-arrotondati, derivanti dall'alterazione e successivo trasporto, con relativo accumulo alla base dei versanti (deposito colluviale), e da depositi argillo-sabbiosi di colore giallo-ocraceo, derivanti dall'alterazione delle formazioni affioranti (deposito eluviale), immersi in una abbondante matrice a componente argillo-limosa grigia e terrosa bruna.

Lo spessore del deposito, di età olocenica, che nell'area di studio affiora unicamente in corrispondenza dell'alveo fluviale tra le progressive (0+070) e (0+420), non è stimabile. Tale unità non interessa direttamente l'asse di progetto.

5.2.5 DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI

I depositi alluvionali attuali sono costituiti da ciottoli e ghiaia di colore bianco-avana di natura calcarea immersi in una matrice limoso argillosa di colore avana con frequenti interazioni sabbiose giallastre.

I clasti, di dimensioni in prevalenza da decimetriche a millimetriche, a luoghi metriche, si presentano sub-arrotondati ed arrotondati, immersi in un deposito argillo-limoso grigio-avana.

Il deposito in esame, di età olocenica, il cui spessore non è stimabile, affiora in corrispondenza dell'alveo fluviale del T. Laio e costituisce l'attuale piana di esondazione.

Interessano l'asse di progetto soltanto in corrispondenza dell'attraversamento del torrente Laio, e sono stati incontrati solo marginalmente nei primi metri di sondaggio S8.

Le prove di laboratorio eseguite su un campione indisturbato prelevato in un livello limoso argilloso ha permesso di ricostruire i sottoelencati parametri che mostrano un comportamento fisico meccanico governato sia dalla componente coesiva legata alla frazione limoso argillosa che dalla componente attritiva legata alla frazione sabbioso ghiaiosa. La compressibilità risulta globalmente medio alta.

Sondaggio n°	campione n°	prof. camp. dal p.c.	Granulometria vagliatura		granulometria aerometria		contenuto d'acqua	Peso di volume	Triassiale (UU) senza saturaz.	Triassiale (UU) con saturaz.	Prova di Taglio diretto		Prova Triassiale CU		Prova edometrica
			ghiaia	sabbia	limo	argilla					W	PV	Cu	Cu	
		m	%	%	%	%	%	gr/cc	Kg/cmq	Kg/cmq	°	Kg/cmq	°	Kg/cmq	vedi Tab.
S8	C2	2,2-2,7	0,0	2,0	47,0	51,0	22,47	1,94			20	0,07			

5.2.6 CORPO DI FRANA

Si tratta di accumuli legati an antichi fenomeni di frana e sono generalmente costituiti da pezzame di natura calcarea, eterometrico, costituito da clasti da poco a mediamente evoluti, di colore bianco di dimensioni prevalentemente decimetriche e centimetriche; si presentano immersi in una matrice a prevalente componente terrosa di colore marrone-grigio, e subordinatamente a componente sabbiosa bianco-giallastra.

Il deposito si presenta non cementato e privo di organizzazione.

Lo spessore di tali depositi, incontrati da alcuni sondaggi è risultato variabile da 3/4 a 17/18 metri. L'accumulo maggiore si è incontrato in corrispondenza del sondaggio S16.

Il comportamento geomeccanico è decisamente eterogeneo è condizionato dalle variabili componenti granulometriche che di volta in volta conferiscono comportamenti più prettamente coesivi o più prettamente attritivi. I parametri fisico meccanici emersi dalle prove Spt e dalle prove di laboratorio eseguite su alcuni campioni indisturbati risultano globalmente eterogenei e molto variabili. Anche la compressibilità è molto

variabile da medio bassa nei livelli sabbioso ghiaiosi a medio alta nei livelli limoso argillosi.

Sondaggio n°	campione n°	prof. camp. dal p.c.	Granulometria vagliatura		granulometria aerometria		contenuto d'acqua	Peso di volume	Triassiale (UU) senza saturaz.	Triassiale (UU) con saturaz.	Prova di Taglio diretto		Prova Triassiale	CU	Prova edometrica
			1,0	5,0	46,0	48,0					23,25	2,01			
S15	C1	1,0-1,5	1,0	5,0	46,0	48,0	23,25	2,01			22	0,0			
S16	C1	2,8-3,0	22,0	8,0	35,0	35,0									
			1,0	13,0	51,0	35,0	32,44	1,88			21	0,1			

SCHEMA DELLE PROVE SPT					
Sondaggio/ # SPT	Profondità (m)	Quota rivestimento (m)	Tipo punta	Addensamento e consistenza	N_{SPT}
S 14 / 1	2.8	1.5	A	Molto addensato	Rif.
S 14 / 2	5.0	4.5	A	Molto addensato	Rif.
S 15 / 1	3.0	3.0	A	Estrem. consistente	61
S 16 / 1	3.5	3.0	A	Molto addensato	Rif.
S 16 / 2	5.0	4.5	A	Molto addensato	Rif.
S 16 / 3	7.0	6.0	A	Molto addensato	Rif.
S 16 / 4	8.5	7.5	A	Molto addensato	Rif.
S 16 / 5	10.0	9.0	A	Molto addensato	Rif.
S 16 / 6	11.50	10.5	A	Molto addensato	Rif.
S 16 / 7	13.0	12.0	A	Molto addensato	Rif.

6. ANALISI DELLE FOTO AEREE

Nell'area oggetto di studio è stata condotta un'indagine preliminare e di controllo attraverso un'analisi fotogeologica.

I parametri fotogeologici utilizzati nell'ambito di questa analisi sono stati i seguenti:

- **Tono:** permette di percepire i rapporti esistenti tra le diverse luminosità degli elementi presenti sul fotogramma attraverso le variazioni di colore, ben evidenti sulle foto.
- **Contrasto:** è definito in letteratura (MANTOVANI & MARCOLONGO, 1992) come quella relazione quali-quantitativa che rapporta la luminosità del punto immagine più chiaro a quella del punto immagine più scuro dello stesso fotogramma.
- **Tessitura:** può essere definita come un microcambiamento nella distribuzione del tono (AMADESI, 1993); si tratta di un parametro qualitativo, quindi è necessario operare confronti con tessiture campione nell'ambito di immagini con le medesime caratteristiche
- **Struttura:** si intende la distribuzione spaziale più o meno ordinata di tono, tessitura e contrasto in sequenze ripetute che vanno a definire un determinato schema geometrico.

Grazie a questa prima fase di analisi, per la quale è stato utilizzato uno stereoscopio portatile tipo *Geoscope* con oculare ad ingrandimento 1.5X, è stato possibile realizzare una zonazione geologica e geomorfologica, attraverso la quale sono stati individuati diversi elementi caratterizzati da risposte fotografiche distinte. In particolare si distinguono:

- insediamenti e opere antropiche presenti sul territorio;
- caratteri principali del reticolo idrografico presente;
- elementi morfologici principali;

- limiti geologici;
- forme dovute alla dinamica fluviale;
- forme dovute alla dinamica di versante per effetti gravitativi.

Interessanti considerazioni si possono fare nei riguardi di questi ultimi due elementi. Infatti, attraverso un confronto tra il rilevamento geomorfologico di campagna e l'analisi fotogeologica le forme dovute alla dinamica fluviale e alla dinamica di versante per effetti gravitativi risultano non sempre simili.

Più specificatamente, per ciò che riguarda le prime morfologie si può evidenziare come lo stato di erosione delle aree calanchive risulti attualmente molto più avanzato; inoltre, sono state individuate superfici interessate da dilavamento diffuso e concentrato provocate dalle ingenti e recenti precipitazioni piovose.

Queste ultime hanno anche avuto un importante ruolo nello sviluppo delle dinamiche di versante per effetti gravitativi, determinando l'innescarsi di fenomeni franosi puntuali, lineari e areali, che hanno notevolmente modificato la morfologia del territorio.

7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Dal punto di vista geomorfologico, l'area in esame è inquadrabile nella fascia pedemontana, compresa tra i rilievi carbonatici e la fascia costiera abruzzese, ed è costituita dai depositi delle avanfosse succedutesi nel tempo.

E' caratterizzata da una morfologia di tipo collinare, con quote generalmente comprese tra 300 e 450 metri s.l.m., ed è costituita da una serie di dossi e incisioni vallive a bassa energia di rilievo.

Attraverso un dettagliato rilevamento condotto sul terreno a scala 1:5.000, unitamente all'analisi della cartografia e delle fotografie aeree che hanno fornito indizi di carattere preliminare, è stato possibile redigere la Carta Geomorfologica a scala 1:5.000, in cui sono stati cartografati i principali elementi geomorfologici che caratterizzano l'area di studio.

7.1 DESCRIZIONE DELLE FORME PRINCIPALI DELL'AREA

Nell'area di studio sono state distinte 3 principali forme, corrispondenti alle forme di versante dovute alla gravità, forme fluviali e di versante dovute al dilavamento e, infine, forme antropiche.

L'azione della gravità e quella delle acque correnti superficiali, incanalate e non, sono le maggiori responsabili della produzione di forme e relativi depositi, in conseguenza,

principalmente, delle scadenti caratteristiche meccaniche e di resistenza dei litotipi affioranti nell'area di studio.

7.1.1 FORME DI VERSANTE DOVUTE ALLA GRAVITA'

Sono numerose le forme di versante dovute alla gravità, sia di denudazione che di accumulo con i relativi depositi.

Esse si presentano distribuite uniformemente in tutta l'area in esame, ad eccezione del detrito di versante, che si rinviene unicamente in corrispondenza del versante in destra idrografica del T. Laio, poco più a S della progressiva (5+730), in quanto legato ai fenomeni di degradazione del settore sommitale del versante stesso, costituito dal Deposito di conoide alluvionale .

Tutte le altre forme dovute alla gravità sono legate ai movimenti franosi che determinano una situazione di dissesto generalizzata.

7.1.1.1 I MOVIMENTI FRANOSI

I numerosi movimenti franosi riscontrati nell'area di studio sono meccanismi in atto in conseguenza delle intense precipitazioni verificatesi in modo particolare nel mese di gennaio 2003; ciò è messo in evidenza anche dall'analisi aerofotogrammetrica, dalla quale si evince che sia le forme di denudazione sia le forme di accumulo sono meno estese e in numero inferiore rispetto a quelle riscontrate dal rilevamento geomorfologico eseguito direttamente sul terreno.

I movimenti franosi presenti nell'area di studio si distinguono in scorrimenti rotazionali e in colamenti (VARNES, 1978) in quanto connessi alle caratteristiche litologiche delle unità affioranti e morfologiche dell'area di studio; inoltre, sono particolarmente estesi anche i fenomeni superficiali di deformazione lenta.

In modo particolare, gli scorrimenti rotazionali sono i fenomeni di dissesto più frequenti che hanno interessato i depositi marini e i depositi continentali quaternari affioranti; si

tratta di frane per le quali è stato possibile individuare con buona precisione sia la nicchia di distacco, caratterizzata prevalentemente dalla tipica morfologia arcuata, sia il relativo corpo di frana, accumulato generalmente poco più a valle.

Alcuni esempi sono la frana ubicata in corrispondenza dell'affioramento a NE di Casa La Rotta in destra idrografica del T. Laio all'altezza della progressiva (5+730), la cui scarpata principale ha un'altezza variabile da 1 a 1.5 metri, e la frana situata in corrispondenza del versante in sinistra idrografica del T. Laio all'altezza del sondaggio S17 (Fig. 9), che si è estesa anche sulla strada interrompendo momentaneamente la viabilità; in entrambi i casi, il movimento franoso ha messo in evidenza le caratteristiche litologico-strutturali delle argille siltose grigie.

I corpi di frana relativi agli scorrimenti rotazionali sono caratterizzati dalla presenza di contropendenze, che deformano ulteriormente il deposito franoso, e di fratture circa parallele alla nicchia di distacco.

Ciò è ben visibile in corrispondenza del grande corpo di frana che ha interessato il complesso caotico, ubicato nel versante in sinistra idrografica del T. Laio all'altezza delle progressive (8+150) e (8+230), la cui corona di frana raggiunge un diametro di 20 metri (Fig. 10); le fratture sono accompagnate da scalinamenti del terreno, rendendo complessa la geometria del corpo di frana.

Le stesse caratteristiche si individuano nel corpo di frana situato in corrispondenza del versante in destra idrografica del T. Laio in prossimità del sondaggio S14, che ha interessato unicamente la copertura (Fig. 11 a, b).

Meno numerosi, ma ben più complessi, sono i fenomeni franosi riconducibili ai colamenti. In particolare, nell'area di studio si verificano in corrispondenza dei versanti a debole pendenza in cui affiorano le argille siltose grigie organizzate in sottili lamine; la debole acclività del versante e la sfogliettatura del substrato favoriscono l'infiltrazione delle acque di precipitazione meteorica che determina la formazione di uno strato lubrificante lungo il quale si verifica il movimento per colata.

Oltre alle frane di piccole dimensioni caratterizzate generalmente da movimenti complessi derivanti dalla combinazione di più fenomeni franosi semplici (Fig. 12), nell'area oggetto di studio sono presenti anche numerosi movimenti franosi legati alle deformazioni superficiali lente (Fig. 13 e Fig 13a).

Queste interessano estese superfici in corrispondenza delle quali affiorano i depositi marini relativi alle argille siltose grigie e alle argille grigio-azzurre, che hanno la capacità di imbibirsi d'acqua, assumendo un conseguente comportamento plastico.

Tale movimento, denominato soliflusso, è evidenziato dalla presenza di ondulazioni e terrazzetti, oltre che da alberi ricurvi alla base, pali inclinati (Fig. 14) e fratture, in prevalenza longitudinali e subordinatamente trasversali, situate in corrispondenza del manto stradale (Fig. 15).

Nell'area di studio, inoltre, è stato individuato anche un corpo di frana di grandi dimensioni ubicato in corrispondenza delle progressive (8+150) e (8+230), successivamente modellato dagli agenti atmosferici e mascherato dalla copertura vegetale; dall'analisi geomorfologica diretta sul terreno e dall'analisi delle fotografie aeree, unitamente ai dati stratigrafici ottenuti dal sondaggio geognostico S16, è stato possibile identificarlo come una paleofrana.

Frequenti risultano essere i casi in cui le aree in dissesto risultano già interessate da interventi di contenimento e regimentazione spesso limitati a semplici opere di canalizzazione delle acque di scorrimento superficiale come nel caso del fenomeno di dissesto presente a monte della statale in corrispondenza del sondaggio S9 (Fig 16)

In corrispondenza delle progressive 1+000 e 1+500 nella'area del centro abitato di San Bartolomeo si è riscontrata la presenza di una area in cui numerosi fabbricati risultano essere interessati da diffusi fenomeni di dissesto (Fig 17).

7.1.2 FORME FLUVIALI E DI VERSANTE DOVUTE AL DILAVAMENTO

Come accennato in precedenza, anche le forme di versante e fluviali dovute al dilavamento, distinte in forme di accumulo con relativi depositi e forme di erosione, sono ampiamente diffuse e distribuite in tutta l'area in esame (Fig 18) .

Tra le prime, di notevole importanza sono le superfici di terrazzo che caratterizzano il T. Laio sia in destra che in sinistra idrografica; si tratta di zone pianeggianti, di dimensioni rilevanti o solo in lembi, ubicate a quote comprese tra 165 e 210 m s.l.m., e

rappresentano l'effetto dell'interazione tra fenomeni erosivi, eventi deposizionali e, con molta probabilità, sollevamento tettonico (BOSI *et alii*, 1996).

Da menzionare, inoltre, la presenza del settore terminale di una estesa conoide alluvionale inattiva ubicata in località Piano Laroma, il cui deposito è stato precedentemente descritto nel capitolo 4 .

L'affioramento dei litotipi facilmente erodibili, caratterizzati da un basso grado di permeabilità e da scarsa copertura vegetale, determina lo sviluppo di forme di erosione di tipo areale, rappresentate da superfici con forme di dilavamento sia diffuso (fig 18) che concentrato; si tratta di aree in corrispondenza delle quali si verifica una concentrazione di acqua in rivoli secondo vie di scorrimento preferenziali, che tendono gradualmente ad approfondirsi, diventando dei veri e propri solchi di erosione, denominati solchi da ruscellamento concentrato, molto numerosi e distribuiti uniformemente in tutta l'area studiata.

Una maggiore erosione di tali solchi, favorita dalle caratteristiche composizionali e meccaniche dei litotipi argillosi che costituiscono il substrato, ha determinato la formazione di vallecole a V e a fondo piatto, molte delle quali sono attualmente percorse da acqua (Fig. 19), delimitate da scarpate di erosione di altezza generalmente inferiore a 5 metri.

Altre forme di erosione riscontrabili nell'area in esame sono rappresentate da alvei in approfondimento, individuate in corrispondenza della progressiva (0+420), e sponde in erosione, individuate in corrispondenza delle sponde concave nei settori in cui il T. Laio assume un andamento meandriforme.

Tuttavia, il rilevamento geomorfologico ha messo in evidenza che le principali forme fluviali e di versante dovute al dilavamento sono rappresentate dai calanchi e dalle aree calanchive.

7.1.2. LE FORME CALANCHIVE

I calanchi, morfologia particolare legata all'erosione a solchi, sono ben rappresentati nell'area oggetto di studio in quanto coesistono tutti i diversi fattori che determinano la loro genesi, quali substrato argilloso, caratteristiche strutturali (giacitura, discontinuità),

esposizione dei versanti, regime climatico caratterizzato da lunga stagione secca alternata a periodi a piovosità intensa, ed elemento antropico (DRAMIS *et alii*, 1982).

In modo particolare, il fattore litologico ha giocato un ruolo fondamentale nello sviluppo ed evoluzione delle morfologie calanchive; infatti, queste ultime hanno interessato maggiormente le argille siltose grigie , e subordinatamente, le argille grigio-azzurre, mentre non sono stati individuati calanchi in corrispondenza dell'affioramento del Complesso Caotico.

I calanchi che si sviluppano sulle argille grigio-azzurre si presentano generalmente caratterizzate da una geometria ad anfiteatro, costituito da una fitta rete di vallecole dalla geometria a V ed elevato grado di gerarchizzazione, separate da creste piuttosto affilate (Fig. 20).

L'evoluzione di tali calanchi, appartenenti alla tipologia A (RODOLFI & FRASCATI, 1979), è legata principalmente a processi connessi all'azione di incisione prodotta dalle acque di ruscellamento concentrato, ma sono stati individuati anche casi in cui prevalgono processi legati ai movimenti di massa, in particolare fenomeni di scorrimento rotazionale, che producono piccoli accumuli di materiale al piede delle vallecole, mascherando anche la tipica morfologia.

I calanchi che si sviluppano sulle argille siltose grigie, invece, si caratterizzano per la presenza di vallecole poco gerarchizzate, piuttosto ampie e a sfondo concavo, separate da creste non eccessivamente sottili.

L'evoluzione di tali calanchi, attribuibili alla tipologia B (RODOLFI & FRASCATI, 1979), è controllata principalmente da fenomeni franosi di colamento e subordinatamente di scorrimento rotazionale, il cui accumulo nella parte terminale dei canali può determinare la graduale diminuzione della pendenza delle vallecole con la relativa diminuzione della capacità erosiva lineare da parte delle acque di ruscellamento, portando all'inattività dei calanchi.

Inoltre, dall'analisi geomorfologica eseguita si evince che nell'area oggetto di studio i versanti esposti a S sono quelli maggiormente interessati dai fenomeni responsabili della formazione dei calanchi e delle forme calanchive, impostati sia in corrispondenza delle argille grigio-azzurre che sulle argille siltose grigie.

Altro fattore responsabile della genesi della morfologia calanchiva nell'area di studio è quello antropico, in quanto risulta notevolmente diffusa l'eliminazione della copertura vegetale naturale dei pendii per scopo principalmente agricolo.

7.1.3 FORME ANTROPICHE

Nell'area esaminata l'attività dell'uomo si individua sulle modifiche determinate sul paesaggio, legate principalmente all'eliminazione della copertura vegetale naturale dei pendii per scopi agricoli; infatti, l'altimetria non elevata dell'area, la morfologia generalmente dolce dei versanti e la litologia affiorante, sono i principali fattori che favoriscono lo sviluppo dell'attività agricola.

Tuttavia, l'antropizzazione contribuisce in alcuni casi ad accentuare forme connesse all'attività di altri agenti morfogenetici, come ad esempio la gravità.

Nell'area di studio sono stati individuati numerosi muri di ritenuta, realizzati principalmente per limitare i movimenti franosi. In modo particolare, essi sono stati distinti in muri a secco, realizzati con pietre tenute insieme da una rete metallica (Fig. 21), muri con tubi di drenaggio e muri senza tubi di drenaggio, realizzati entrambi in cemento armato.

In molti casi, tuttavia, tali muri di ritenuta risultano inefficaci alla stabilità dei versanti, tanto da essere coinvolti anch'essi nel meccanismo di rottura.

8 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

In tutta la zona il basamento impermeabile è costituito dalle formazioni argillose. Nel dettaglio, questa superficie che costituisce, nei confronti dei sovrastanti terreni un netto limite di permeabilità, si presenta ondulata a causa delle paleoincisioni che si sono sviluppate nell'intervallo temporale compreso tra i processi di ingressione e regressione marina.

Globalmente l'area è interessata da acquiferi di modesta entità e caratterizzati da circolazioni tendenzialmente limitate.

Il deflusso idrico sotterraneo è da monte verso valle ed è generalmente drenato dalla valle del torrente Laio ; probabilmente il rapporto falda-fiume è più articolato e non si escludono in assoluto possibilità di inversione del rapporto in punti ed in periodi singolari dell'anno. La mancanza di dati non ha permesso di riconoscere la presenza e l'eventuale entità degli interscambi idrici.

8.1 I COMPLESSI IDROGEOLOGICI DELL'AREA

Dal punto di vista idrogeologico i terreni presentano diverse caratteristiche di permeabilità sia per tipo che per grado. Il grado varia da basso ad alto prendendo come riferimento i seguenti valori del coefficiente di permeabilità:

- grado alto $k > 10^{-1}$ cm/sec
- grado medio $10^{-3} < k < 10^{-1}$ cm/sec
- grado basso $10^{-7} < k < 10^{-3}$ cm/sec
- praticamente impermeabili $k < 10^{-7}$ cm/sec

In definitiva, viste le peculiari caratteristiche idrogeologiche delle unità presenti, sono stati definiti tre complessi idrogeologici principali che raggruppano i litotipi a permeabilità assimilabile cartografati nella carta idrogeologica allegata.

- complesso dei depositi detritici ed alluvionali
- complesso delle argille marine
- complesso dei depositi terrigeni argillosi con intercalazioni litoidi

COMPLESSO DEI DEPOSITI DETRITICI ED ALLUVIONALI.

Sono attribuiti a questo complesso i depositi continentali argillosi, sabbiosi e ghiaiosi, di spessore piuttosto limitato, caratterizzati da una notevole eterogeneità litologica ed una granulometria prevalentemente grossolana e tale da conferire caratteri apprezzabili di permeabilità di tipo primario. In alcuni casi la presenza di accumuli lentiformi di terreni a granulometria fine può tendere ad interromperne la continuità.

La diversa e discontinua posizione stratigrafica di queste unità unitamente alla diversa posizione orografica e morfologica determina la generale assenza di interscambi idrici fra i diversi termini.

Questo complesso, relativo al Pleistocene – Olocene, comprende i Depositi alluvionali attuali, il Deposito eluvio-colluviale, il Deposito di versante, i Depositi di alluvioni recenti e terrazzati e il Deposito di conoide alluvionale.

Contengono piccole falde a superficie libera, i cui spessori, estensioni ed importanza variano con la geometria e la litologia del deposito.

La idrostruttura di maggiore importanza può essere individuata nei depositi alluvionali del torrente Laio che sono sede di un acquifero di sub-alveo il cui limite inferiore è rappresentato da argille di età plio-pleistocenica.

I depositi alluvionali terrazzati possono essere sede di circolazione idrica sotterranea e a causa della loro elevazione sul "talweg" attuale e dell'isolamento idraulico, operato dalle argille del substrato, vengono alimentati esclusivamente dalle acque meteoriche

che, una volta infiltratesi, defluiscono verso la piana probabilmente ricaricando l'acquifero subalveo.

Questa unità è caratterizzata da una permeabilità primaria a grado medio, cioè con valori che possono essere stimati tra 10^{-2} e 10 cm/s. Va rammentato comunque che sui terrazzi può essere presente una copertura eluviale argillosa che ne riduce sensibilmente la permeabilità verticale.

Valori elevati di permeabilità possono essere raggiunti dai livelli sabbiosi e/o conglomeratici dei vari ordini dei terrazzi fluviali che mostrano generalmente permeabilità da media a bassa per la presenza di una abbondante matrice sabbioso-siltosa.

I rilievi di falda eseguiti su un piezometro messo in opera nel foro del sondaggio S16 che interessa un corpo detritico di una paleofrana ha evidenziato la assenza di circolazioni idriche sotterranee.

COMPLESSO DELLE ARGILLE MARINE

Altro complesso è quello relativo alle ARGILLE MARINE, costituito da depositi marini argillosi, caratterizzati da spessori notevoli.

Tale unità, diffusissima in affioramento in tutta la zona, è di forte condizionamento rispetto alle circolazioni idriche sotterranee dell'intera area, costituendo il comune substrato impermeabile che sostiene le falde contenute nei depositi alluvionali e detritici appartenenti al Complesso idrogeologico dei depositi detritici ed alluvionali.

La permeabilità e la circolazione sotterranea di tale complesso sono molto limitate, con una quasi totale assenza di risorse idriche di interesse rilevante.

Questo complesso, di età plio – pleistocenica, comprende le Argille grigio-azzurre e le Argille siltose grigie, che presentano una permeabilità praticamente nulla, con valori di K generalmente inferiori a 10^{-7} cm/sec.

Si rinvengono in tali formazioni sporadiche e limitate circolazioni idriche all'interno di possibili intercalazioni sabbiose e di livello particolarmente tettonizzati.

I rilievi di falda eseguiti sui piezometri messi in opera nei sondaggi S2,S4 S12 ed S13 ed S15 hanno confermato la presenza di livelli idrici molto limitati e discontinui legati

generalmente a sporadiche circolazioni all'interno di intercalazioni sabbiose più permeabili.

COMPLESSO DEI DEPOSITI TERRIGENI ARGILLOSI CON INTERCALAZIONI LITOIDI

Infine, bisogna distinguere il COMPLESSO DEI DEPOSITI TERRIGENI ARGILLOSI CON INTERCALAZIONI LITOIDI; esso è costituito da un deposito fliscioide, argilloso e marnoso, con irregolari intercalazioni di orizzonti litoidi.

E' caratterizzato da marcata eterogeneità litologica e da permeabilità molto variabile; inoltre, manca una significativa circolazione sotterranea, data presumibilmente dalla presenza degli orizzonti calcareo-marnosi.

Questo complesso, attribuibile al Miocene – Pliocene, comprende il Complesso caotico, ed è caratterizzato da permeabilità mista a basso grado, con una permeabilità primaria per porosità nei livelli granulari più friabili e una permeabilità secondaria per fratturazione nei livelli più cementati e semilitoidi o litoidi. I valori di permeabilità, certamente molto eterogenei, possono variare da 10^{-7} a 10^{-3} cm/sec

Punti d'acqua principali

Nell'area studiata sono state rinvenute sporadiche acque sorgive generalmente in stretta connessione con l'entità delle precipitazioni. In virtù di ciò ed a causa delle condizioni climatiche, la maggior parte delle sorgenti si presenta asciutto o con portata scarsa per diversi mesi dell'anno e le altre mostrano portate molto variabili nel tempo. Le venute d'acqua emergono in genere da alcuni livelli sabbiosi più permeabili intercalati nelle formazioni argillose.

Dal punto di vista dell'utilizzazione si può rilevare che solo raramente le acque sono utilizzate per approvvigionamento delle attività agricole e rurali della zona.

Nelle allegate carte idrogeologiche sono stati riportati oltre alle suddette sorgenti, anche alcuni pozzi rinvenuti in sede di rilevamento geologico di campagna.

9. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO

Secondo quanto disposto dal Consiglio Superiore dei LL.PP.- SERVIZIO SISMICO nell' "Atlante della classificazione sismica nazionale" (D.M. 24/01/1986 e succ. aggiornamenti), l'area oggetto di analisi comprende territori comunali attribuiti alla 1^a prima categoria (S=12). per le quali si assume un grado di sismicità S = 12 in funzione del quale il coefficiente di intensità sismica "C" assume il valore :

$$C = (S-2)/100 = 0.1$$

In base alla recente riclassificazione sismica del Territorio Italiano (Ordinanza PCM 3274/03) i i comuni in oggetto sono stati classificati come appartenenti a zone di classe 1, le cui caratteristiche sono schematizzate nella tabella che segue:

Comune	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a _g /g)	Accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastica (a _g /g)
Casoli - Guardagrele	> 0,25	0,35

10. PROFILO GEOLOGICO E ANDAMENTO DELLE PROGRESSIVE

A completamento di questa studio, è stato ricostruito un profilo geologico longitudinale dello sviluppo dell'assetto stradale da realizzare, a scala verticale 1: 500 e a scala orizzontale 1: 5.000. su cui sono riportate le verticali dei sondaggi geognostici realizzati.

In questo paragrafo si è eseguita una verifica delle condizioni geologiche idrogeologiche e geomorfologiche che interessano le singole tratte del tracciato. Sono state ricostruite di seguito tre tabelle in cui sono state riassunte le caratteristiche geolitologiche, geomorfologiche e idrogeologiche in relazione allo sviluppo delle progressive e relative opere.

10.1 – GEOLITOLOGIA DEL TRACCIATO

Progressive	Litologia	Opera
da Km 0+000 a Km 0+070	Detrito di versante su argille grigie	Trincea + rilevato
da Km 0+070 a Km 0+130	Detrito di versante su argille grigie	Viadotto Giardino
da Km 0+130 a Km 0+360	Detrito di versante su argille grigie	Trincea
da Km 0+360 a Km 0+420	Detrito di versante su argille grigie	Viadotto Guardiagrele
da Km 0+420 a Km 0+780	Argille grigie	Trincea + rilevato
da Km 0+780 a Km 1+740	Argille grigie	Galleria naturale S. Bartolomeo
da Km 1+740 a Km 1+820	Argille grigie	Trincea
da Km 1+820 a Km 2+240	Passaggio da argille grigie a detrito di versante su argille grigie	Viadotto S. Bartolomeo
da Km 2+240 a Km 2+370	Detrito di versante su argille grigie	Trincea
da Km 2+370 a Km 3+030	Passaggio da Argille grigie a complesso caotico a argille siltose	Viadotto S. Bartolomeo 2
da Km 3+030 a Km 3+525	Argille siltose	Trincea + rilevato
da Km 3+525 a Km 4+155	Passaggio da argille siltose a depositi alluvionali e alluvioni terrazzate su argille siltose e ancora a argille siltose	Viadotto Laio
da Km 4+155 a Km 4+510	Argille siltose con copertura detritica	Trincea
da Km 4+510 a Km 4+780	Argille siltose con copertura detritica di versante	Galleria artificiale Pozzacchio
da Km 4+780 a Km 5+620	Argille siltose	Rilevato + trincea

da Km 5+620 a Km 5+740	Argille siltose con sovrapposte alluvioni recenti nella parte di fondo valle	Viadotto Acquarosa
da Km 5+740 a Km 6+120	Argille siltose	Trincea
da Km 6+120 a Km 6+390	Argille siltose	Viadotto Pietrapiano
da Km 6+390 a Km 6+790	Argille siltose	Trincea + rilavato
da Km 6+790 a Km 7+300	Argille siltose con coperture detritiche	Viadotto Ciatini
da Km 7+300 a Km 8+160	Argille siltose con coperture detritiche e corpi di frana	Trincea
da Km 8+160 a Km 8+240	Corpo di frana su argille siltose	Galleria artificiale Collelungo
da Km 8+240 a Km 8+900	Argille siltose con coperture detritiche corpi di frana	Trincea + rilavato

10.2 – IDROGEOLOGIA DEL TRACCIATO

Progressive	Sorgenti	Complessi idrogeologici	Opera
da Km 0+000 a Km 0+070	In località San Leonardo 2 sorgenti a N, quota 350 m., 3 sorgenti a E, quota 425 m.	Complesso idrogeologico 1 sovrapposto al 2	Trincea + rilevato
da Km 0+070 a Km 0+130	In località San Leonardo, 3 sorgenti a E, quota 425 m.	Complesso idrogeologico 1 sovrapposto al 2	Viadotto Giardino
da Km 0+130 a Km 0+360	In località San Leonardo, 3 sorgenti a E, quota 425 m.	Complesso idrogeologico 1 sovrapposto al 2	Trincea
da Km 0+360 a Km 0+420	Nessuna presenza di sorgenti	Complesso idrogeologico 1 sovrapposto al 2	Viadotto Guardiagrele
da Km 0+420 a Km 0+780	Nessuna presenza di sorgenti	Complesso idrogeologico 2	Trincea + rilevato

da Km 0+780 a Km 1+740	Nessuna presenza di sorgenti	Complesso idrogeologico 2	Galleria naturale S. Bartolomeo
da Km 1+740 a Km 1+820	Nessuna presenza di sorgenti	Complesso idrogeologico 2	Trincea
da Km 1+820 a Km 2+240	Nessuna presenza di sorgenti	Passaggio da complesso idrogeologico 2 a 1 sovrapposto al 2	Viadotto S. Bartolomeo
da Km 2+240 a Km 2+370	Nessuna presenza di sorgenti	Complesso idrogeologico 1 sovrapposto al 2	Trincea
da Km 2+370 a Km 3+030	Nessuna presenza di sorgenti	Passaggio da complesso idrogeologico 2 a 3 a 2	Viadotto S. Bartolomeo 2
da Km 3+030 a Km 3+525	Nessuna presenza di sorgenti	Complesso idrogeologico 2	Trincea + rilevato
da Km 3+525 a Km 4+155	Nessuna presenza di sorgenti	Passaggio da complesso idrogeologico 1 a complesso 2 su 1	Viadotto Laio
da Km 4+155 a Km 4+510	Nessuna presenza di sorgenti	Complesso idrogeologico 1 sovrapposto al 2	Trincea
da Km 4+510 a Km 4+780	Nessuna presenza di sorgenti	Complesso idrogeologico 1 sovrapposto al 2	Galleria artificiale Pozzacchio
da Km 4+780 a Km 5+620	Nessuna presenza di sorgenti	Complesso idrogeologico 2	Rilevato + trincea
da Km 5+620 a Km 5+740	Al Km. 182.5 della S.S.81, 1 sorgente a W, quota 300 m.	Complesso idrogeologico 2 con sovrapposizione del complesso 1	Viadotto Acquarosa
da Km 5+740 a Km 6+120	Nessuna presenza di sorgenti	Complesso idrogeologico 2	Trincea
da Km 6+120 a Km 6+390	Nessuna presenza di sorgenti	Complesso idrogeologico 2	Viadotto Pietrapiano
da Km 6+390 a Km 6+790	Nessuna presenza di sorgenti	Complesso idrogeologico 2	Trincea + rilevato

da Km 6+790 a Km 7+300	Nessuna presenza di sorgenti	Complesso idrogeologico 2 con sovrapposizioni del complesso 1	Viadotto Ciatini
da Km 7+300 a Km 8+160	In località S. Antonio 1 sorgente a W quota 300 1 soergente a E quota 210 in sinistra idrografica del torrente Laio	Complesso idrogeologico 2 con sovrapposizioni del complesso 1	Trincea
da Km 8+160 a Km 8+240	Nessuna presenza di sorgenti	Complesso idrogeologico 1 sovrapposto al complesso 2	Galeria Artificiale Collelungo
da Km 8+240 a Km 8+900	Nessuna presenza di sorgenti	Complesso idrogeologico 2 con sovrapposizione del complesso 1	Trincea + rilevato

NB. Complesso idrogeologico 1= complesso dei depositi detritici e alluvionali
 Complesso idrogeologico 2 = complesso delle argille marine
 Complesso idrogeologico 3 = complesso dei depositi terrigeni argillosi con Intercalazioni litoidi

10.3 – GEOMORFOLOGIA DEL TRACCIATO

Progressive	Depositi	Forme gravitative	Forme antropiche	Forme dovute al dilavamento di acqua	Opera
da Km 0+000 a Km 0+070	Passaggio da copertura a bedrock argilloso				Trincea + rilevato
da Km 0+070 a Km 0+130	Passaggio da copertura a bedrock argilloso			Solco di erosione concentrata	Viadotto Giardino

da Km 0+130 a Km 0+360	Passaggio da copertura a bedrock argilloso				Trincea
da Km 0+360 a Km 0+420	Passaggio da copertura a bedrock argilloso			Vallecola a V	Viadotto Guardiagrele
da Km 0+420 a Km 0+780	Bedrock argilloso			Solco di erosione concentrata, area a dilavamento diffuso a W	Trincea + rilevato
da Km 0+780 a Km 1+740	Bedrock argilloso	Frane a scorrimento rotazionale a E e W		Vallecola a V, solchi di erosione concentrata	Galleria naturale S. Bartolomeo
da Km 1+740 a Km 1+820	Bedrock argilloso			Solco di erosione concentrata a E	Trincea
da Km 1+820 a Km 2+240	Passaggio da copertura a bedrock argilloso	Gradini di frana a E		Vallecola a V a E, solchi di erosione concentrata	Viadotto S. Bartolomeo
da Km 2+240 a Km 2+370	Passaggio da copertura a bedrock argilloso				Trincea
da Km 2+370 a Km 3+030	Bedrock argilloso e complesso caotico	Frana a scorrimento rotazionale a W		Vallecole a V a E e W	Viadotto S. Bartolomeo 2
da Km 3+030 a Km 3+525	Bedrock argilloso			Vallecola a V a W, solco di erosione concentrata	Trincea + rilevato
da Km 3+525 a Km 4+155	Passaggio da bedrock argilloso a copertura, a bedrock argilloso	Soliflusso a W		Vallecola a V; area fortemente calanchiva a E	Viadotto Laio

da Km 4+155 a Km 4+510	Passaggio da bedrock argilloso a copertura, a bedrock argilloso.	Corpo di frana, frana a scorrimento rotazionale, piccole frane e soliflusso a W	Muro di ritenuta	Vallecola a V, solco di erosione concentrata, area calanchiva a E	Trincea
da Km 4+510 a Km 4+780	Passaggio da copertura a bedrock argilloso	Piccole frane a W	Muretto a secco	Vallecole a V, solco di erosione concentrata, area calanchiva a E	Galleria artificiale Pozzacchio
da Km 4+780 a Km 5+620	Bedrock argilloso	Piccole frane e soliflusso a W	Muro a secco, muretto di ritenuta	Vallecole a V, solco di erosione concentrata	Rilevato + trincea
da Km 5+620 a Km 5+740	Passaggio da copertura a bedrock argilloso		Muro a secco	Vallecole a V	Viadotto Acquarosa
da Km 5+740 a Km 6+120	Bedrock argilloso	Soliflusso,			Trincea
da Km 6+120 a Km 6+390	Bedrock Argilloso	Soliflusso		Vallecole a V, solchi di erosio ne concentrata	Viadotto Pietrapiano
da Km 6+390 a Km 6+790	Bedrock argilloso			Vallecole a V, solchi di erosio ne concentrata	Trincea + rilevato
da Km 6+790 a Km 7+300	Copertura su bedrock argilloso	Soliflusso, frana e corpo di frana a W		Vallecole a V, solchi di erosio ne concentrata	Viadotto Catini
da Km 7+300 a Km 8+160	Copertura su bedrock argilloso	Soliflusso, frana e corpo di frana a W		Vallecole a V, solchi di erosio ne concentrata	Trincea
da Km 8+160 a Km 8+240	Copertura su bedrock argilloso	Corpo di Frana			Galleria Artificiale Collelungo
da Km 8+240 a Km 8+900	Copertura su bedrock argilloso	Corpo di frana, soliflusso e piccole frane a W		Vallecole a V, solchi di erosio ne concentrata	Trincea + Rilevato

10.4 – CONSIDERAZIONI PROGETTUALI

Alla luce dell'assetto morfo –idro- geologico emerso si rimettono ai signori progettisti alcune considerazioni di carattere generale.

E' necessario porre particolare attenzione alla progettazione e realizzazione delle opere in trincea che interessano i litotipi argillosi interessati da fenomeni di soliflusso, frane ed erosioni accelerate . Nelle stesse aree si sconsiglia di realizzare rilevati particolarmente elevati e tali da ricaricare aree già in dissesto amplificandone le problematiche.

Particolare cura dovrà essere posta nella scelta dei materiali e nella esecuzione delle fasi di costipazione dei materiali che costituiranno i rilevati che dovranno essere tali da garantire un miglioramento delle condizioni di scarico delle tensioni di eserciziotrasmesse ai terreni di fondazione. .

I materiali provenienti dagli scavi eseguiti nei litotipi argillosi non risultano idonei alla riutilizzazione per la realizzazione dei rilevati , mentre viceversa i materiali provenienti dagli scavi eseguiti nelle coltri detritiche, nei corpi di frana e nei depositi alluvionali , potrebbero , previo opportuna selezione qualitativa, essere riutilizzati nei nuovi rilevati e nelle opere di bonifica prevedendo comunque i necessari interventi di stabilizzazione.

Lungo tutta la tratta si dovrà prevedere la realizzazione di interventi di sistemazione e regimentazione delle acque meteoriche e di scorrimento superficiale al fine di garantire una riduzione dei fenomeni di infiltrazione in profondità che nella zona costituiscono la causa primaria dei fenomeni di soliflusso , scorrimento e frana che interessano in maniera molto diffusa nelle aree di progetto.

Le fondazioni delle spalle e delle pile dei viadotti dovranno superare le coltri superficiali più alterate ed aereate.

Nella realizzazione delle trincee bisognerà ridurre al minimo i tempi di esposizione degli scavi al fine di ridurre i fenomeni di alterazione esogena ed impedire l'innescio di ulteriori fenomeni di movimento delle coltri superficiali.

Eventuali scarpate non contenute , peraltro sconsigliate nei litiotipi incontrati, dovranno quantomeno essere protette dalla erosione accelerata. .

Nei casi in cui il terreno che costituisce un pendio risulta avere una prevalente matrice arida e questo viene interessato da tagli è necessario provvedere alla posa di un adeguato spessore di terreno di coltivo per consentire la crescita della vegetazione. Poichè il terreno vegetale ha scarse proprietà meccaniche e può quindi facilmente scivolare lungo il pendio, può essere dilavato in caso di forti piogge prima della crescita della vegetazione.

Solitamente in questi casi si prevede l'utilizzo di geocelle che consentono la stabilizzazione del terreno vegetale anche su pendii molto scoscesi, assicurando il confinamento laterale dello stesso.

Spesso le zone situate a monte di scarpate artificiali generate da scavi in trincea sono soggette a dilavamento ed erosione superficiale provocati dalle acque meteoriche, dal conseguente ruscellamento e dall'azione del vento.

Tali fenomeni possono provocare importanti perdite di terreno con la conseguente formazione di solchi più o meno profondi. Tutto questo avviene a causa dell'assenza e/o fragilità del cotico erboso presente nella prima fase di sviluppo e conseguentemente dalla ridotta penetrazione delle radici nel substrato. L'utilizzo di stuoie , tessuti non tessuti e/o geogriglie potrà risolvere il problema, garantendo un'efficace protezione antierosiva, prevenendo la formazione di solchi superficiali o profondi.

BIBLIOGRAFIA

ALMAGIÀ (1910) – *Studi geografici sulle frane in Italia*. Vol. II: *L'Appennino centrale e meridionale. Conclusioni generali*. Mem. Soc. Geogr. It., 14, 435 pp, Roma.

ANSELMI B., ANTONIOLI F., FERRETTI O. & GERINI W. (1983) - *Caratteri granulometrici e mineralogici di formazioni argillose plio-pleistoceniche (Val d'Era, Valle di Paglia, Vasto e Crotona)*. Rendiconti Soc. It. Min. e Petr., 39 (1), 173-186.

ANSELMI B, CROVATO C., D'ANGELO L. & GRAUSO S. (1994) – *I calanchi di Atri (Abruzzo): caratteri mineralogici, geotecnica e geomorfologici*. Il Quaternario, 7, 145-158.

ANTONIOLI F. & ANSELMI B. (1986) - *Considerazioni geologiche e geochemiche sui bacini argillosi molisani e abruzzesi*. Mem. SGI, 35, 171-176, Roma.

BIGI S., CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., DIDASKALU P., DRAMIS F., FARABOLLINI P., GENTILI B., INVERNIZZI C., MICARELLI A., NISIO S., PAMBIANCHI G. & POTETTI M. (1995) - *La fascia periadriatica marchigiano-abruzzese dal Pliocene medio ai tempi attuali: evoluzione tettonico-sedimentaria e geomorfologica*. Studi Geologici Camerti, Vol. Spec. 1995/1, 37- 49, Camerino (MC).

BIGI S., CALAMITA F., CELLO G., CENTAMORE E., DEIANA G., PALTRINIERI W & RIDOLFI M. (1996) – *L'avanfossa messiniana marchigiano-abruzzese nel quadro dell'evoluzione dell'Appennino centrale*. Studi Geologici Camerti, Volume Speciale 1995/1, 29-36.

BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1986) – *Schema idrogeologico dell'Italia centrale*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 991-1012, 2 tavv.

BOSI C., CAIAZZO C., CINQUE A. & MESSINA P. (1996) – Le superfici relitte della regione fucense (Appennino centrale) ed il loro possibile significato nella ricostruzione della evoluzione geologica. *Il Quaternario*, 9(1), 381-386.

BRANCACCIO L., CASTIGLIONI G.B., CHIARINI E., CORTEMIGLIA G., D'OREFICE M., DRAMIS F., GRACIOTTI R., LA POSTA E., LUPIA PALMIERI E., ONORATI G., PANIZZA M., PANNUZI L., PAPASODARO F. & PELLEGRINI G.B. (1994) – *Carta Geomorfologia d'Italia, 1:50.000. Guida al rilevamento*. Serv. Geol. Naz., Quaderni ser. III, vol. 4, 1- 47.

CALAMITA F., SCISCIANI V., MONTEFALCONE R., PALTRINIERI W. & PIZZI A. (2002) – *L'eredità del paleomargine dell'Adria nella geometria del sistema orogenico centro-appenninico. L'area abruzzese esterna*. Mem. Soc. Geol. It., 57, 355- 368, 9 ff.

CASNEDI R., CRESCENTI U. & TONNA M. (1984) - *Evoluzione dell'avanfossa adriatica meridionale nel Plio-Pleistocene sulla base di dati di sottosuolo*. Mem. Soc. Geol. It., 34.

CATENACCI V. (1974) – *Note illustrative della Carta geologica d'Italia. Foglio 147 Lanciano*. Serv. Geol, It., 87 pp., Roma.

CENCETTI C., CONVERSINI P., RIBALDI C. & SACCONI P. (2001) – *Studio dei sistemi alveo-pianura fluviale in relazione alle interazioni con fenomeni franosi di versante*. Mem. Soc. Geol. It., 56, 249- 263, 8 ff., 4 tabb.

CENTAMORE E., CANTALAMESSA G., MICARELLI A., POTETTI M., BIGI S., MORELLI C. & RIDOLFI M. (1991) - *Stratigrafia ed analisi di facies dei*

depositi del Miocene e del Pliocene inferiore dell'avanfossa marchigiano-abruzzese e delle aree limitrofe. Studi Geologici Camerti, Vol. Spec. CROP 11 1991/2, 125-131. Camerino (MC).

COSENTINO D., PAROTTO M. & PRATURLON A. (a cura di) (1993) - *Guide Geologiche Regionali: Lazio*. Società Geologica Italiana & BE-MA editrice, Roma.

CURRADO C. (1998) – *Parametri geomorfici quali indicatori per lo studio dell'assetto morfotettonico della fascia costiera abruzzese*. Atti 79° Congresso Naz. Soc. Geol. It., 21-23 settembre 1998, vol. A, 364-365, Palermo.

CURRADO C. (1999) – *Confronto tra caratteristiche geomorfologiche e assetto strutturale dell'Abruzzo orientale*. Ph.D. Dissertation, unpublished, 187 pp.

CURRADO C. & D'AMBROGI C. (1999) – *Uplift and geomorphic indices: correlation in the Periadriatic basin between the Fiume Pescara and the Fiume Sangro (Central Italy)*. In abstract book International workshop on: "Large-scale vertical movements and related gravitational processes", 47 pp.

CURRADO C. & FREDI P. (2000) – *Morphometric parameters of drainage basins and morphotectonic setting of eastern Abruzzo*. Mem. Soc. Geol. It., 55, 411- 419, 5 ff., 4 tabb.

CURRADO C. & D'AMBROGI C. (2002) – *Plio-Pleistocene morphostructural evolution of Chieti sector in the Periadriatic Basin: an exemple of integrated analysis*. Mem. Soc. Geol. It., 57, 501- 508, 5 ff., 2 tabb.

D'AMBROGI C. (1999) – *Evoluzione geologica e geomorfologica plio-pleistocenica di un settore del bacino periadriatico compreso tra il F. Pescara e il F. Sangro*. Ph.D. Dissertation, unpublished, 118 pp.

DEL MONTE M., DI BUCCI D. & TRIGARI A. (1996) – *Assetto morfotettonico della regione compresa tra la Maiella e il Mare Adriatico (Appennino abruzzese)*. Mem. Soc. Geol. It., 51, 419- 430.

DEL PRETE M. & VALENTINI G. (1971) - *Le caratteristiche geotecniche delle argille dell'Italia sud-orientale in relazione a differenti situazioni stratigrafiche e tettoniche*. Geol. Appl. e Idrog., 6, 197-215, Bari.

DONZELLI G.(1969) - *Studio geologico della Maiella*. Monografia dell' Ud'A, Dipartimento di Scienze Geologiche, 1999, 23- 46, Chieti.

DRAMIS F., GENTILI B., COLTORTI M. & CHERUBINI C. (1982) – *Osservazioni geomorfologiche sui calanchi marchigiani*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 5, 38-45.

ESU F. & MARTINETTI S. (1965) - *Considerazioni sulle caratteristiche tecniche delle argille plio-pleistoceniche della fascia costiera adriatica tra Rimini e Vasto*. Geotecnica, 12, 154-185.

GLOSSARIO INTERNAZ. DELLE FRANE (1995) (a cura di CANUTI P. & ESU F.). Rivista It. di Geotecnica 2/95, 143-150.

GUERRICCHIO (1977) - *Movimenti di massa connessi a fenomeni neotettonici nelle argille azzurre*. Geol. Appl. e Idrog., 12 (2), 261-266, Bari.

MANFREDINI M. (1964) - *Schema idrogeologico dell'Abruzzo*. In "Le sorgenti italiane: 9 Abruzzo", Ministero LL. PP., Servizio Idrografico, Roma.

NANNI T. & VIVALDA P. (1986) – *Caratteri idrogeologici schematici delle falde di subalveo e delle unità arenacee plio-pleistoceniche nelle Marche*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 957- 978., 12 ff., 3 tabb.

NESCI O., SAVELLI D., TRAMONTANA M., VENERI F., DE DONATIS M. & MAZZOLI S. (2002) – *The Evolution of Alluvial fans in the Umbria – Marche – Romagna Apennines (Italy)*. Boll. Soc. Geol. It., Volume speciale n. 1, 915-922, 7 ff.

PATACCA E., SCANDONE P., BELLATALLA M., PERILLI N. & SANTINI U. (1992) – *La zona di giunzione tra l'arco appenninico settentrionale e l'arco appenninico meridionale nell'Abruzzo e nel Molise*. In: Studi preliminari all'acquisizione dati del profilo CROP 11 Civitavecchia-Vasto. St. Geol. Camerti, vol. speciale 1991/2, 417-441, Camerino.

RODOLFI G. & FRASCATI F. (1979) – *Cartografia di base per la programmazione degli interventi in aree marginali (Area rappresentativa dell'alta Caldera)*. In: *Memorie illustrative della carta geomorfologica*. Ann. Ist. Sper. Studio Difesa Suolo, 10, 37-80.

SCIARRA N. (1988) - *Geologia e geotecnica di argille consistenti del Pliocene abruzzese*. Boll. Soc. Geol. It., 107, Roma.

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1970) - *Carta Geologica d'Italia scala 1.100.000, F.147 Lanciano*.

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1994) – *Carta geomorfologia d'Italia*
– 1:50.000. *Guida al rilevamento.*

VARNES D.J. (1978) - *Slope movements. Types and processes.* In
“Landslide: analysis and control”. Nat. Acad. Of Sciences, Trans. Res.
Board, Washington, Special Report 76, 11-35.