



MINISTERO
DELL'INTERNO



Ministero
dell'Economia
e delle Finanze



COMUNE di SAN RUFO

Provincia di Salerno

"LAVORI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO
ATTRAVERSO INTERVENTI SUL SISTEMA DI REGIMAZIONE
DELLE ACQUE METEORICHE A MONTE DEL CENTRO ABITATO"

CUP: G64H20000630001

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Data: MARZO 2022	DESCRIZIONE ELABORATO:	Sez. A
	RELAZIONE COMPATIBILITA' GEOLOGICA	Num. 3
Elaborato:		ID. R.03
3		Serie REL
RESPONSABILI DI PROGETTO		
VISTI e/o AUTORIZZAZIONI		
Il Resp. del Procedimento Arch. Francesco DI MIELE	Il Geologo Dott. Rocco SPAGNUOLO	Il Progettista Ing. Rocco DI BIASI
A TERMINE DI LEGGE NON E' CONSENTITA, SENZA AUTORIZZAZIONE, ALCUNA RIPRODUZIONE DEL PRESENTE ELABORATO.		

I

Sommario

1) PREMESSA	2
1.1) DESCRIZIONE DEI LAVORI PREVISTI DAL PROGETTO	3
2) GEOLOGIA REGIONALE E DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	5
3) CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL TERRITORIO COMUNALE E DELL'AREA DI INDAGINE.....	13
4) LINEAMENTI IDROGEOLOGICI.....	17
5) LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI	20
6) CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO.....	23
5.1) SONDAGGIO SISMICA A RIFRAZIONE TIPO MASW;	24
5.2) PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE ONDA P	24
5.3) POZZETTO ISPEZIONE GEOGNOSTICA E PRELIEVO CAMPIONE INDISTRUBATO;	25
5.4) INDAGINI ESISTENTI.....	27
5.5) MODELLO GEOTECNICO AMBITO SIGNIFICATIVO	27
7) CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO AI SENSI DEL D.M. 14.01.2018	28
8) ANALISI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA DELL'AREA	33
9) VERIFICA DI STABILITÀ DEL PENDIO AI SENSI DELLE NTC 2018	35
10) COMPATIBILITA' GEOLOGICA E MITIGAZIONE DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA.	37
11) CONCLUSIONI	39
12) ALLEGATI:	41
13) BIBLIOGRAFIA:.....	42

1) PREMESSA

Su incarico del Comune di San Rufo (SA) con Determinazione Dirigenziale del Settore Tecnico Lavori Pubblici n. 192 del 02/11/2021, il sottoscritto Dott. Rocco SPAGNUOLO, iscritto all'Ordine dei Geologi di Basilicata con il n° 237 e con studio in vico II di via XXIV Maggio 1 in Moliterno (PZ), esegue indagini geologiche nei pressi del centro abitato, in agro del comune di San Rufo (SA), interessato da un progetto di Mitigazione del rischio idrogeologico attraverso interventi sul sistema di regimazione delle acque meteoriche superficiali nella zona a monte dell'abitato, al fine di definire la fattibilità geologica e idrogeologica degli interventi previste nel progetto.

La ricerca è consistita in un attento studio della bibliografia esistente al fine di reperire informazioni sulla natura litologica e meccanica dei terreni, nella realizzazione di una campagna di indagini geognostici consistenti con la realizzazione di un sondaggio sismico tipo MASW, una tomografia sismica sulle onde P e n. 2 prova penetrometriche DPSH, in un attento rilievo geologico-morfologico al fine di definire la compatibilità Idrogeologica e geomorfologica dei lavori previsti nel progetto e gli eventuali fenomeni di dissesto in atto o potenziali.

I risultati ottenuti hanno permesso di definire in dettaglio il quadro geomorfologico e idrogeologico dell'area di indagine che assieme alle caratteristiche geomeccaniche dei terreni affioranti fornisce necessarie indicazioni sulla fattibilità dei lavori previsti nel progetto.

L'area oggetto di indagine è ubicata nel centro abitato del comune di San Rufo (SA) come indicato nella carta topografica in scala 1:5000.

Il lavoro è stato articolato secondo un programma di seguito esposto:

- ❖ Esame della cartografia esistente (Carta Geologica d'Italia F. 199 "Potenza" e F. 198 "Eboli" scala 1:100.000);
- ❖ Consultazione di pubblicazioni e lavori in materia, riguardanti la zona interessata ed altre limitrofe in modo particolare lo studio geologico allegato al PUC del Comune di San Rufo a cura del geol. V. Siervo;
- ❖ Rilevamento geolitologico e geomorfologico di superficie sull'intera area comprendente il luogo oggetto di studio;
- ❖ Analisi dei risultati delle indagini geognostiche per la caratterizzazione geotecnica dei terreni;
- ❖ Elaborazione della stratigrafia risultante dalle indagini in sito.

La presente relazione comprende, oltre agli elaborati scritti, i seguenti allegati grafici:

- ❖ Stralcio topografico in scala 1:25.000 e scala 1:5.000 con l'indicazione dell'area oggetto di studio;
- ❖ Carta geologica e geomorfologica in scala 1:2.000;

- ❖ Carta Geomorfologica in scala 1:2.000;
- ❖ Carta idrologica in scala 1:10000;
- ❖ Carta di ubicazione delle indagini in scala 1:3.000;
- ❖ Carta del rischio frana con l'ubicazione dell'area d'indagine in scala 1:2000;
- ❖ Carta inventario delle frane in scala 1:2.000;
- ❖ Carta delle pendenze in scala 1:2.000
- ❖ Modello geologico rappresentativo dell'area di sedime, ai sensi delle N.T.C. 2018;
- ❖ Modello geotecnico rappresentativo dell'area di sedime, ai sensi delle N.T.C. 2018.

Lo studio è stato effettuato secondo la normativa tecnica approvate con D. M. 11/03/1988 e le NTC 2018.

L'area oggetto del presente studio, nel quadro del Piano Stralcio Rischio Idrogeologico - PSAI ricade aree a rischio da frana Rf3 e Rf4 così come si evince dalla cartografia del dell'ex Autorità di Bacino Campania Sud e Interregionale del Sele (già ex Autorità Regionale Sinistra Sele).

Dalle Norme di Attuazione del PSAI e nella fattispecie all'articolo 14 si evince che per i lavori di che trattasi sono ammissibili con le aree a rischio da frana e che per gli stessi si rende necessario predisporre lo studio di **compatibilità geologica** nelle modalità previste dalla medesima norma. Si specifica che i suddetti lavori sono finalizzati alla riduzione del rischio idrogeologico e alla salvaguardia delle persone e delle cose.

1.1) DESCRIZIONE DEI LAVORI PREVISTI DAL PROGETTO

I lavori previsti nel progetto sono stati programmati a seguito Dall' analisi della relazione geologica, dalla valutazione dei dati reperiti presso gli Enti preposti, quali l'Autorità di Bacino di competenza, ecc. e dai sopralluoghi eseguiti in sito, sono emerse delle criticità lungo le aste dei valloni presi in considerazione e delle loro aree di influenza, che possiamo sintetizzare come di seguito:

- presenza di notevoli fenomeni di erosione delle sponde e del fondo del corso d'acqua lungo tutto il vallone ed anche in prossimità delle opere d'arte;
- presenza rilevante di materiale di accumulo, anche di notevole dimensione, dovuto al trasporto solido della corrente;
- presenza di materiale vegetale che impedisce il corretto deflusso delle acque nell'alveo;
- situazioni di degrado generalizzato delle sponde e delle opere d'arte.

Tutte queste situazioni sono ben evidenziate nell'elaborato "Rilievo fotografico area di intervento".

L'insieme delle problematiche riscontrate concorre a creare i presupposti per l'innescare di seri problemi di stabilizzazione delle sponde e delle scarpate del corso d'acqua. Il regime torrentizio del corso

d'acqua può mettere in gioco ulteriori fenomeni che possono accelerare il processo di erosione in atto, il tutto dovuto all'energia e alla velocità che la corrente assume.

Dalle analisi e dalle considerazioni sopra espresse, si è suddivisa l'area di intervento in tre aree di criticità, come di seguito individuate nella figura n. 03.

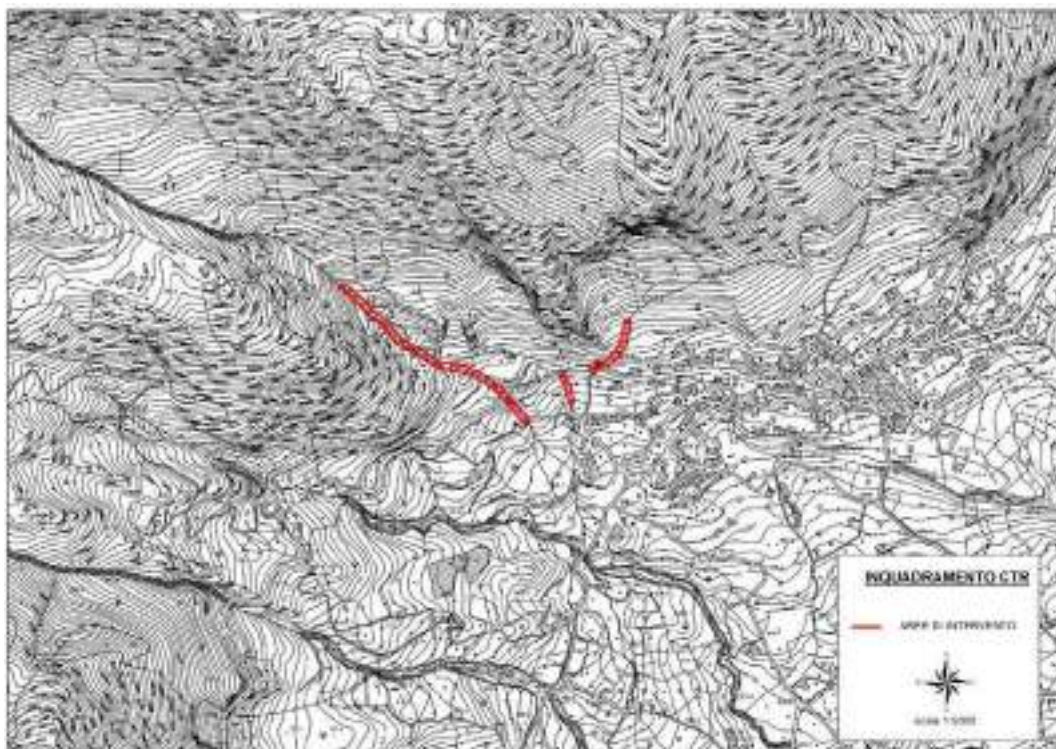


Figura 1 - Inquadramento area di intervento

Nel programmare e progettare le opere di sistemazione idraulico forestale, in oggetto, è stato indispensabile conoscere con accuratezza sia lo stato dei versanti che quello del corso d'acqua: per questo motivo si sono effettuate una serie completa di indagini sulle aree di intervento. La campagna di rilevamento ha portato all'individuazione dei dissesti in atto, potenziali frane, smottamenti ed erosioni sui versanti e nel reticolo idrografico.

È stato importante rilevare e stimare la quantità ed il tipo di trasporto solido nell'alveo del corso d'acqua attraverso un'ispezione accurata che ha permesso di individuare le zone in cui il letto del vallone viene scavato, le zone in cui sono presenti erosioni delle sponde e delle opere d'arte esistenti, ed i tratti in cui la corrente tende a depositare il materiale trasportato.

La presenza di una grande quantità di materiale solido trasportato e di materiale vegetale in molti punti dell'alveo è indice dell'esistenza, a monte, di dissesti sui versanti o di tratti del torrente in fase di scavo. Infatti, il materiale non può che provenire dal rilascio di sedimento dei versanti o da erosione del letto del corso d'acqua. Gli interventi previsti da effettuare sui versanti e sulle sponde sono distribuiti come indicato nella "planimetria degli interventi", interessano vari tratti del corso del vallone e consistono in sistemazione di smottamenti, regimazione delle acque superficiali (essenzialmente della corrente), rimboschimento delle sponde e/o sistemazione della vegetazione spondale e nella sistemazione delle opere d'arte esistenti ed in

molte parti deteriorate o che necessitano di interventi di manutenzione (attraversamenti, gabbionate, piccole briglie, ecc.).

Questi sono tutti interventi mirati ad impedire e/o limitare i fenomeni di dissesti in atto o potenziali, eliminandone e/o riducendo al minimo le cause di innesco riportando il tutto in una condizione di stabilità.

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati progettuali a firma dei tecnici incaricati.

2) GEOLOGIA REGIONALE E DESCRIZIONE STRATIGRAFICA

Il Comune di San Rufo posizionato al margine meridionale di un'ampia valle intramontana compresa nella catena subappenninica.

L'Appennino meridionale rappresenta la porzione apicale di un complesso sistema costituito da più unità tettoniche tra loro sovrapposte. La strutturazione, iniziata a partire dall'Oligocene e perdurata fino al Quaternario è caratterizzata dal succedersi e dal sovrapporsi di differenti contesti geodinamici e deformativi. Tale strutturazione ha generato una complessa catena a pieghe e sovrascorrimenti, dislocata da faglie ad alto angolo con cinematica trascorrente ed estensionale. Geometricamente dall'alto verso il basso le principali unità tettoniche sono rappresentate da: *Unità Interne* (Bonardi et alii, 1988); *Unità di Piattaforma Appenninica Auct.*; *Unità del Bacino di Lagonegro Auct.*; *Unità di Piattaforma Apula Auct.*

Queste unità provengono dalla deformazione di domini paleogeografici rappresentati da ambienti bacinali e ambienti di piattaforma carbonatica nell'ambito della quale è possibile distinguere tra facies riferibili ad ambienti di piattaforma s.s., facies di scarpata e facies di transizione a bacino.

L'unità di Piattaforma Appenninica Auct. è caratterizzata da depositi prevalentemente carbonatici nell'ambito dei quali è possibile distinguere facies riferibili ad un ambiente di piattaforma (Unità Alburno Cervati Pollino) da facies riferibili ad un ambiente di scarpata e transizione a bacino (Unità Monti della Maddalena).

Nell'ambito delle unità bacinali è possibile distinguere depositi prevalentemente argillosi e arenaceo-argillosi (Unità Interne e Gruppo del Cilento - Bonardi et alii, 1988) e depositi prevalentemente calcarei, silicei e argillosi, calcareo marnosi e argillosi (Unità Lagonegresi). Queste unità sono caratterizzate da un complesso assetto strutturale nell'ambito del quale è possibile riconoscere rapporti geometrici primari di sovrapposizione delle Unità Interne sull'Unità Alburno Cervati Pollino, di questa sull'Unità dei Monti della Maddalena e di quest'ultima sulle Unità Lagonegresi, a loro volta sovrapposte all'unità della Piattaforma Apula. I rapporti geometrici primari sono stati modificati da eventi deformativi che comportano in alcuni casi una inversione delle geometrie.

Al di sopra dei questi depositi deformati trovano sede i depositi pliocenici e quaternari di riempimento di bacini satellite ubicati sulle coltri e delle depressioni del Vallo di Diano, della Val d'Agri e delle conche tettono- carsiche.

Quest'attuale assetto strutturale è stato determinato essenzialmente dalle fasi tettoniche mioceniche e plio-quaternarie, che hanno modificato il quadro paleogeografico mesozoico dato da fasce deposizionali, piattaforme e bacini, distribuite parallelamente al margine continentale.

La lunga storia geologica dell'Appennino Meridionale può comunque essere ripercorsa con buona approssimazione a partire dal Paleozoico Superiore.

Gli eventi che ne hanno caratterizzato l'evoluzione sedimentaria, tettonica e morfologica, possono essere ritenuti connessi alla geodinamica di un esteso tratto crostale dell'area mediterranea orientale corrispondente alla propaggine settentrionale della zolla africana.

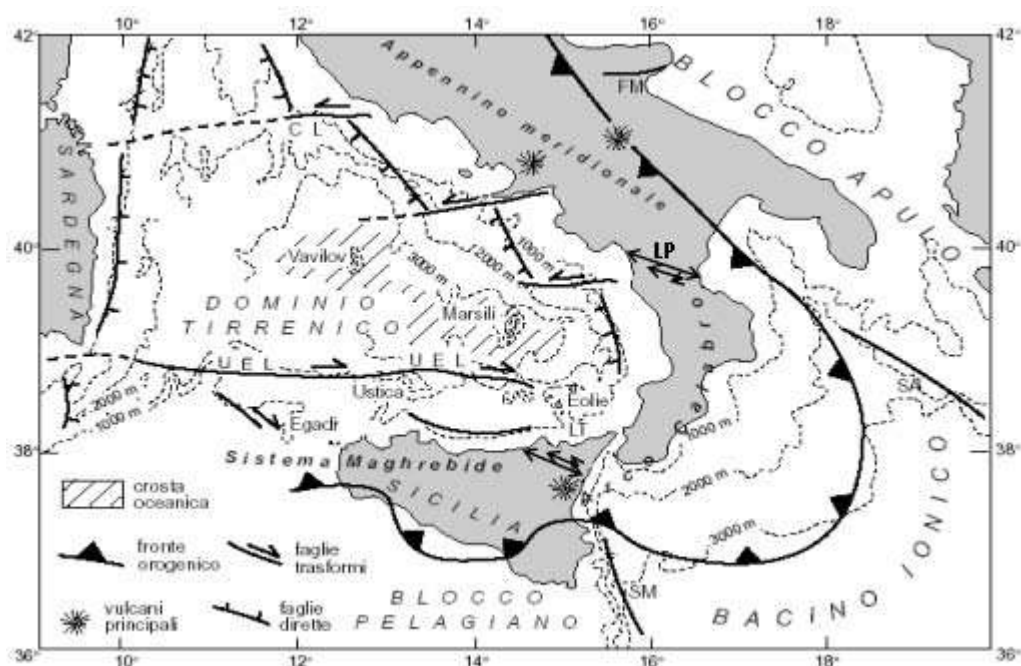


Fig. 1.1 Schema tettonico del sistema Tirreno - Appennino meridionale (modificato da Renda et alii, 2000). Acronimi: FM = Faglia di Mattinata; CL = Linea del Circeo; LP: Linea del Pollino; UEL: Linea Ustica-Eolie; SA: Scarpata Apula; LT: Linea di Taormina; SM: Scarpata di Malta.

Per meglio realizzare un quadro evolutivo generale, allo stesso tempo sintetico e completo, l'evoluzione geologica dell'Italia Meridionale è stata suddivisa in quattro fasi, relative ad altrettanti intervalli temporali entro i quali si ha una relativa omogeneità stratigrafico-tettonica nelle differenti aree paleogeografiche.

- Fase permo-triassica;
- Fase giurassico-cretacico-paleogenica;
- Fase miocenica;
- Fase plio-pleistocenica.

FASE PERMO TRIASSICA

La successione permo-triassica spessa almeno 1000 metri riscontrata dal pozzo Agip Puglia 1 (Moscardini e Merlini 1986) poggia sul basamento cristallino precambrio.

Le informazioni raccolte documentano una facies terrigena prevalentemente continentale costituita da arenarie sub-litiche formate da clasti metamorfici e sedimentari, in alternanza con brecce poligeniche, siltiti ed argilliti con, nella parte alta, rare intercalazioni di sottili livelli di calcari macrofossiliferi ed oolitici di ambiente marino litorale.

Questa successione terrigena è interposta tra il basamento cristallino e la serie carbonatica mesozoica, e può essere interpretata come una successione di *sinrift* prodottasi sul margine settentrionale della zolla africana, in un ambiente alluvionale-fluviodeltizio con episodiche, ed appena accennate, trasgressioni marine.

FASE GIURASSICO CRETACICA PALEOGENICA

Questa fase è rappresentata dalla struttura più spessa ed estesa prodottasi sul tratto settentrionale della zolla africana, in un fondamentale regime geodinamico di margine continentale passivo, interessato tuttavia, tra il Cretacico ed il Paleogene, dagli effetti dell'interazione tra zolla africana e zolla eurasiatica.

Il modello che meglio descrive questo periodo è quello elaborato da Mostardini e Merlini nel 1986. Esso prevede da Ovest verso Est le seguenti unità paleogeografiche:

- Bacino Tirrenico,
- Piattaforma Appenninica,
- Bacino Lagonegrese-Molisano,
- Piattaforma Apula interna,
- Bacino Apulo,
- Piattaforma Apula esterna.

In questa sede ci si limita a descrivere l'evoluzione paleogeografica delle strutture che interessano a scala regionale, sia geologicamente che tettonicamente l'area d'interesse.

Bacino Tirrenico

La mancanza di sufficienti dati non ha permesso di definire questo Bacino con grande sicurezza, l'unico dato certo è la sua posizione occidentale rispetto alla Piattaforma Appenninica.

Infatti, lungo il margine occidentale di questa Piattaforma sono note da tempo facies di transizione verso ambienti pelagici presenti già nel Giurassico, queste facies si rilevano lungo i Lepini occidentali (Monte Semprevisa), sul Monte Bulgheria, lungo la catena costiera (M. e M. 1986), al promontorio del Circeo ed all'isola di Capri dove queste facies sono presenti a cominciare dal Lias medio.

La serie Liguride si è originata in una posizione molto prossima all'area oceanica (tetide) del Bacino Tirrenico che separava i domini africano ed europeo.

Questa serie affiora estesamente nei settori meridionali a sud di Salerno, dove sovrasta sia la Piattaforma Appenninica sia i depositi del Bacino Lagonegrese-Molisano.

Essa è costituita dall'Unità Frido (serie ofiolitica e leggermente metamorfica) e dall'Unità Cilento (Flysch del Cilento, decisamente terrigeno).

Generalmente gli Autori attribuiscono a questo Bacino anche la successione Sicilide (Complesso Sicilide di Ogniben 1969, Argille Scagliose o Varicolori degli Autori) localizzandola immediatamente ad Ovest della Piattaforma Appenninica.

Secondo Mostardini e Merlini sia per motivi strutturali che stratigrafici, la patria deposizionale della successione Sicilide deve essere ricercata ad oriente e non ad occidente della Piattaforma Appenninica.

Da un punto di vista strutturale secondo quest'ultimi è piuttosto sospetto il fatto che, sia la Piattaforma Appenninica che le unità Lagonegresi, siano tettonicamente coperte direttamente dalle coltri Liguridi senza l'interposizione di sicure coltri Sicilidi, come sarebbe più logico, in considerazione della ipotizzata collocazione ad Ovest della Piattaforma Appenninica e tenuto conto della polarità degli strati.

Inoltre in è nota la sovrapposizione tettonica delle coltri Sicilidi su quelle Liguridi lungo un piano di accavallamento relativamente tranquillo se confrontato con il disordine che caratterizza le coltri stesse.

Ogniben (1969) per spiegare questo contatto invertito ipotizzò che l'accavallamento si fosse verificato in tempi pre-orogenici (Aquitano basso) portando la serie Sicilide su quella Liguride con vergenza europea, e successivamente nel Langhiano, l'insieme Liguride-Sicilide, così impilato, si sarebbe accavallato con vergenza africana sulle Unità Appenniniche poste ad oriente (M. e M. 1986).

Questa ricostruzione, secondo Mostardini e Merlini, oltre ad un'eccessiva macchinosità, contrasta con l'evidente regolarità del piano di sovrascorrimento che se fosse realmente il più vecchio di tutto l'edificio Appenninico sarebbe sicuramente molto più disarticolato.

I motivi stratigrafici che avvalorano l'ipotesi della deposizione della serie Sicilide (o Argille Scagliose) ad Est della Piattaforma Appenninica sono principalmente due: il primo evidente sul foglio Agnone (CB) della carta geologica, dove si riconoscono delle eteropie tra le facies bacinali Lagonegresi-Molisani e quelle della serie Sicilide, il secondo è riscontrabile nell'area del medio Basento (Boenzi et alii. 1968) e di Melfi (Scandone P. in discussione a Vezzani 1973) dove si ha il passaggio stratigrafico sia dalla Serie Sicilide che da quella Lagonegrese al Flysch Numidico.

Questa ipotesi oltre che da M. e M. (1986) è sostenuta anche da Manfredini M. (1986), Bally A. (1950), Gorler K. (1978), Dazzaro L. (1984) *et alii*.

Piattaforma Appenninica

Nella nostra ricostruzione paleogeografica, affiancata ad Est del Bacino Tirrenico si trovava la Piattaforma Appenninica. La totalità dei depositi carbonatici (Trias m/s Miocene inf.) affioranti

nell'Appennino Meridionale, fatta eccezione per la montagna della Maiella, si ritiene appartengano alla Piattaforma Appenninica.

Mostardini e Merlini non ritengono vi siano argomenti stratigrafici sufficientemente validi per distinguere la Piattaforma in "interna", "intermedia" ed "esterna", come invece ipotizza D'Argenio (1973) e la scuola napoletana in generale, ed a maggior ragione non condividono le ricostruzioni paleogeografiche con addirittura sei piattaforme carbonatiche.

Secondo i sopra citati Autori trattasi invece, di identiche successioni carbonatiche con tutti i tipi di facies presenti in ambiente di Piattaforma sempre tettonicamente sovrapposte a quelle di un unico Bacino: il Bacino Lagonegrese-Molisano.

Questo accavallamento tettonico è messo in luce dalle finestre tettoniche di Campagna, Giffoni e Vallepiana, e data la polarità orogenica, la Piattaforma Appenninica doveva svilupparsi ad occidente del Bacino Lagonegrese-Molisano.

Del resto anche il ben noto, ma altrettanto discusso affioramento di monte Alpi, indicato come unico testimone meridionale della Piattaforma "intermedia" è interpretato dai geologi dell'Agip come Klippen della Piattaforma Appenninica, come sicuramente è il limitrofo monte Raparo.

Le facies di transizione tra la Piattaforma Appenninica ed il Bacino Lagonegrese-Molisano sono ben evidenti nei settori settentrionali, verso Sud le facies di transizione sono molto meno sviluppate risultando verosimilmente coperte da scaglie tettoniche di Piattaforma in accavallamento verso oriente.

Per quanto riguarda le dimensioni trasversali della Piattaforma Appenninica, le sezioni interpretate indicano un valore che si aggira sui 150-200 km. (M. e M. 1986).

Bacino Lagonegrese-Molisano

Il Bacino Lagonegrese-Molisano era una depressione paleogeografica interposta tra le due Piattaforme Carbonatiche, Appenninica ad Ovest ed Apulo Garganica ad Est, individuatosi nel Triassico e persistito fino al Miocene.

Le Unità Lagonegresi sono comunemente divise in due successioni, una Inferiore rappresentata dalla Serie "Calcareo-Silico-Marnosa" (Triassico Sup.- Cretacico inf.) ed una Superiore (Paleogenica).

L'Unità inferiore è costituita dal basso verso l'alto da:

- "Calcari con selce" del Triassico sup. (sedimenti e risedimenti bacinali spessi diverse centinaia di metri);
- "Scisti silicei" del Giurassico (argilliti silicifere e radiolariti, sedimenti bacinali spessi alcune decine di metri);
- "Galestri" (flysch galestrino) alternanza di marne giallastre, per alterazione, e marne rossastre silicizzate, con intercalazioni di calcareniti torbiditiche grigio cenere;
- "Argilliti e marne silicifere con calcareniti intercalate", sedimenti di facies bacinale spessi alcune centinaia di metri caratterizzano il Cretacico inf.

Durante il Paleogene si deposita la successione superiore. Tra la Piattaforma Appenninica e quella apula si deponevano, nelle zone marginali, sedimenti calcarenitici e calciruditici torbiditici che provenivano

dai margini delle stesse piattaforme o dalle zone emerse, ai depositi calcarei si intercalavano argille, argille marnose rosse e verdi (flysch rosso) (Dazzaro e Rapisardi 1984), mentre nelle zone centrali del Bacino si deponevano i depositi del Complesso Sicilide (Argille varicolori) (M. e M. 1986 e Pescatore 1988).

Al di sopra di questi depositi, a partire dal Miocene inferiore si sono depositi i sedimenti prevalentemente quarzosi del Flysch Numidico di provenienza meridionale.

Tali depositi hanno notevoli spessori nelle zone centrali del Bacino e nelle aree meridionali (Lucania), mentre nelle zone laterali e settentrionali (Campania e Puglia) il loro spessore tende ad annullarsi.

Quindi secondo l'ipotesi precedentemente esposta, il complesso Sicilide dovrebbe rappresentare l'intervallo deposizionale Cretacico Sup. Miocene Inf. del Bacino Lagonegrese Molisano, compreso tra la serie "calcareo-silico-marnosa" ed il Flysch Numidico.

Tutte le ricostruzioni più recenti comunque, sono caratterizzate dalla tendenza ad estrapolare sempre più verso Nord le facies Lagonegresi.

Ad esempio Ortolani (1978) estrapola queste facies fino a NE del Matese quindi già in area molisana.

Avvalorano questa ipotesi i pozzi Agip di Frosolone, Campobasso e Benevento che hanno incontrato in profondità terreni correlabili ai "Calcari con selce". "Scisti silicei" e "Galestri" della successione Lagonegrese, dando elementi sufficienti per considerare il Bacino Molisano come un'estensione settentrionale di quello Lagonegrese.

Siamo quindi in presenza di un unico grande Bacino che interessava da Sud a Nord tutto l'Appennino Meridionale.

Per quanto riguarda le dimensioni trasversali si nota che alcune sezioni sismiche elaborate dall'Agip, lungo le quali è stato studiato il raccorciamento, portano ad ipotizzare un'ampiezza originale dell'ordine di 200 Km (M. e M. 1986), mentre longitudinalmente si estendono da poco a Nord del Matese fino al Mare Ionio e quasi certamente continuano anche nell'area calabrese.

Ancora più a Nord i raccorciamenti hanno portato le facies di transizione, dalla Piattaforma Appenninica al Bacino Lagonegrese-Molisano, quasi direttamente a contatto con la Piattaforma Apula interna, impedendo in questa regione l'osservazione diretta dei depositi Lagonegresi-Molisani.

Comunque la presenza di queste facies di transizione molto spinte porta addirittura ad ipotizzare la continuazione sepolta del Bacino Lagonegrese-Molisano ad occidente del gruppo della Maiella per congiungersi con l'area bacinale di Pescara come già ipotizzato da Manfredini (1966), anche se non esistono elementi provanti questa ipotesi.

Piattaforma Apula interna

Ad oriente del Bacino Lagonegrese-Molisano si trovava una Piattaforma Carbonatica detta Piattaforma Apula interna.

La parte inferiore di questa Piattaforma è del Triassico Sup., e la sovrastante successione Giurassico-Cretacica presenta tipiche facies di Piattaforma carbonatica soggetta a subsidenza compensata da sedimentazione di mare sottile.

La successione Giurassica era rappresentata da un intervallo stratigrafico di circa 3000 metri costituito prevalentemente da facies dolomitiche.

In affioramento è esposta la parte terminale del Giurassico nell'area garganica centro meridionale, qui le facies di Piattaforma interna vengono sostituite al passaggio Giurassico-Cretacico da facies di Piattaforma esterna, di transizione e Bacino.

La situazione paleo ambientale non muta sostanzialmente nel corso del Cretacico, pur se condizionata da modificazioni paleo ambientali collegate ad oscillazioni marine di ampiezza ed estensione variabili per tempi e per luoghi in relazione alle interazioni tettoniche.

Nel dominio di Piattaforma interna (Gargano centro-occidentale, Murge, Salento) la successione cretacica estesa per uno spessore intorno ai 2000 metri sino al Cenomaniano terminale, è caratterizzata da facies carbonatiche micritiche intertidali con alghe e foraminiferi e da episodiche intercalazioni di calcari con Rudiste.

Questi orizzonti a Rudiste sono importanti da un punto di vista crono e bio-stratigrafico, in quanto pur se di limitato spessore hanno una diffusione e posizione stratigrafica costante in tutto il dominio di Piattaforma interna.

Questi orizzonti, assunti come livelli guida, hanno permesso di eseguire precise correlazioni sia tra le successioni esposte in superficie che attraversate nel sottosuolo.

Il Turoniano è caratterizzato da una evidente lacuna stratigrafica, contrassegnata nelle aree garganico e murgiana da una ragionevole discordanza angolare nonché da orizzonti di depositi continentali di varia natura.

La successione supra-cretacica di Piattaforma interna presenta facies intertidali e subtidali caratterizzate da una maggiore diffusione delle Rudiste che danno origine sia a biocostruzioni sia ad accumuli sin-sedimentari inseriti in sequenze ritmiche di tipo ingressivo - regressivo, intervallate a seconda dei casi, da sottili livelli di argilliti arrossate e/o da crostoni calcareo terrosi nonché da tipici hard grounds. Recenti studi tendono a dimostrare la presenza di brevi lacune in tali successioni apprezzabili sia a livello stratigrafico che sedimentologico, le più importanti risultano localizzate rispettivamente al passaggio Santoniano-Campaniano ed alla base del Maastrichtiano Inferiore. La successione supra-cretacica del Senoniano si estende per un intervallo stratigrafico di circa 1500 metri sino a comprendere il Maastrichtiano. Le dimensioni trasversali di questa Piattaforma sono solo ipotizzabili in quanto, mentre il fronte orientale è perfettamente riconoscibile sulle sezioni sismiche, il margine occidentale è solamente supposto poiché mascherato dalle coltri alloctone di origine interna. Sembrano comunque ragionevoli le dimensioni trasversali che si aggirano sui 60-80 Km per il settore meridionale ed 80-130 Km per quello settentrionale (M. e M. 1986).

Verso Sud è molto probabile che questa unità si prolunghi nell'area ionica, mentre verso Nord affiora a costituire il gruppo della Maiella, dove la presenza di facies di transizione verso nord sembra preludere alla fine di questa unità ed il suo passaggio per variazione di facies al Bacino di Pescara.

Per quanto riguarda le transizioni tra questa Piattaforma ed i bacini limitrofi notiamo che, quelle verso il Bacino Lagonegrese-Molisano non sono conosciute perché troppo profonde, mentre quelle verso il Bacino Apulo sono state incontrate da alcuni pozzi.

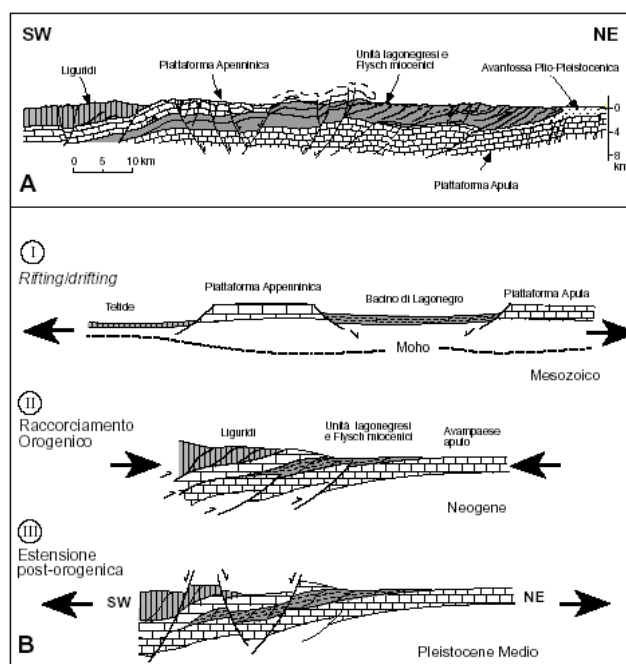


Figura 2 -Sezione geologica regionale A-A' attraverso l'Appennino Lucano (da TAVARNELLI & PROSSER, 2003, con modifiche). B. Successione degli eventi tettonici principali che hanno interessato il margine passivo adriatico portando alla costruzione della catena appenninica: I- *drifting* Mesozoico; II- raccorciamento orogenico neogenico; III- estensione post-orogenica (non in scala; da TAVARNELLI & PROSSER, 2003, con modifiche).

La zona oggetto d'indagine rientra, dal punto di vista paleogeografico nell'unità del Bacino Lagonegrese-Molisano.

3) CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL TERRITORIO COMUNALE E DELL'AREA DI INDAGINE

I depositi quaternari sono rappresentati da unità distinte in base al bacino di appartenenza (super-sistema del Vallo di Diano) e unità ubiquitarie (formate ed in formazione). La terminologia utilizzata è quella adottata dal Progetto CARG per i fogli attualmente pubblicati (Sala Consilina e Vallo della Lucania).

UNITA' INTERNE

Sono rappresentate da successioni argilloso-marnose, marnoso-calcaree, arenaceo-pelitiche riferibili alle unità Castelnuovo Cilento e Nord Calabrese.

La successione stratigrafica affiorante nella porzione di territorio in esame è rappresentata da esigui affioramenti prevalentemente argilloso marnosi.

Unità di Piattaforma Carbonatica

Nell'ambito della unità di piattaforma carbonatica (Unità Alburno Cervati Pollino) è possibile distinguere tra una successione stratigrafica prevalentemente calcarea e calcareo-dolomitica mesozoica e la sua evoluzione a depositi terrigeni, di avanfossa prima e di thrust top successivamente, di età del Miocene inferiore - medio e Miocene superiore, rispettivamente.

La successione stratigrafica carbonatica affiorante nella porzione di territorio in esame è rappresentata, dall'alto verso il basso da:

Formazione di Trentinara - conglomerati calcarei in matrice marnosa; calciruditi e calcareniti grigi con intercalazioni di marne verdastre; calcilutiti e calcareniti grigio chiaro e avana in strati spessi talora plurimetrici; calcari marnosi in strati medi e spessi. Eocene inferiore – medio

Calcari a radiolitidi - calcilutiti e calcareniti grigi scuri; dolomie e calcari dolomitici scuri in strati da medi a spessi e talora banchi (Foto). Cretacico superiore

Segue l'evoluzione della piattaforma carbonatica a depositi di avanfossa del Miocene inferiore medio, rappresentati da:

Formazione di Bifurto – torbiditi arenaceo-pelitiche rossastre quarzoarenitiche, con granuli di quarzo arrotondato, a cemento siliceo, livelli di argille grigio tabacco, e verdastre con venature azzurrognole, biocalciruditi a macroforaminiferi in strati medi, lenticolari, calcilutiti spongolitiche verdoline, tufiti in strati medi, tabulari. Miocene inferiore – medio. Durante il Miocene medio superiore questa unità è caratterizzata dalla presenza di depositi di thrust top rappresentati dalla Formazione delle brecce ed arenarie di Piaggine –brecce e conglomerati in matrice arenitica, con clasti subarrotondati derivanti dall'erosione dei sottostanti termini carbonatici e/o silicoclastici; argilliti grigio bruno, a tratti color tabacco, a luoghi policrome in cui si rinvenivano talora livelli di calcareniti, calcilutiti, siltiti, marne, breccie a macroforaminiferi, arenarie fini quarzose, quarzoareniti tipo numidico.

DEPOSITI QUATERNARI

UNITÀ DISTINTE IN BASE AL BACINO DI APPARTENENZA

Supsintema del Vallo di Diano - depositi di ambiente lacustre, fluviale e di conoide alluvionale affioranti nel Vallo di Diano. Il Vallo di Diano rappresenta una vasta depressione tettonica attraversata dal Fiume Tanagro, caratterizzata da un fondo quasi piatto e modestamente disseccato con quote comprese tra 450 e 475 metri slm. Questa depressione è stata caratterizzata dalla persistenza di un ambiente lacustre fino

ai tempi storici: Nel tempo, interventi di bonifica iniziati dai Romani ed ultimati dai Borbone, prosciugarono l'area intorno alla metà del secolo XIX (Macchiaroli, 1868; Ciasca, 1928; Davide, 1979).

De Lorenzo (1898) riconosce depositi riferibili ad un bacino lacustre pleistocenico. Nicotera & De Riso (1969) segnalano la presenza di depositi lacustri e alluvionali fino alla profondità di almeno 200 m. Lippman-Provansal (1987) e successivamente Santangelo (1991) riconoscono la presenza di due cicli deposizionali in facies lacustre. Russo Ermolli (1995) e Russo Ermolli et alii (1995) individuano due distinti cicli glaciale-interglaciale che vengono riferiti al Pleistocene medio. Sgrosso et alii (2010) distinguono due sintemi: il sintema di Buonabitacolo, di età Pleistocene inferiore – medio, non affiorante nella zona in studio; il sintema della Certosa di Padula, di età Pleistocene medio – Olocene.

Sintema della Certosa di Padula - depositi lacustri costituiti da alternanze di argille grigie e nerastre, limi marroni e, a luoghi, torbe (PADe); depositi di conoide alluvionale costituiti da ghiaie a clasti eterometrici, ben arrotondati, con matrice sabbioso-limosa a luoghi prevalente a depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi fluviali (PADb). Età Pleistocene medio – Olocene

UNITÀ UBIQUITARIE, FORMATE E IN FORMAZIONE

Appartengono a questa categoria depositi non riferibili a bacini idrografici, di età compresa tra il Pleistocene superiore e l'attuale.

Depositi detritici - depositi clastici eterometrici, talora in blocchi, con matrice limoso- sabbiosa scarsa o assente in forma. Età Pleistocene superiore.

Depositi di frane antiche e recenti - accumuli di frane evolute in regimi morfoclimatici precedenti a quello attuale o simili a quelle attuali. Caratterizzati da pezzame litoide eterometrico generalmente in matrice limoso-argillosa, a luoghi prevalente e con spessore da metrico a decametrico, derivano da processi di movimento di massa e/o trasporto in massa. Età Pleistocene superiore – Olocene.

Deposito alluvionale terrazzato – depositi clastici eterometrici in abbondante matrice limoso-sabbiosa - Età Olocene.

Coltri eluvio colluviali - depositi argilloso- limoso-sabbiosi, di colore bruno o bruno-rossastro, con incluso detrito litoide grossolano di varia natura, in dipendenza della natura del substrato. Età Pleistocene superiore – attuale.

Depositi colluviali - Depositi colluviali argilloso-limoso-sabbiosi di colore bruno-rossastro costituite da suoli residuali, terre rosse e paleosuoli con clasti insolubili occupanti il fondo di doline e campi carsici. Età Pleistocene superiore – attuale.

Depositi detritici - depositi clastici eterometrici, talora in blocchi, con matrice limoso- sabbiosa scarsa o assente in forma di falde e con alla base di ripide scarpate. Età Pleistocene superiore – attuale.

Depositi di frana - accumuli di frane in evoluzione nell'attuale regime morfoclimatico. Caratterizzati da pezzame litoide eterometrico, generalmente in matrice limoso-argillosa a luoghi

prevalente, aventi spessore da metrico a deca metrico derivano da processi di movimento di massa e/o trasporto in massa. Età Olocene – attuale.

Depositi fluviali degli alvei attuali - depositi fluviali e fluvio-torrentizi degli alvei e delle conoidi in corso di formazione costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie, a luoghi con presenza di blocchi di grandi dimensioni. Età Olocene – attuale.

Depositi palustri – Depositi palustri argilloso- limosi, a luoghi ricchi di componente vegetale e torbe. Età attuale.

Depositi antropici – depositi derivanti dalle attività umane. Età attuale.

A seguito dei rilievi eseguiti nell'area di indagine, anche su indicazioni della struttura comunale si è riscontrato l'affioramento delle seguenti unità stratigrafiche_

- U.S.1 - Detrito eluvio colluviale;
- U.S.2 Detrito di falda;
- U.S.3 -Arenarie sabbioso conglomeratiche;
- U.S.4 – Calcarei bianco grigiastri.

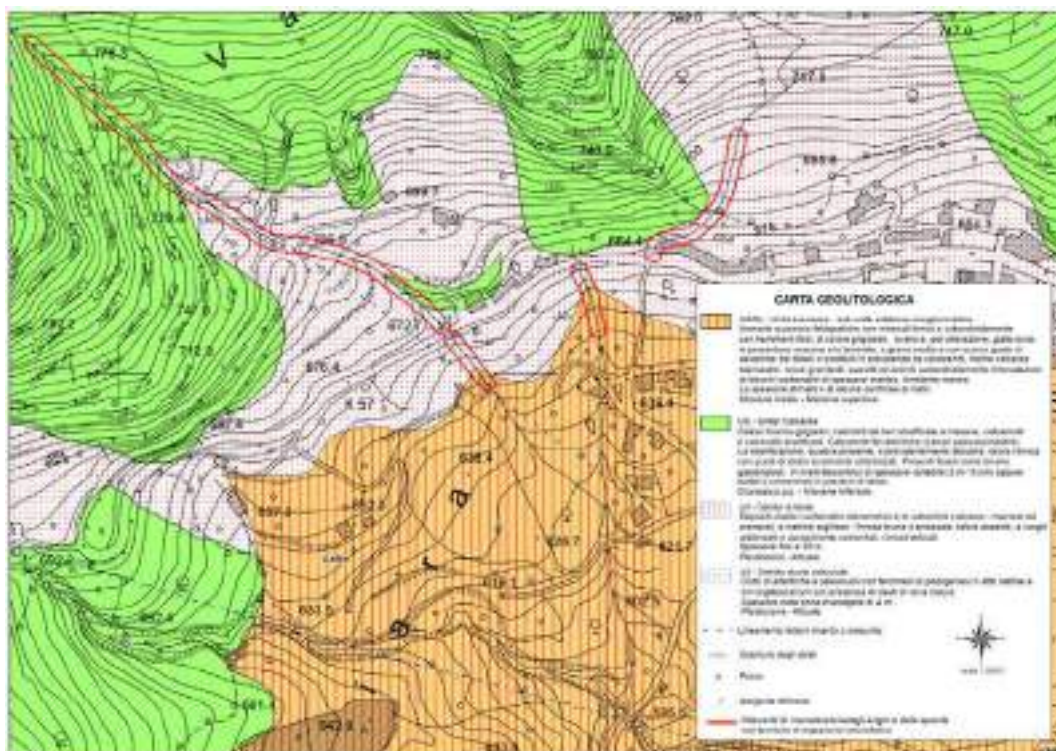


Figura 4 - Stralcio carta geologica dell'area di indagine

4) LINEAMENTI IDROGEOLOGICI

Nell'area, dall'analisi delle litofacies affioranti risulta che gli acquiferi di maggiore entità sono quelli relativi alle facies carbonatiche e quelli inerenti le formazioni alluvionali del Vallo di Diano. A tal riguardo, il massiccio carbonatico del Monte Motola è un rilievo di forma allungata che si sviluppa dal Vallo di Diano alla forra del Torrente Sammaro lungo una direttrice Est-Ovest ed, altimetricamente, da quota 320 a circa 1700 metri s.l.m..

Il rilievo è costituito soprattutto da rocce carbonatiche in facies di piattaforma, rappresentati principalmente da calcari dolomitici, calcareniti, calcilutiti e calcari detritici, di età giurassica e cretacea, generalmente stratificati e potenti complessivamente intorno ai 1400 metri.

Bordano, a Nord, ad Ovest ed a Sud, la struttura carbonatica affioramenti prevalentemente terrigeni, comprendenti alternanze mioceniche di arenarie, siltiti, marne e calcari. In tale affioramento si rinvencono intercalate, variamente disturbate e caotiche, le Unità Interne. Ad Est, invece la struttura carbonatica è ribassata, a gradinata, al di sotto dei depositi fluvio-lacustri e detritici, plio-pleistocenici ed olocenici, che, sovrapposti ai depositi terrigeni miocenici, riempiono la depressione tettonica del Vallo di Diano.

È importante segnalare, dal punto di vista strutturale, un fitto sistema di faglie dirette che interessa la struttura carbonatica (aventi direzioni appenniniche ed anti appenniniche) che la suddividono in diversi blocchi, variamente ribassati, ed immergenti, generalmente, verso i quadranti settentrionali. Il massiccio del Cervati, come quello del Motola è costituito da calcari Meso-Cenozoici, altamente permeabili per fratturazione e carsismo, circondato da terreni impermeabili flisciodi e alluvionali.

Le rocce carbonatiche sono caratterizzate da una notevole fratturazione e da un intenso sviluppo del fenomeno carsico; quest'ultimo è evidenziato da forme epigee, quali doline e "lapiez", che da forme ipogee, quali condotte e cavità.

Il massiccio sembra essere un'unica struttura idrogeologica. Infatti, abbiamo escluso possibili collegamenti con strutture idrogeologiche adiacenti. Considerando, infatti, che la direzione preferenziale di deflusso delle acque sotterranee è SE-NO, possiamo trascurare i travasi verso Nord (Complesso calcareo Monte Forcella).

Per quanto riguarda la zona Est, nel Vallo di Diano, osservando le quote di sfioro delle sorgenti del Massiccio del Cervati e quelle dei Monti della Maddalena, si è notato che queste ultime risultano essere a quota più alta e quindi ci portano ad escludere un possibile collegamento idrogeologico delle due strutture (Nicotera – De Riso, 1968).

L'unico probabile collegamento della nostra struttura idrogeologica è verso Ovest, attraverso il Graben di Magliano, verso il complesso calcareo del Monte Vesole.

Inoltre osservando la topografia del Massiccio del Cervati abbiamo rilevato numerosi bacini chiusi, alcuni dei quali drenati da inghiottitoi. Alcuni bacini invece smaltiscono molto lentamente l'acqua piovana, causando la formazione di laghi che perdurano dall'inizio della stagione piovosa fino ad Aprile.

Le caratteristiche stratigrafico-strutturali appena compendiate, implicano un acquifero carbonatico dotato di un'elevata permeabilità per fessurazione e carsismo, comportando dei coefficienti di infiltrazione elevati (c.i.p. 90-95%), e limitato, lateralmente, dai depositi terrigeni miocenici e dalle Unità Interne, nell'insieme pressoché impermeabili. Il deflusso idrico sotterraneo si può ipotizzare con la presenza di un'unica falda profonda, con un gradiente compreso tra lo 0,5-1%, come può essere dedotto dalle quote delle sorgenti principali, poste a contatto delle formazioni carbonatiche con quelle terrigene.

Dall'analisi topografica dell'area e supportato dall'ausilio delle aerofotogrammetrie sono state evidenziate, sulla base di osservazioni di carattere strutturale, le principali direttrici. Queste confermano quanto desunto dallo studio geomorfologico, dove si evidenzia che gli elementi strutturali sono delle direzioni preferenziali della circolazione idrica sotterranee o di ostacolo, se è presente una vasta fascia cataclastica. In particolare è stata individuata una faglia che passa in prossimità dello Scanno dei Vallicelli e che taglia la struttura con andamento SE-NO, che funge da spartiacque sotterranee, tra la zona occidentale carbonatica e flisciodi, delimitando due bacini idrogeologici indipendenti.

Le principali sorgenti sono poste ad una quota media di 460 m s.l.m.

La circolazione idrica sotterranea è notevolmente condizionata dal punto più depresso della cintura, che mette in contatto la struttura carbonatica con le formazioni terrigene.

Infatti, mentre nel settore orientale il contatto tra le alluvioni del Vallo di Diano e la struttura carbonatica è a quota 450 m s.l.m., nel settore occidentale del rilievo, laddove la cintura impermeabile raggiunge la quota più bassa (quota 325 metri s.l.m.), è presente il principale recapito della falda di base, rappresentato, lungo l'incisione del Torrente Sammaro presso Sacco, dall'omonima sorgente, caratterizzata da un regime abbastanza variabile e da portate difficilmente inferiori ai 500 l/s..

Diversamente, i Monti della Maddalena (Est del Vallo di Diano) costituiscono una stretta dorsale allungata ben continua e delimitata tra la Valle del Tanagro e quella dell'Agri; essi sono bordati ad oriente e nel corpo della dorsale, in finestra tettonica, dalla serie calcareo-silico-marnosa che costituisce il substrato impermeabile dei massicci calcareo-dolomitici.

Lungo la dorsale orientale del Vallo di Diano, l'elemento strutturale di maggiore importanza, è una grossa faglia che va da Polla a Padula. In questa disgiunzione si realizza il contatto fra la serie calcareo-dolomitica permeabile ed i depositi fluvio-lacustri antichi e recenti. Grazie a questo contatto si deve la venuta a giorno di quasi tutte le manifestazioni sorgentizie, che si possono classificare come "sorgenti per soglia di permeabilità sovrimposta". Tra queste sorgenti menzioniamo, data la vicinanza all'area oggetto di studio, la sorgente di S. Giovanni in Fonte, la sorgente di S. Giovanni, S. Golfo e Taverna-Conca Grande.

Da alcuni studi e analisi idrogeologiche condotti in sito, in particolar modo nello studio geologico allegato al PUC Comune di San Rufo a cura del geol. Siervo, si evince che i terreni più superficiali sono dotati

di scarsa permeabilità; poiché è presente una buona componente di frazione argilloso-limosa, i terreni possiedono una notevole porosità, mentre la permeabilità risulta essere modesta a causa del ridottissimo diametro dei meati intergranulari.

Considerato l'oggetto del progetto, ovvero la mitigazione del rischio idrogeologico attraverso interventi sul sistema di regimazione delle acque meteoriche nel centro abitato si è reso necessario individuare gli impluvi che presentano maggiore pericolosità idrogeologica e il relativo bacino imbrifero.

In accordo con l'Ufficio tecnico comunale sono state individuati gli impluvi interessati dagli interventi. Gli impluvi individuati sono 3 che ricadono nell'are abitata.



Figura 5 - Ubicazione impluvi naturali

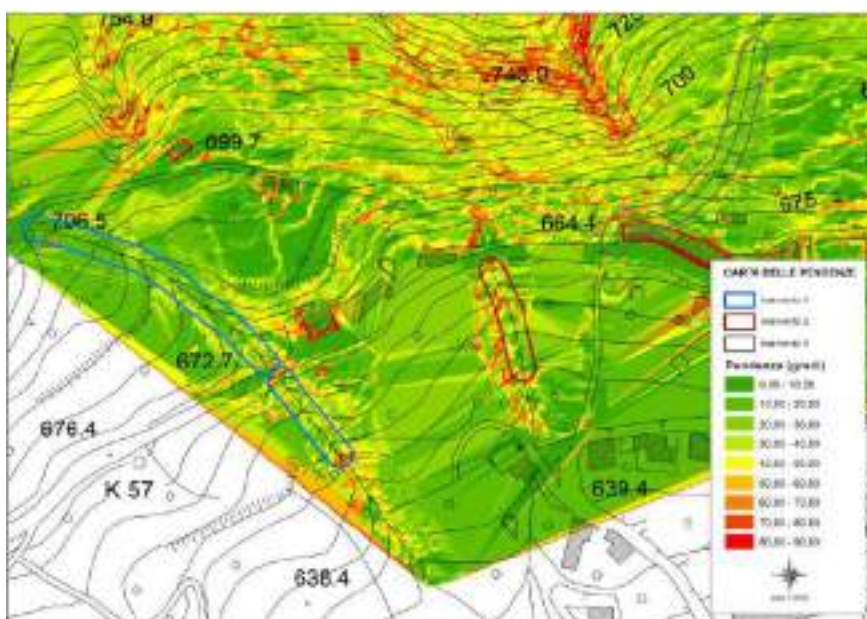


Figura 6 - Carta delle pendenze

Di questi tre si è definito il bacino imbrifero, ovvero la porzione di territorio che raccoglie le acque meteoriche, sui tre impluvi considerati solo uno merita un approfondimento poiché presenta una bacino imbrifero di 1 Km² circa con notevoli dislivelli. Nella carta idrologica si è individuato il bacino rispetto ad una sezione ubicata sulla strada statale poco a monte dell'abitato in prossimità di un tombino stradale. L'estensione del bacino giustifica i continui fenomeni di alluvionamento che si verificano a seguito di eventi pluviometrici.

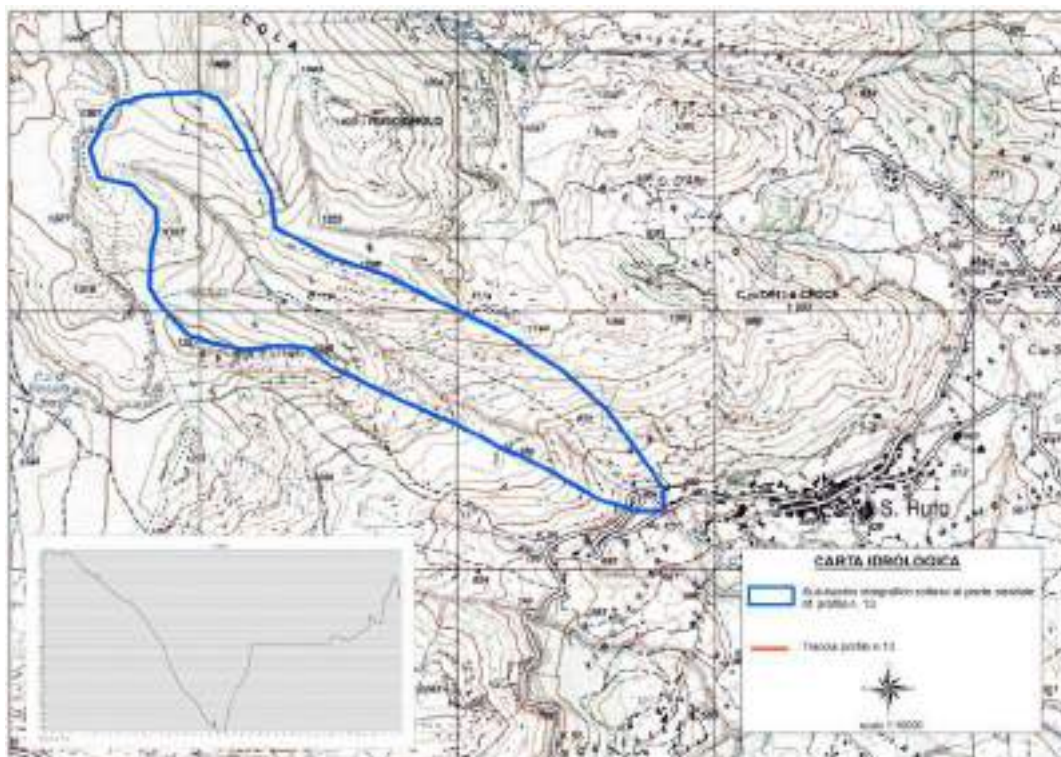


Figura 7 - Carta idrologica relativa all'intervento n. 1

5) LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

A livello comunale il modellamento geomorfologico del territorio comunale di San Rufo è strettamente influenzato dall'assetto litologico e strutturale del substrato.

I principali complessi litologici in affioramento condizionano e controllano maggiormente l'evoluzione dei versanti. In corrispondenza delle zone di affioramento delle facies carbonatiche l'erosione è meno selettiva, il rilievo si fa più aspro, con valli strette ed incassate e versanti spesso molto ripidi. Tale situazione si riscontra nella porzione sud-occidentale del territorio comunale.

Al contrario, nei versanti dove affiorano facies arenaceo-pelittiche, l'erosione si fa più selettiva e le conformazioni dei versanti risultano meno ripide, le creste sono arrotondate, le valli ampie ed in generale si ha una morfologia meno accidentata. Tale paesaggio si denota nella parte più settentrionale, al margine tra il Comune di San Rufo e San Pietro al Tanagro.

L'acclività dei versanti è notevolmente influenzata anche dall'assetto geometrico degli strati; nel rilievo monoclinico di Cozzo della Croce e Russignolo l'immersione degli strati verso NE determina la

formazione di lunghi versanti esposti a Sud e Sud-Ovest ad elevata inclinazione coincidenti con l'andamento degli strati a reggipoggio; meno acclivi sono i versanti meridionali alle spalle del rilievo strutturale di Cocuzzo delle Puglie.

Attraverso una dettagliata analisi della sagoma morfologica del versante e l'analisi e interpretazione della cartografia disponibile per il territorio l'Autorità di Bacino del Sele – Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale è riuscita ad individuare cartografare su base topografica i principali fenomeni franosi che caratterizzano il territorio comunale.

Le ripide pareti orientali e meridionali dei versanti di Serra Nuda e Cozzo della Croce rappresentano i principali settori su cui porre maggiore interesse in quanto a ridosso del centro storico di San Rufo e della principale viabilità intercomunale.

Tra le principali aree a maggiore pericolosità idrogeologica bisogna porre, in questa sede l'attenzione sull'area compresa tra Serra Nuda-Russignolo-Cozzo della Croce poiché il suddetto versante è caratterizzato sia dalla presenza di elementi geomorfologici come la cornice morfologica, un area di versante avente una pendenza considerevole, zona interessata dal distacco ed al transito di massi, le conoidi detritiche formatesi dall'accumulo di materiale proveniente dalle concavità presenti sul versante calcareo e gli accumuli detritico-colluviali in concavità morfologiche, lungo il versante e a ridosso degli impluvi in quali esplicano un importante ruolo nel mantenimento dell'equilibrio geomorfologico del versante.

La dinamica dell'evoluzione del versante è da ricercare nel fenomeno di arretramento rettilineo parallela a partire da lineamenti stratigrafico-strutturali, come faglie-strato e faglie dirette.

L'attuale andamento morfologico del versante e le tendenze morfo-evolutive risultano strettamente connesse con la morfogenesi recente del sistema "versante montagnoso-pedimonte-fondovalle"

Diversi studi scientifici hanno evidenziato che i bassi angoli di acclività (intorno a 20°) ed il profilo trasversale uniforme derivano dal carattere deposizionale assunto dal versante durante le fasi fredde, in coincidenza delle quali prevaleva la produzione di detrito grossolano dal fronte montagnoso, ridistribuita lungo il piedimonte sotto forma di conoidi di deiezione e falde di detrito anastomizzate, fino a formare una copertura detritica continua, del tipo descritto in letteratura come "glacis d'accumulation" su di una morfologia preesistente, già articolata in valli e crinali.

Queste coperture detritiche antiche, durante le fasi di approfondimento del reticolo drenante, sono state progressivamente smantellate secondo meccanismi erosivi a partire dagli impluvi secondari.

L'assetto generale di tale settore di pianura è da considerarsi fondamentalmente stabile dal punto di vista morfologico a discapito di un più concreto rischio dal punto di vista idraulico.

L'area di ubicazione della struttura è posta ad una quota variabile tra i 700 e gli 800 metri s.l.m. e ricade nella località Valle del comune di San Rufo.

Nell'area oggetto del presente studio, le caratteristiche morfologiche d'insieme del settore esaminato e l'analisi degli elementi morfologici minori non consente di escludere la presenza di fenomeni di

instabilità legati sia al distacco che transito di corpi calcarei ma anche all'azione erosivo operata dalle acque incanalate negli impluvi ad andamento irregolare.

Soprattutto questo fenomeno nella zona di indagine rappresenta uno degli elementi di pericolosità geomorfologica tali da richiedere, al fine di mitigare il rischio idrogeologico del centro abitato, la necessità di regimentazione le acque meteoriche superficiali raccolte in alcuni impluvi che attraversano il centro abitato.

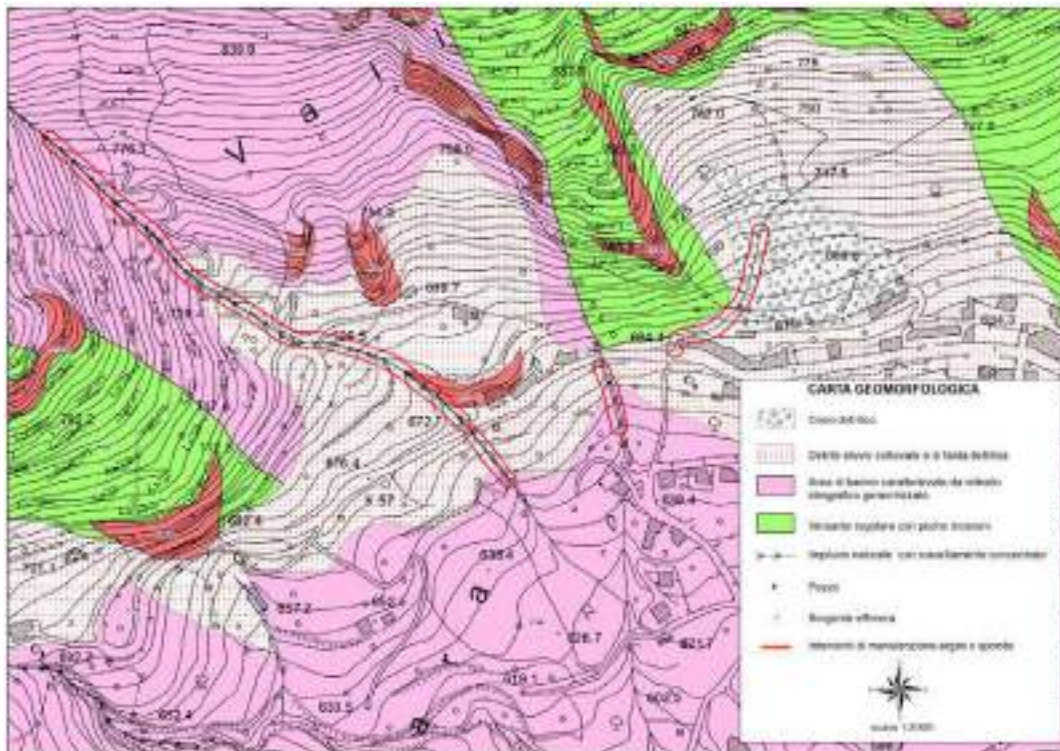


Figura 8 - Carta geomorfologica dell'area

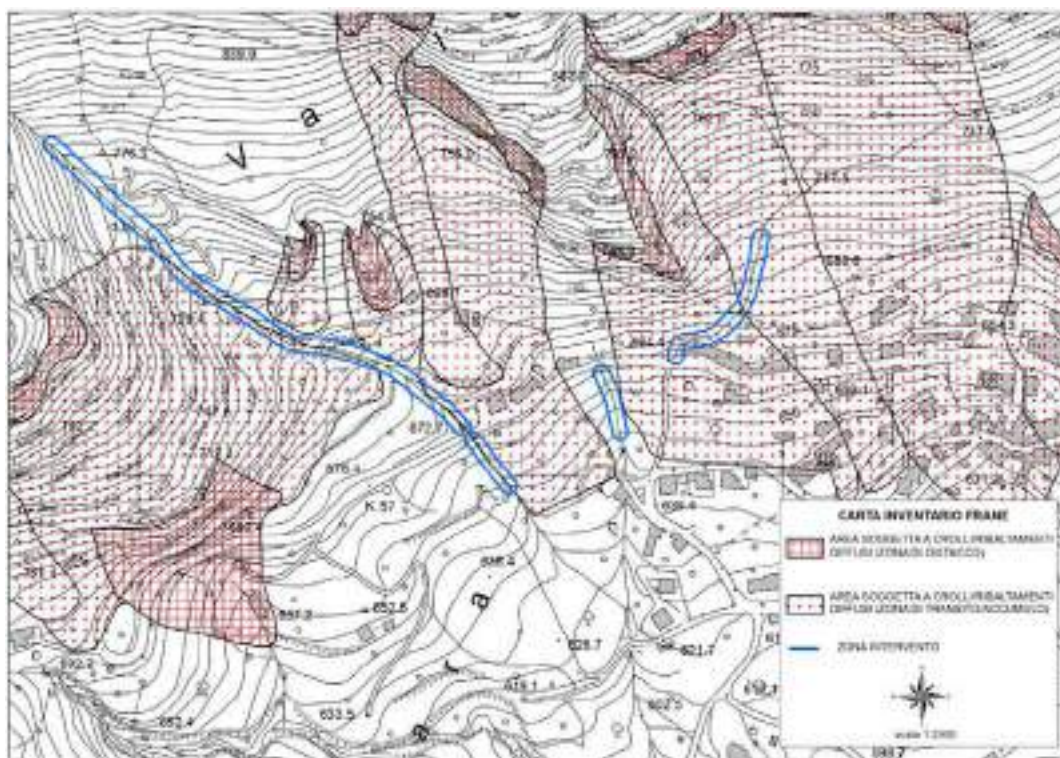


Figura 9 - Carta inventario delle frane

6) CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO

Per la caratterizzazione dei terreni in situ, considerata la tipologia del progetto, si è reso necessario condurre una campagna geognostica che, unitamente ai dati esistenti in letteratura e ai dati acquisiti durante i rilievi in situ, ci ha consentito di determinare le caratteristiche stratigrafiche e meccaniche dei terreni in affioramento.

Le indagini eseguite sono consistite in:

- **n. 1 sondaggio geofisico di sismica superficiale tipo MASW;**
- **n. 1 sondaggio sismico a rifrazione – tomografia sismica;**
- **n. 2 Prove penetrometriche pesanti tipo DPSH;**
- **n. 1 pozzetto geognostico per prelievo di campione indisturbato;**
- **n. 1 analisi geotecnica di laboratorio sul campione.**

L'ubicazione è riportata sulla **Carta delle ubicazioni delle indagini** allegata alla presente relazione.

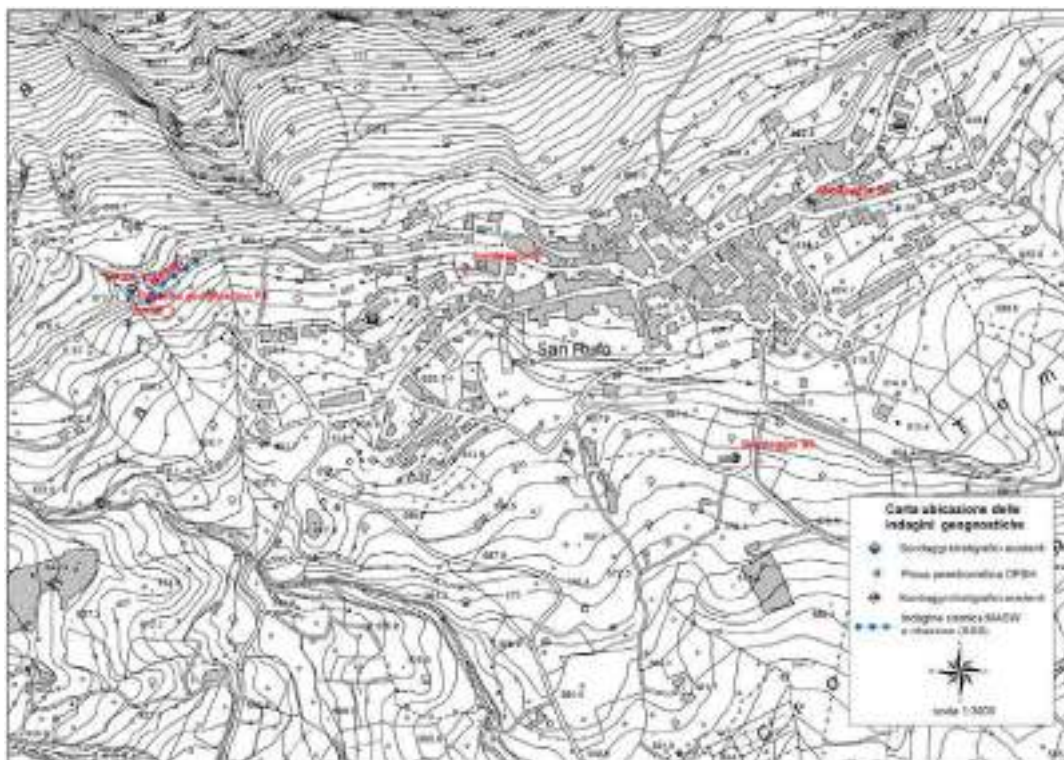


Figura 10 - Carta ubicazione indagini geognostiche

Tutti i sondaggi e le prove geognostiche sono stati ubicati considerando i seguenti fattori:

- la necessità di caratterizzare, dal punto di vista stratigrafico, i terreni che sono sottoposti direttamente al carico della struttura in progetto;
- l'esigenza di caratterizzare, in diversi punti, i terreni affioranti per ricostruire un valido modello geotecnico.

Nell'ambito delle indagini geognostiche per il progetto esecutivo per realizzazione Centro di raccolta Comunale in loc. Curcio di Moliterno, sono state eseguite delle indagini geofisiche. In particolare è stata realizzata una prospezione sismica superficiale del tipo M.A.S.W (Multichannel Analysis of Surface Waves) e una tomografia elettrica. La sismica del tipo MASW permette la determinazione della Velocità Equivalente delle onde di taglio dei terreni superficiali, al di sopra del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/sec ($V_{s,eq}$), per stabilire la categoria del suolo di fondazione del sito e quindi per definire l'azione sismica di progetto. Le direttive delle NTC 2018 attribuiscono alle diverse località del Territorio Nazionale un valore di scuotimento sismico di riferimento espresso in termini di incremento dell'accelerazione al suolo e propongono l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo mediante cinque tipologie (A – B – C – D – E) di suolo.

5.1) SONDAGGIO SISMICA A RIFRAZIONE TIPO MASW;

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh in onda P (MASW), è una prospezione sismica che serve per la determinazione delle velocità delle onde di taglio V_s . Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un sismografo multicanale.

Queste onde durante la loro propagazione sono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso appositi algoritmi sfruttando la capacità dispersiva delle onde superficiali, basate sul riconoscimento di modelli multistrato di terreno. La procedura consiste di 3 passi fondamentali: Acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (mazza battente su piastra), e/o rumore di fondo, lungo uno stendimento.

5.2) PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE ONDA P

Il metodo della sismica a rifrazione è basato sulla misura del tempo necessario affinché la perturbazione elastica, indotta nel sottosuolo da una determinata sorgente di energia, giunga agli apparecchi di ricezione (geofoni) percorrendo lo strato superficiale a bassa velocità (con onde dirette) e le superfici di strati a velocità crescente con la profondità (onde rifratte).

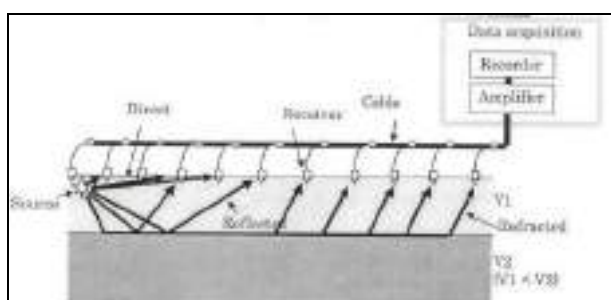


Figura 11 Principio fisico della sismica a rifrazione

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni sismiche è costituita da una serie di geofoni (24) spaziati regolarmente lungo un determinato allineamento e da un cronografo che registra l'istante di partenza della perturbazione ed i tempi di arrivo delle onde a ciascun geofono. La registrazione, sia del momento della battuta sia del segnale amplificato da ciascun geofono, avviene simultaneamente su un unico diagramma.

Gli stendimenti, di cui alla premessa, sono stati realizzati mediante l'utilizzo di geofoni Sensor Geospace con frequenza di 4,5 Hz e distorsione del 0.05%, testati ad aprile 2018.

Per tale lavoro è stata utilizzato un sismografo DAQLink III della SeismicSource, composta da una unità di acquisizione a 24 canali con un convertitore sigma delta ad alta velocità a 24 Bit, dotata di memoria per la cumulabilità degli impulsi. Mentre i geofoni verticali impiegati hanno una frequenza propria di 4,5 Hz ad interasse di 1,5 m.

5.3) POZZETTO ISPEZIONE GEOGNOSTICA E PRELIEVO CAMPIONE INDISTRUBATO;

Tra le indagini geognostiche è stato eseguito uno scavo alla profondità di 2.00 metri nel corso del quale è stato prelevato un campione indisturbato in fustella (C1S1 h= 2.00-2.50) per le analisi geotecniche di laboratorio. Lo scavo è stato eseguito in corrispondenza dei depositi eluvio colluviali trasportati dall'acqua lungo l'impiuvio osi come indicato nella carta delle ubicazione delle indagini geognostiche.

Il campione, dopo il prelievo è stato portato in laboratorio per le analisi e su di essi sono state eseguite le seguenti analisi:

- proprietà indici e classificazione granulometrica;
- Taglio diretto per la determinazioni delle caratteristiche meccaniche in condizioni di picco;

Taglio residuo con ciclo di n, 6 carichi e scarichi.

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva con i valori dei parametri determinati per entrambi i campioni:

MODULO RIASSUNTIVO

Umidità naturale	16,0	%
Peso di volume	18,6	kN/m ³
Peso di volume secco	16,1	kN/m ³
Peso di volume saturo	20,0	kN/m ³
Peso specifico	26,7	kN/m ³
Indice dei vuoti	0,662	
Porosità	39,8	%
Grado di saturazione	66,0	%
Limite di liquidità	45,2	%
Limite di plasticità	26,5	%
Indice di plasticità	18,8	%
Indice di consistenza	1,26	
Passante al set. n° 40	58	
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

σ	kPa	σ_{rim}	kPa
c_u	kPa	$c_{u, rim}$	kPa

Prova consolidata-lenta				
σ'	20,3	kPa	ϕ'	30,7 °
σ'_{Res}	11,1	kPa	ϕ'_{Res}	25,5 °

C.D.	\hat{c}_d	kPa	$\hat{\phi}_d$	°
C.U.	\hat{c}'_{cu}	kPa	$\hat{\phi}'_{cu}$	°
	\hat{c}_{cu}	kPa	$\hat{\phi}_{cu}$	°
U.U.	\hat{c}_u	kPa	$\hat{\phi}_u$	°

Ghiaia	37,5	%
Sabbia	36,5	%
Limo	17,8	%
Argilla	9,0	%
D 10	0,00614	mm
D 50	1,969896	mm
D 60	4,051388	mm
D 90	19,300950	mm
Passante set. 10	50,7	%
Passante set. 42	36,6	%
Passante set. 200	26,0	%

σ kPa	E kPa	Cv cm ² /sec	k cm/sec

Coefficiente k	cm/seg
----------------	--------

Classificazione A.G.I. del campione: Ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa.



Dott. Geol. Rocco Spagnuolo

5.4) INDAGINI ESISTENTI

Al fine di caratterizzare alcuni litotipi non interessati dalle indagini geognostiche sono stati presi in considerazione le indagini stratigrafiche e meccaniche allegate allo studio geologico del Piano Urbanistico Comunale a cura del geol. Siervo. I sondaggi stratigrafici e i relativi parametri meccanici di riferimento sono indicati nella carta di ubicazione delle indagini e i report sono allegati al Rapporto Tecnico di Indagine.

5.5) MODELLO GEOTECNICO AMBITO SIGNIFICATIVO

Il modello geotecnico di riferimento per l'area interessata dai lavori in progetto è stato definito in funzione delle litologie prevalenti ed è stato determinato sulla base dei profili stratigrafici ricostruiti attraverso le indagini geognostiche e le risultanze delle indagini sismiche eseguite sul sito.

Oltre ai dati stratigrafici concorrono alla realizzazione del modello anche i risultati dei rilievi geomorfologici, geologici e geotecnici esistenti, in modo particolare le indagini allegate allo studio geologico del PUC comune di San Rufo a cura del geol. Siervo.

Sulla scorta dei suddetti rilievi è stato definito la sezione geologica sulla quale eseguire le verifiche di stabilità, sono stati altresì definite le unità litotecniche fondamentali, cioè quelli direttamente interessati dal carico di progetto "volume significativo" con i relativi spessori.

Le NTC e le relative istruzioni suggeriscono solo l'uso dei parametri caratteristici per i pendii naturali, infatti a tal proposito occorre definire, per ogni unità geologica classificata i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche.

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

Nelle sezioni geologiche costruite sulla base dei profili topografici di progetto, che in questo caso chiameremo modello geologico risultano le tre unità geotecniche individuate dai rilievi in situ e caratterizzate durante la campagna geognostica.

I parametri meccanici caratteristici da assegnare alle unità stratigrafiche individuate prendono origine nel seguente modo:

Unità stratigrafica	descrizione	Origine dei dati meccanici
b2	Detrito eluvio colluviale	campagna geognostica eseguita in situ
a3	Detrito di falda	Studio geologico PUC
UARb	Arenarie sabbioso conglomeratiche	Studio geologico PUC

Tabella 1 Fonti dei dati per modello geotecnico

Pertanto in accordo con i valori delle proprietà meccaniche determinati dalla campagna geognostica e quelli riscontrati dalla letteratura la cui origine è indicata nella tabella 1, come sopra descritto possiamo

definire i parametri meccanici significativi di ogni unità litotecnica come media dei valori riscontrati per i singoli parametri di resistenza.

I risultati derivanti hanno permesso l'assumere un modello geotecnico delle terre ad uno strato le cui caratteristiche principali sono riassunti nella tabella che segue:

LITOLOGIA	SPESSORE (M)	GAMMA (KN/mc)	Phi (°)	COESIONE (KPa)	Phi residuo	Coesione residua
U.G.1 Depositi eluvio colluviali	4	18.6	30	20	25	0
U.G.1 Detriti di falda	30	19.30	27	22	n.d.	n.d.
U.G.1 Arenarie sabbiose conglomeratiche	20	16.4	24	20	n.d.	n.d.

Tabella 2 - Modello geotecnico ai sensi delle NTC 2018

Si dichiara che i parametri geotecnici sono da intendersi parametri caratteristici i cui valori saranno usati come riferimento per le verifiche di sicurezza in accordo con la normativa sismica vigente, ovvero le NTC 2018.

7) CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO AI SENSI DEL D.M. 14.01.2018

In base ai dati di letteratura i terremoti più significativi che hanno interessato il territorio comunale con diverse intensità sono :

- In epoche più recenti l'area è stata interessata dal terremoto Campano-Lucano del 23.11.1980 con intensità $I = 6,9$ della Scala M.C.S., come risulta anche dal catalogo dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia. In base a questo sintetico elenco di dati, è possibile concludere che, per il territorio comunale di San Rufo, è da prevedere una intensità macrosismica di VIII.
- Questo risultato concorda con la "Proposta di riclassificazione sismica del Territorio Nazionale" (Pubblicazione N. 361) del Progetto Finalizzato Geodinamica C.N.R., dove si propone l'inserimento del territorio comunale di San Rufo in Zona Sismica dato che lo stesso " ha sperimentato a partire dal 1° anno 1000 una intensità massima $I_{max} = VIII$.

La classificazione sismica del sito viene effettuata in relazione ai dettami tecnici contenuti nelle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018 che disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza degli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni. Lo scopo delle norme è di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile. La norma è stata redatta considerando due tipologie di verifiche.

A- sicurezza nei confronti della stabilità (stato limite ultimo - LSU) e cioè che sotto l'azione sismica di progetto, le strutture degli edifici compresi gli eventuali dispositivi antisismici di isolamento e/o dissipazione, pur subendo danni di grave entità agli elementi strutturali e non strutturali, devono

mantenere una residua resistenza e rigidità delle azioni orizzontali e l'intera capacità portante nei confronti dei carichi verticali.

B- protezione nei confronti del danno (stato ultimo di danno - SLD) che significa che le costruzioni nel loro complesso, inclusi gli elementi strutturali e non devono subire danni gravi ed interruzioni d'uso in conseguenza di eventi sismici che abbiano una probabilità di occorrenza più elevata di quella dell'azione sismica di progetto.

Per quanto riguarda il sito che ospita l'intervento i terreni in essi presenti dovranno, in generale essere esenti da rischi di instabilità di pendii e di cedimenti da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di terremoto. Lo scopo delle indagini geognostiche è quello di classificare il terreno di fondazione nelle diverse categorie sulla base di valori determinati sul terreno come la V_{s30} che è la velocità media di propagazione entro i 30 metri di profondità delle onde di taglio e viene definita come:

$$V_{seq} = \frac{30}{\sum h_i / V_i}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Le categorie elencate nella normativa sono:

Suolo	Descrizione geotecnica	V_{s30} (m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	>800
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).	360-800
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	180-360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).	<180
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).	-
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	<100
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.	-

Tabella 3 - Schema di riferimento per classificazione sismica del sito

In aggiunta a queste categorie vengono definite le azioni sismiche da considerare nella progettazione per le quali sono richiesti studi dettagliati per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1- depositi costituiti da o che includono almeno 1 metro di argille/limi di bassa consistenza;

S2- depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Per i terreni soggetti a liquefazione si determina la suscettività alla liquefazione se in caso di fondazioni superficiali e in caso di terreni sabbiosi la profondità della falda è superiore a 15 metri di profondità dal p.c. La suscettibilità alla liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dell'ingegneria geotecnica e basati su correlazioni empiriche di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio massimo che si deve fornire al terreno per portarlo a liquefazione. Se il terreno risulta suscettibile a liquefazione e gli effetti conseguenti appaiano tali da influire sulla capacità portante o sulla stabilità delle fondazioni, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno più consistenti tramite fondazioni profonde.

Ai fini dell'applicazione di questa norma il territorio nazionale è stato suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g = accelerazione orizzontale massima su suolo. I valori di a_g espressi in frazione dell'accelerazione di gravità g da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono:

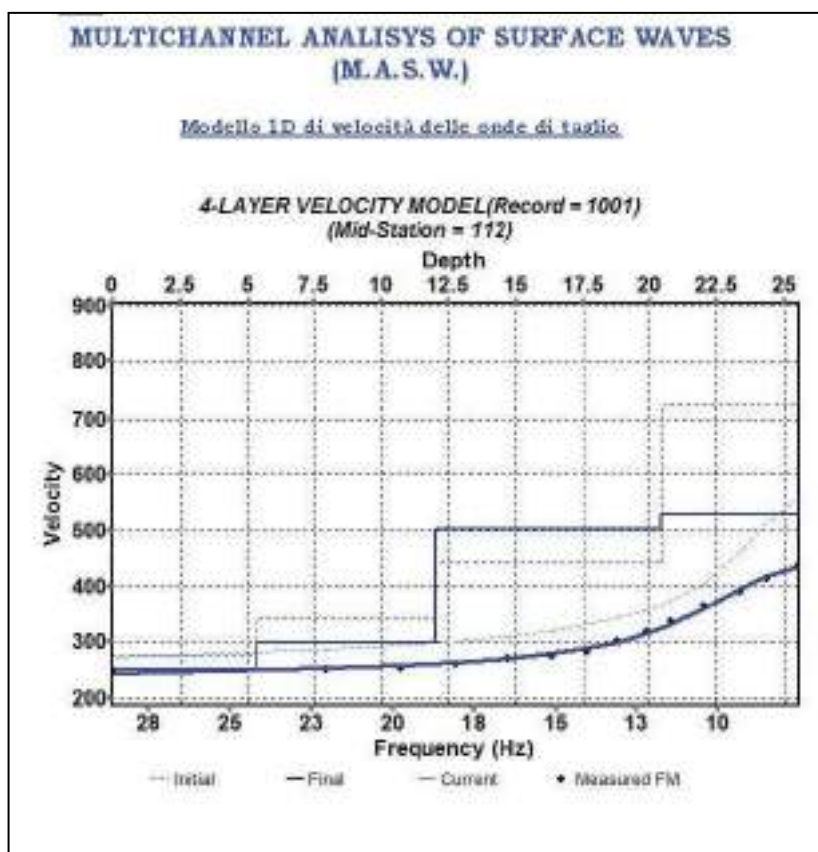
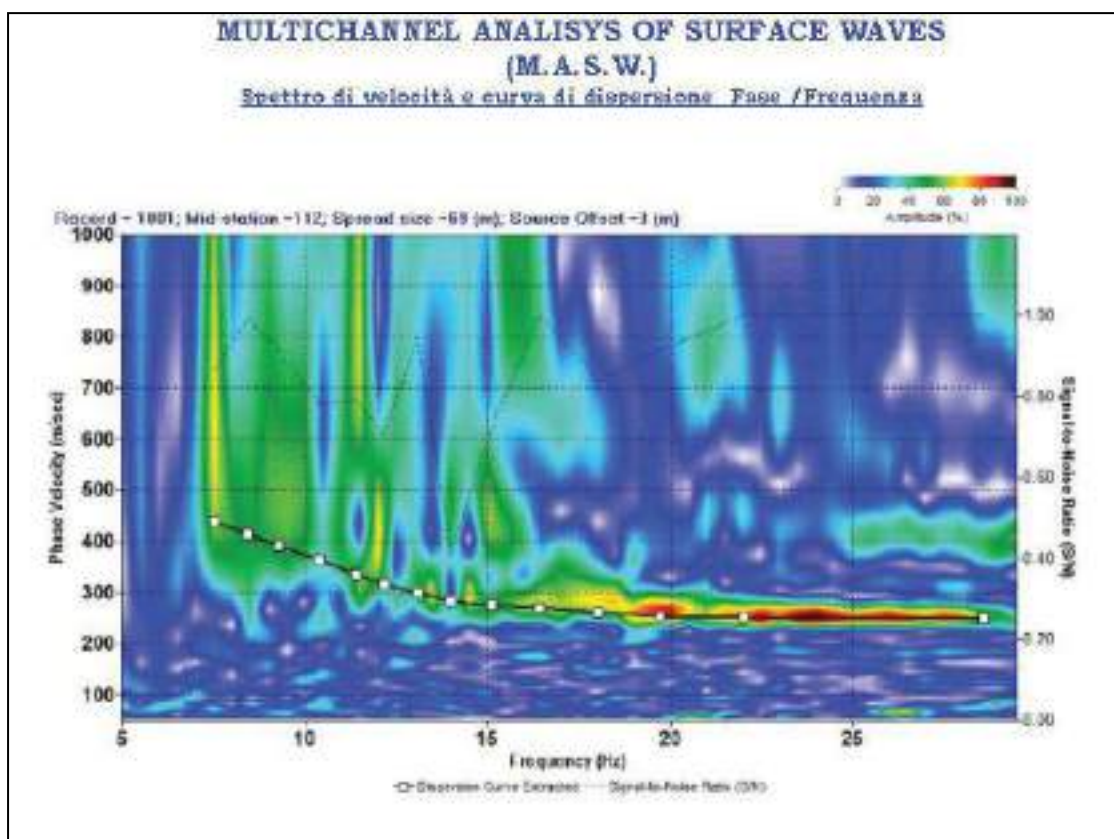
Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico
1	$0,25 < a_g \leq 0,35g$	0,35g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25g$	0,25g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15g$	0,15g
4	$\leq 0,05g$	0,05g

Tabella 4 - Zona sismica - Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)

I suddetti valori sono illustrati nella mappa della pericolosità sismica in Italia dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), i cui fogli sono stati prodotti per ogni regione e dalla quale si evince che, nell'ambito della stessa categoria sismica, vi sono delle fasce intermedie nelle quali il valore di a_g varia da zona a zona.

Il territorio comunale di San Rufo (SA) rientra nei comuni classificati nella seconda categoria, quindi ai fini della determinazione degli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale si assume un'accelerazione di progetto pari a 0,25 g.

Ai fini della classificazione sismica del sito è stato considerato un sondaggio di tipo MASW eseguito nell'area d'indagine, come indicato nel paragrafo 5.



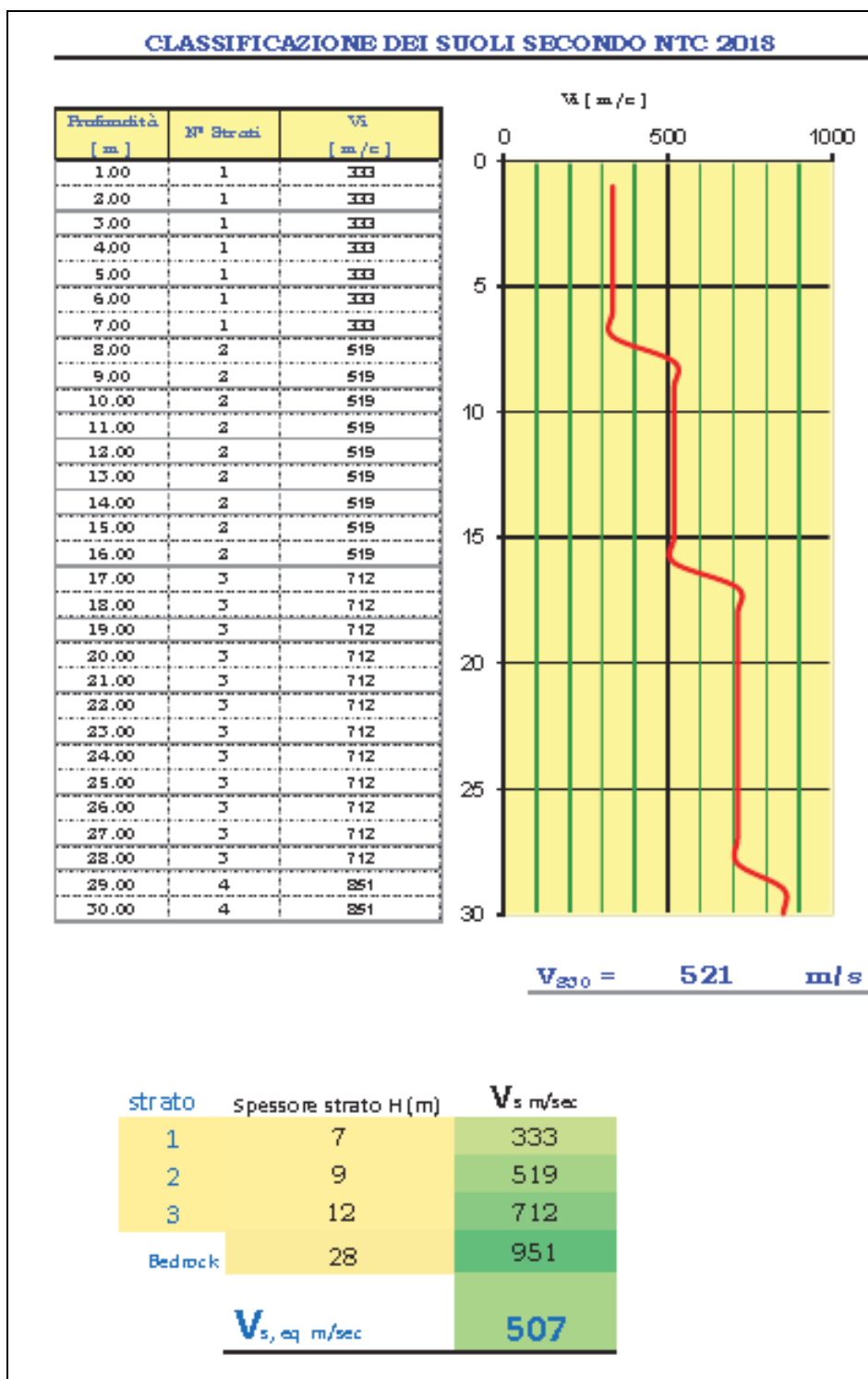


Figure 6 - Modello sismostratigrafico del sito

Sulla scorta delle risultanze della prova è stata determinata, in accordo con la normativa vigente la V_{s30}, che fornisce un valore per il profilo sismostratigrafico determinato empiricamente di:

$$\underline{V_{s30} = 507 \text{ m/s}}$$

Sulla base dei risultati il suolo di fondazione si classifica come appartenente alla **categoria B**, mentre la categoria sismica alla quale appartiene il comune di Moliterno è la 2° categoria.

Con l'introduzione del nuovo metodo di calcolo della pericolosità sismica del sito, l'accelerazione deve essere determinata adottando le indicazioni riportate nel D.M. 14.01.2018.

Per l'amplificazione topografica, in riferimento alla pendenza media del versante lo stesso è classificato nella **classe T2**.

Il valore corrispondente alla suddetta classe deve essere considerato nelle verifiche di sicurezza sia per le verifiche di sicurezza della struttura e delle fondazioni.

8) ANALISI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA DELL'AREA .

Definire la pericolosità geomorfologica di una area bisogna partire dagli elementi di rischio idrogeologico presenti. Ebbene nell'area di indagine l'Autorità di Bacino del basso Sele che rientra nell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Meridionale ha classificato gli elementi di rischio riportati della carta del rischio frana di seguito illustrata.

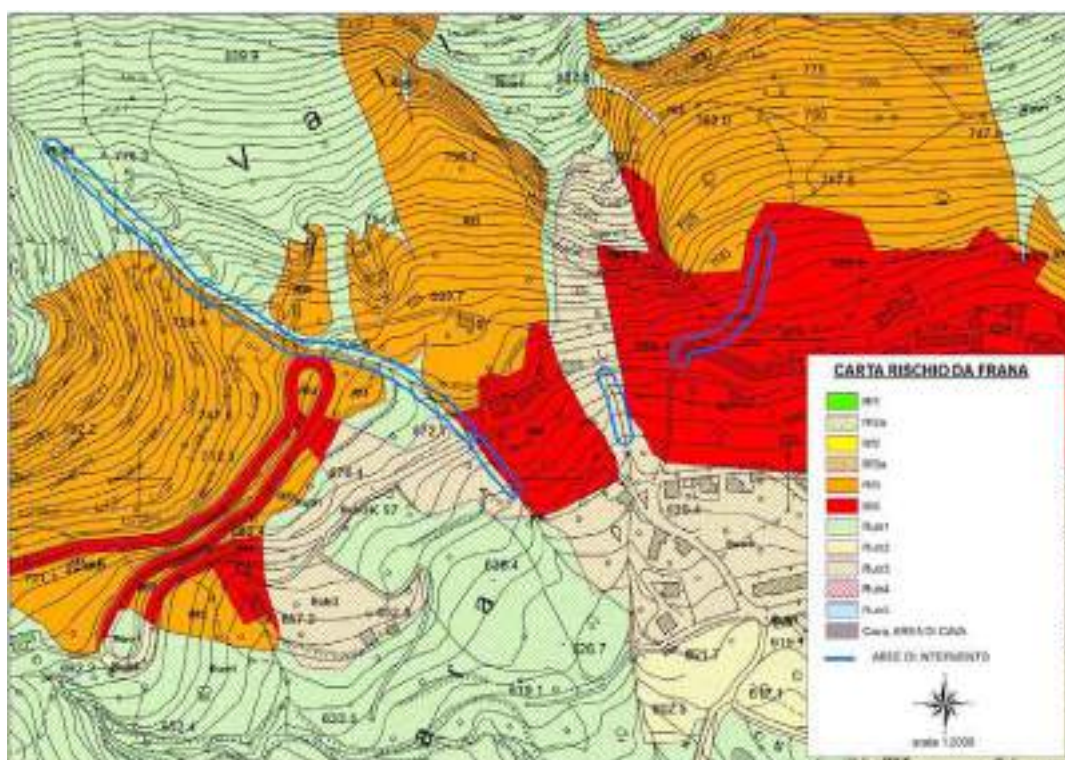


Figura 13 - Carta del rischio frana

L'area direttamente interessata dai lavori previsti nel presente progetto ricade in parte in area a rischio frana Rf4 e rischio frana Rf3. **A tal proposito bisogna registrare che i suddetti lavori avendo come finalità la mitigazione e quindi, la riduzione del rischio idrogeologico dell'area, sono ammissibili come indicato nell'articolo 14 delle Norme Tecniche di Attuazione del PSAI di riferimento.**

L'area interessata dai lavori di mitigazione è limitata alla zona di impluvio dei fossi che ospiteranno i presidi tecnici per la mitigazione del rischio idrogeologico indicati nella carta delle pendenze, rispettivamente come: intervento 1, 2 e 3. L'intervento 1 interessa buona parte del fosso che a partire dal centro abitato in prossimità di via Roma (quota 640 m circa s.l.m.) risale fino a quota (800 circa m s.l.m.), gli altri interventi sono localizzati negli impluvi prossimi al centro abitato di cui il n. 3 è ubicato nella porzione di impluvio che si sviluppa sul lato monte del fabbricato di proprietà comunale.

Sulla scorta dei sopralluoghi eseguiti sul sito, dalle cartografie tematiche: geologica, geomorfologica, rischio frana, pericolosità geomorfologica e inventario delle frane realizzate dal sottoscritto in questo studio emerge che il territorio interessato dal progetto è caratterizzato dalla presenza dell'unità stratigrafica dei Detriti di falda che ricoprono, per una buona estensione, la formazione dei calcari bianco grigiastri del miocene inferiore e le unità arenacee sabbioso conglomeratiche (miocene medio , superiore).

Il contatto tra le due formazioni mioceniche, che attualmente è obliterato dai detriti è di tipo tettonico pertanto si suppone che al di sotto dei detriti di falda ci sia un lineamento tettonico che non affiora, almeno nell'area di indagine, in superficie. In questo contesto geologico-geomorfologico bisogna inquadrare il ruolo che ricoprono i detriti di falda nella stabilità globale del versante e del centro abitato. I suddetti detriti derivano dalla disgregazione dei calcari e poggiano, unitamente ai detriti colluviali sulle suddette formazione in condizioni di equilibrio geomorfologico relativamente stabili.

Le condizioni di instabilità sono legati, principalmente a due condizioni, infatti laddove i suddetti termini non sono interessati: dall'approfondimento del reticolo idrico superficiale a causa degli eventi pluviometrici e da carichi e/o si possono verificare delle colate di materiale terrigeno misto a detriti e da movimenti legati al distacco e al transito dei massi calcari che si staccano dalle cornici geomorfologiche che sussistono nell'area.

Rispetto a queste due cause predisponenti, il presente progetto ha il principale obiettivo di mitigare la prima causa, sebbene il rischio caduta massi e transito è presente, questo aspetto viene affrontato da altri progetti di sistemazione idrogeologica gestiti dal comune di San Rufo e che affrontano, tra le altre problematiche anche la messa in sicurezza delle pareti calcari che costituiscono le cornici geomorfologiche e che insistono sul centro abitato. I suddetti progetti sono in esecuzione.

Pertanto rispetto a questo elemento predisponente bisogna progettare i presidi tecnici atti a mitigare il rischio idrogeologico dell'area. Gli interventi interesseranno tre impluvi denominati rispettivamente: intervento 1, 2 e 3. Dai sopralluoghi eseguiti nei tre impluvi emerge una realtà simile infatti il reticolo idrografico presenta una pendenza elevata, pertanto in occasione di eventi pluviometrici eccezionali, in questi pendii si raccoglie un elevato quantitativo di acqua che si riversa in maniera torrentizia nel centro abitato provocando disagi alla popolazione, talora laddove l'evento persiste per lunghi periodi e si verifica la fuoriuscita di acqua dal letto dell'impluvio, il flusso di acqua si arricchisce di detriti e fango evolvendo a flusso rapido tipo *debris flow*.

Dal punto di vista idrogeologico il secondo e il terzo impluvio, rispetto alla carta delle pendenze presentano un piccolo bacino imbrifero, mentre l'impluvio n. 1 ha un bacino imbrifero ampio con un'estensione fino a 1 Km² e con una pendenza elevata, pertanto su questo impluvio bisogna concentrare la massima attenzione nella individuazione dei presidi tecnici atti a mitigare la causa scatenante dell'erosione del fosso.

Al fine di dimostrare la stabilità globale del versante è stato condotto una verifica di stabilità di pendio su una sezione che ricalca il profilo n. 21 di progetto, quello che si sviluppa alle spalle dell'edificio di proprietà comunale.

9) VERIFICA DI STABILITÀ DEL PENDIO AI SENSI DELLE NTC 2018

Le verifiche sono state eseguite, considerando la sezione sia allo stato di fatto estratta dal profilo di progetto n. 21 ed in accordo con le **NTC 2018** adottando la verifica nei confronti dello Stato Limite Ultimo (SLU) *"capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone, o comportare la perdita di beni, o provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera"* in modo particolare, nella condizione dinamica, la verifica è stata eseguita nei confronti dello SLV Salvaguardia della vita Umana che è quello indicato per le verifiche di stabilità.

In questa ottica nella verifica dello SLU-GEO è stata adottata la **combinazione 1 approccio 2** nella quale si amplificano le sole azioni variabili, e si riducono sia i parametri del terreno, sia le resistenze (GEO). Le Combinazioni sono formate da gruppi di coefficienti parziali γ con:

- A** = Azioni γ_F ; (tab. 6.2I delle NTC);
M = resistenza dei materiali (terreno) γ_M ; (tab. 6.2II delle NTC);
R = Resistenza globale del sistema γ_R , (tab. 6.4 e successive delle NTC).

A2	1 carichi permanenti (1)		
M2	1.25 (ϕ)	1.25 (c)	1 (γ)
R2	1.1 (stabilità globale);		

Tabella 5 - Parametri riferimento NTC 2018

⁽¹⁾ Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità (6.2.3.1.1).

La verifica della sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) di resistenza si ottiene con il "Metodo semiprobabilistico dei Coefficienti parziali" di sicurezza tramite l'equazione:

$$E_d < R_d$$

con:

Ed = valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto nelle varie combinazioni di carico;

Rd = resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate.

Per quanto riguarda la determinazione dell'azione sismica di progetto, definita ai sensi delle NTC, da applicare nelle verifiche si stabilì che è stata fatta con l'ausilio del software on-line della geostru sul sito www.geostru.it, la cui relazione di calcolo nella quale vengono riportate:

- ✓ le coordinate geografiche del sito;
- ✓ tipo di costruzione;
- ✓ vita nominale;
- ✓ la classe d'uso dell'immobile in presenza dell'azione sismica;
- ✓ Coefficiente d'uso C_u ;
- ✓ Periodo di riferimento per l'azione sismica VR

Una volta costruita la sezione litotecnica e adottato il modello geotecnico si è proceduto alla individuazione della metodologia da adottare per le verifiche. A tal proposito considerando che l'unità geotecnica dei detriti di falda presenta un comportamento geotecnico eterogeneo, ovvero il movimento della massa non può essere schematizzato secondo una superficie di forma circolare ma secondo una superficie cilindrica la cui estensione è stata individuata sul pendio in accordo con le probabili superfici di rottura tipiche delle colate rapide, quindi di basso spessore e forma allungata. .

Le verifiche sono state condotte applicando il metodo di **Jambu** che meglio si adatta per le superfici cilindriche. Per quanto riguarda la superficie piezometrica, considerato che dalle indagini non è risultata alcuna presenza non è stata considerata.

Alla luce delle considerazioni sopra esposte, dal modello geotecnico adottato per la sezioni litotecniche è stata eseguita la verifica di stabilità in condizioni ante operam o stato di fatto.

I risultati sono riportati nella tabella che segue:

VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SEZIONE LITOTECNICA – profilo n. 21	
superficie	FS STATO DI FATTO
1	1.00
2	1.10
3	1.07
4	1.08
5	1.03

Tabella 6 - Risultati verifica stabilità globale versante

Dal confronto tra i valori dei fattori di sicurezza che altro non rappresentano che la soluzione all'equazione riportata nel paragrafo precedente $Ed < Rd$ si nota che per tutte le superfici considerate, che

rappresentano le superfici che potenzialmente hanno un fattore di sicurezza minimo hanno un valore superiore al coefficiente R2, cioè maggiore a 1.

Infine, dai risultati delle verifiche di stabilità di pendio le cui relazioni di calcolo sono allegate al presente studio, possiamo che le condizioni di stabilità globale del pendio sono da ritenersi accettabili e suscettibili di miglioramenti legati, principalmente alla causa predisponente considerata.

10) COMPATIBILITA' GEOLOGICA E MITIGAZIONE DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA.

Nella zona in esame, osservando la carta geologica affiorano i terreni rientranti nell'unità stratigrafica dei detriti di falda e in alcune porzioni del versante i depositi eluvio colluviali.

Nel § 3 relativo all'analisi del contesto geologico e stratigrafico comunale sono stati affrontati gli aspetti relativi alla genesi e alle caratteristiche stratigrafiche. Mentre nei paragrafi §5 e §8 relativo all'analisi geomorfologico e di pericolosità dell'area sono state analizzate le cause predisponenti e le problematiche riferibili ai meccanismi di innesco delle frane (rischio frana).

In questa sede si intende individuare il principio sul quale deve essere impostato il progetto di mitigazione. Per mitigazione del rischio idrogeologico si intendono tutte le azioni finalizzate a ridurre l'indice di rischio di un territorio rispetto al suo grado di vulnerabilità. Affinché il fattore rischio venga mitigato è importante agire sulle cause o concause che sottendono il rischio, ovvero sulla pericolosità dell'area. Ebbene, rispetto a questo fattore nel paragrafo §8 analizzando le cause predisponenti del fenomeno franoso sono stati individuati alcuni elementi sui quali agire al fine di mitigare il suddetto rischio.

La situazione geologica e geomorfologica con la quale ci si trova ad operare è molto complessa e non sempre di facile comprensione, con l'ausilio degli elementi di geologia applicata e lo studio geomorfologico è stato possibile riconoscere gli elementi naturali sui quali fare leva per mitigare il rischio idrogeologico. Siamo di fronte ad un versante ricoperto di detriti di falda e sul quale si è impostato un reticolo idrologico ben ramificato e per lunghi tratti in erosione. Nell'area si riscontrano alcuni impluvi che presentano un'estensione limitata e altri che hanno una lunghezza considerevole nei quali scorre acqua meteorica raccolta da una vasta porzione del territorio.

Gli impluvi si presentano con tratti a pendenza considerevole e ricche di vegetazione ripariale che ne ostruiscono il passaggio di acqua provocando dei fenomeni di alluvionamento. Inoltre ci sono delle porzioni di versante interessate da mulattiere che svolgono lo stesso ruolo degli impluvi, laddove hanno un andamento secondo la massima pendenza, nel raccogliere le acque e portarle a valle. In alcuni di queste mulattiere sono stati realizzati dei canali di raccolta delle acque che presentano un'elevata pendenza, pertanto sono da considerarsi alla stessa stregua degli impluvi.

Quindi la causa predisponente riferibile ad un potenziale flusso di materiale detritico a seguito di eventi pluviometrici eccezionale è legato alla pendenza dell'asse degli impluvi, quindi l'intervento di mitigazione del rischio idrogeologico in questa zona deve essere localizzato principalmente sul reticolo

idrografico e deve essere finalizzato a ridurre l'energia cinetica legata allo scorrimento delle acque. In secondo luogo laddove possibile bisogna rinforzare e mettere in sicurezza le spalle laterali degli impluvi, soprattutto nel passaggio dalla litologia detritica a quella terrigena.

Gli interventi devono essere combinati altrimenti si avrebbe solo un effetto parziale. La tipologia di presidi da mettere in opera deve essere legata alla modifica della pendenza degli impluvi, quindi predisponendo delle strutture trasversali tipo briglie e la realizzazione di vasche di accumulo delle acque meteoriche che devono consentire la dissipazione della cinetica idraulica. In secondo luogo, laddove possibile si rende necessario la pulizia del reticolo dalla vegetazione ripariale e la messa in sicurezza generale dell'area.



Figura 6 – Foto impluvi oggetto di sistemazione

11) CONCLUSIONI

Il presente studio geologico è stato redatto, dal sottoscritto, su incarico del Comune di San Rufo (SA) con Determinazione Dirigenziale del Settore Tecnico Lavori Pubblici n. 192 del 02/11/2021, a corredo del progetto di Mitigazione del rischio idrogeologico attraverso interventi sul sistema di regimazione delle acque meteoriche superficiali nella zona a monte dell'abitato, al fine di definire la fattibilità geologica e idrogeologica degli interventi previste nel progetto.

Dai rilievi geologici condotti sull'area è stato possibile ricostruire la conformazione geologica del sito e delineare i caratteri geomorfologici e idrogeologici dell'area.

Dalla esecuzione di indagini geognostiche in sito è stato possibile ricostruire sia gli spessori dei terreni in affioramento che le caratteristiche meccaniche e sismica, inoltre, attraverso quest'ultima è stato possibile classificare il sito ai sensi della normativa antisismica vigente (D.M. 1701/2018).

Nell'area d'indagine, il rilevamento geologico di dettaglio ha consentito di riconoscere e caratterizzare le litologie affioranti nell'area di interesse la cui distribuzione areale, prossima al sito, è indicata nella carta geologica allegata.

In zona affiorano i seguenti termini:

- **b2 – Detrito eluvio colluviale;**
- **a3 – Detrito di falda;**
- **UARb – Unità arenacea, sub unità sabbioso conglomeratica;**
- **UC – Unità dei calcari bianco grigiastri.**

Lo studio geomorfologico ha evidenziato alcune criticità legate alle probabili cause predisponenti verso i fenomeni gravitativi legati, così come descritto nel [paragrafo 8](#) a due possibili livelli di pericolosità geomorfologica. Come descritto nel paragrafo 10 in questa sede si è deciso di affrontare

Per la determinazione dei parametri meccanici e per costruire il modello geotecnico si è fatto riferimento alle indagini esistenti eseguite sugli stessi terreni, così come descritto nel [paragrafo 5](#).

Nel [paragrafo 10](#) è stato descritto il principio sul quale eseguire la progettazione degli interventi con l'obiettivo di mitigare il rischio idrogeologico dell'area e rendere fruibile la strada. In questo paragrafo vengono richiamate tutte le indicazioni riportate al sopra citato paragrafo 10, rimarcando la necessità di rispettare l'ordine di priorità degli interventi.

Dal punto di vista sismico, così come specificato nel relativo paragrafo il sito ricade nella categoria B, secondo la pendenza topografica l'area d'indagine, ovvero la strada rientra nella categoria T2.

Il modello stratigrafico del sito è stato ricostruito attraverso le risultanze stratigrafiche dei sondaggi eseguiti nella zona e dei rilievi geologici stratigrafici condotti in situ come indicato nel [paragrafo 3](#).

Il modello geotecnico del sito è stato determinato sulla scorta dei risultati delle analisi geognostiche esistenti, come indicato nel [paragrafo 5](#).

Una volta definito il modello geotecnico dell'area d'indagine è stata ricostruita la sezione geologica e geotecnica secondo la massima pendenza che è allegata al presente studio, a tal fine occorre specificare che i modelli geologici e geotecnici individuati sono stati impostati sui profili di progetti e per ciascuna sezione geologica redatta sono stati inseriti i riferimenti al profilo di progetto.

Al fine di definire la condizione di stabilità globale delle scarpate è stata eseguita la verifica di stabilità per una sezione litotecnica, il profilo geologico impostato su una porzione del profilo n.21, le risultanze sono indicate nel [paragrafo 9](#). Dai risultati delle verifiche di stabilità di pendio le cui relazioni di calcolo sono allegate al presente studio, possiamo affermare che le condizioni di stabilità globale del pendio sono da ritenersi accettabili e suscettibili di miglioramenti legati, principalmente alla efficacia dei presidi tecnici progettati in questa fase, rispetto alla causa predisponente considerata.

Dagli elementi litostratigrafici, idrogeologici acquisiti dalla bibliografia esistente, dai rilievi fatti sul sito e dalla caratterizzazione geotecnica e sismica risulta che i terreni in parole sono in grado di sostenere i carichi derivanti dai lavori di che trattasi, per cui si può affermare la compatibilità geologica del sito, come meglio descritto nei paragrafi 8, 9 e 10; a sostenere le opere in progetto soprattutto perché finalizzate a migliorare le condizioni di stabilità idrogeologica generale dell'area.

Si specifica che tutti gli interventi devono rientrare nelle more dell'articolo 14 delle norme tecniche di attuazione del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico - PSAI dell'Autorità di bacino del basso Sele e laddove richiesto sottoporre il progetto al benestare degli uffici preposti.

Il presente elaborato è stato redatto ai sensi della circolare n. 138 del CONSIGLIO NAZIONALE DEI GEOLOGI che richiama i diversi livelli di progettazione come definiti dalla legge 11.02.1994 n. 109 e successive modificazioni, nonché ai sensi del D.P.R. 21.12.1999 n. 554.

Moliterno 28/02/2022

Il Geologo

Dott. Rocco SPAGNUOLO

12) ALLEGATI:

- 1. CARTA TOPOGRAFICA CON UBICAZIONE DELL'AREA D'INDAGINE;**
- 2. CARTA GEOLOGICA DELL'AREA;**
- 3. CARTA GEOMORFOLOGICA;**
- 4. CARTA DELLE PENDENZE**
- 5. CARTA IDROLOGICA;**
- 6. CARTA INVENTARIO DELLE FRANE;**
- 7. CARTA DELLE INDAGINI**
- 8. MODELLO GEOLOGICO TECNICO RAPPRESENTATIVA DELL'AREA DI SEDIME**
- 9. MODELLO GEOTECNICO DEL SITO**
- 10. CARTA RISCHIO FRANA.**
- 11. RELAZIONI SULLE VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE DEL PENDIO**

13) BIBLIOGRAFIA:

C. CESTELLI GUIDI (1987) - *Geotecnica e tecnica delle fondazioni*. Hoepli Milano.

D'AZZARO L. & RAPIDARDI L. (1984) – *Le bentoniti dell'Appennino Dauno tra Casalnuovo Monterotaro e Motta Monte Corvino (FG)*. Geol. Appl. e Idrogeol., 17.

Decreto Ministero dei Lavori Pubblici - Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica. Roma, 2018.

ISPRA - *Note bibliografiche della Carta Geologica in scala 1:100.000 – Foglio n. 212 "Montalbano Jonico"*.

ORTOLANI F. (1978) – *Alcune considerazioni sulle fasi tettoniche mioceniche e plioceniche dell'Appennino meridionale*. Boll. Soc. Geol. It., 97.

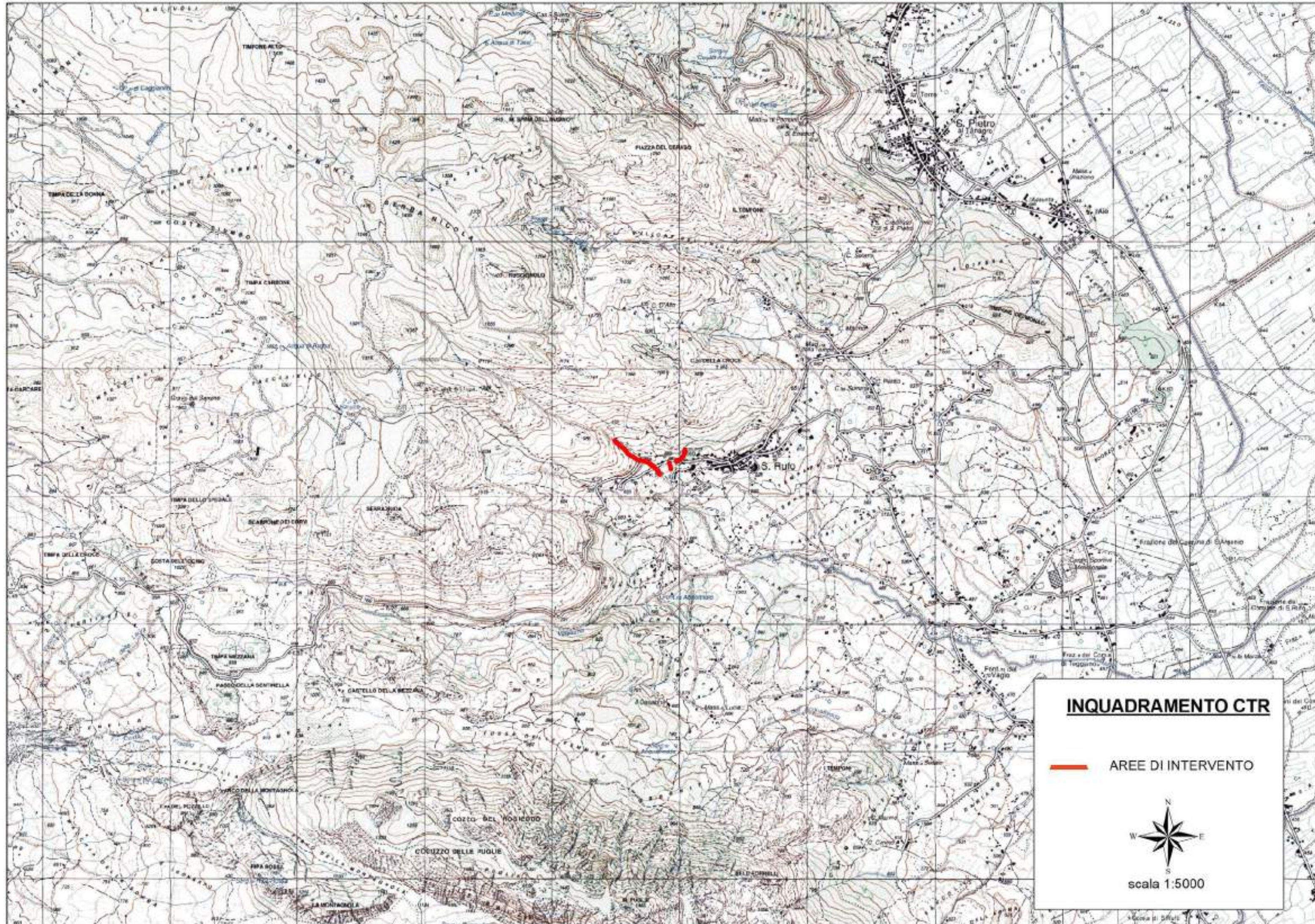
MANFREDINI M. (1966) – *Sui rapporti fra facies abruzzese e facies umbra nell'Appennino centro-meridionale*. Boll. Serv. Geol. It., 86.

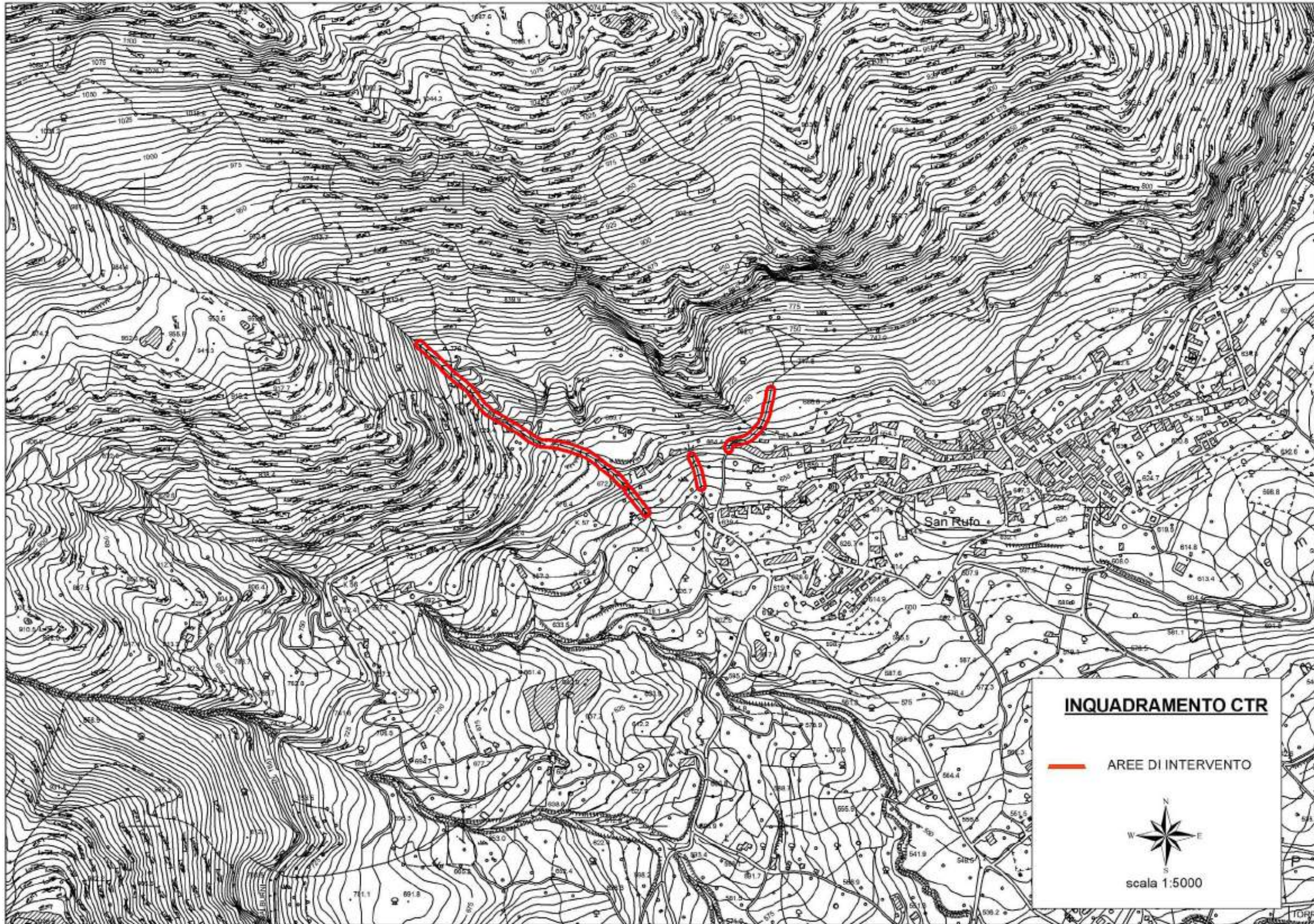
MOSTARDINI F. & MERLINI S. (1986). *Appennino centro meridionale. Sezioni geologiche e proposta di modello strutturale*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 177-202.

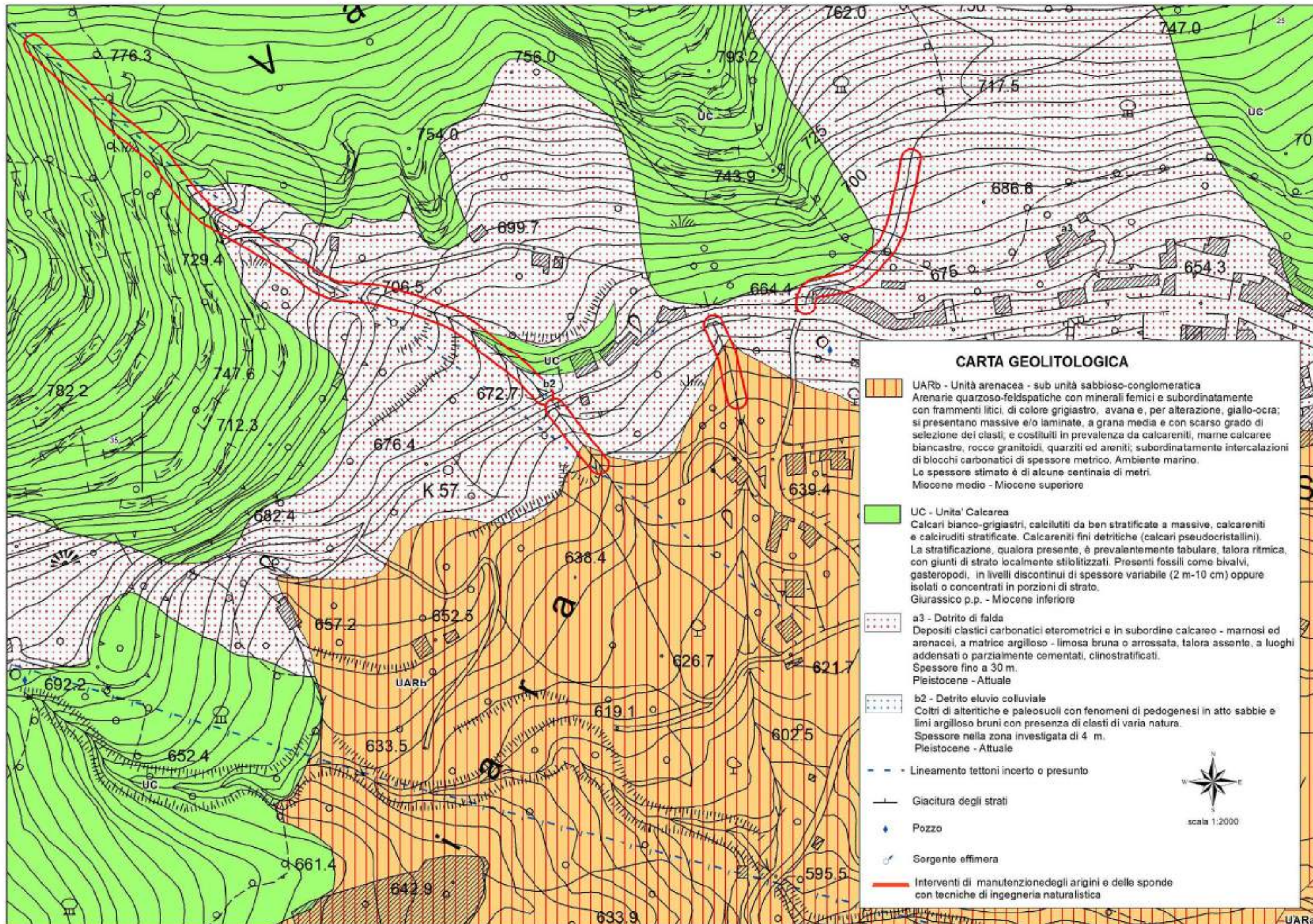
PESCATORE T. (1988) – *La sedimentazione miocenica nell'Appennino campano-lucano*. Mem. Soc. Geol. It., 37-46, 8 ff.

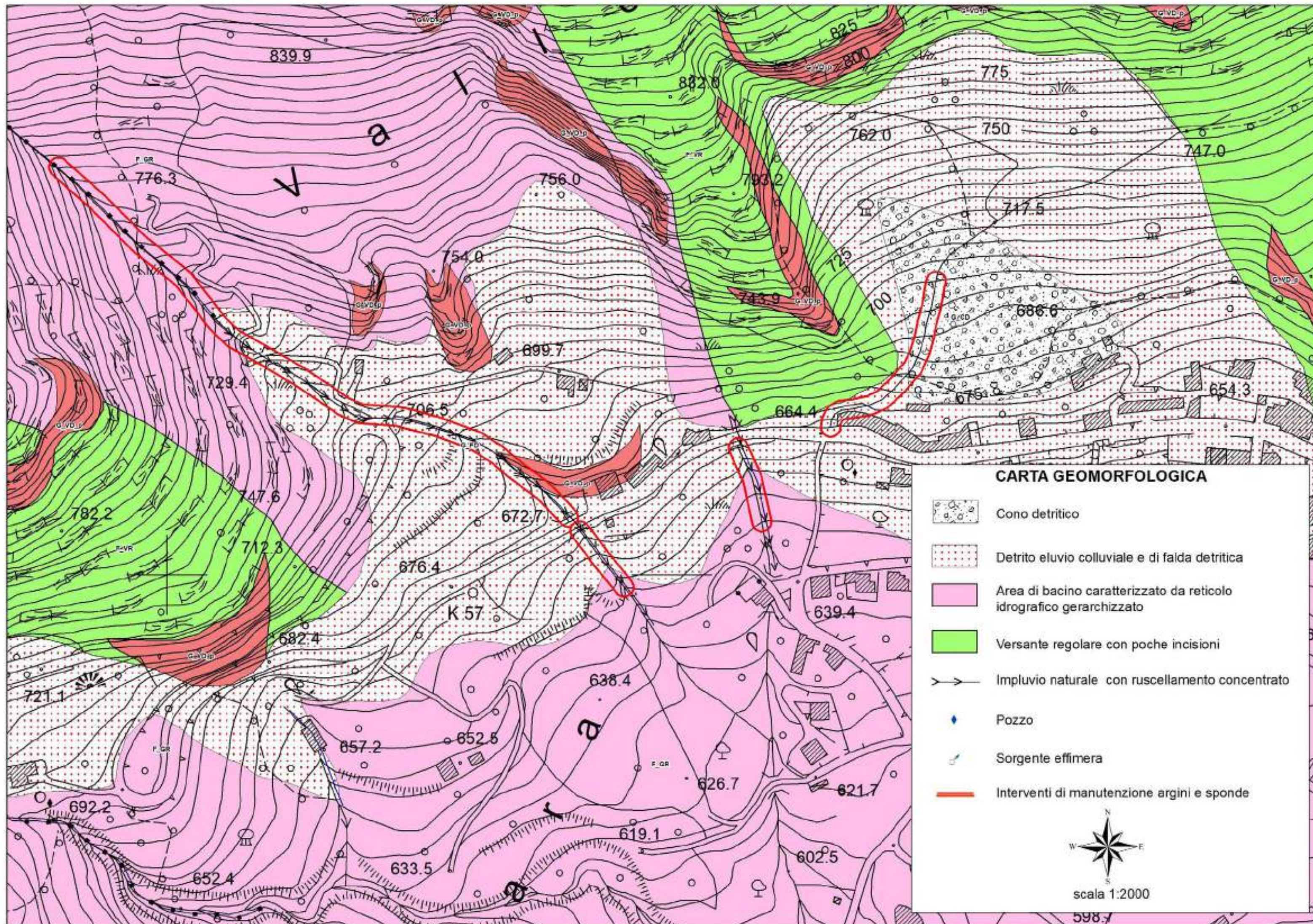
STEVEN L. KRAMER (2000) - *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall.

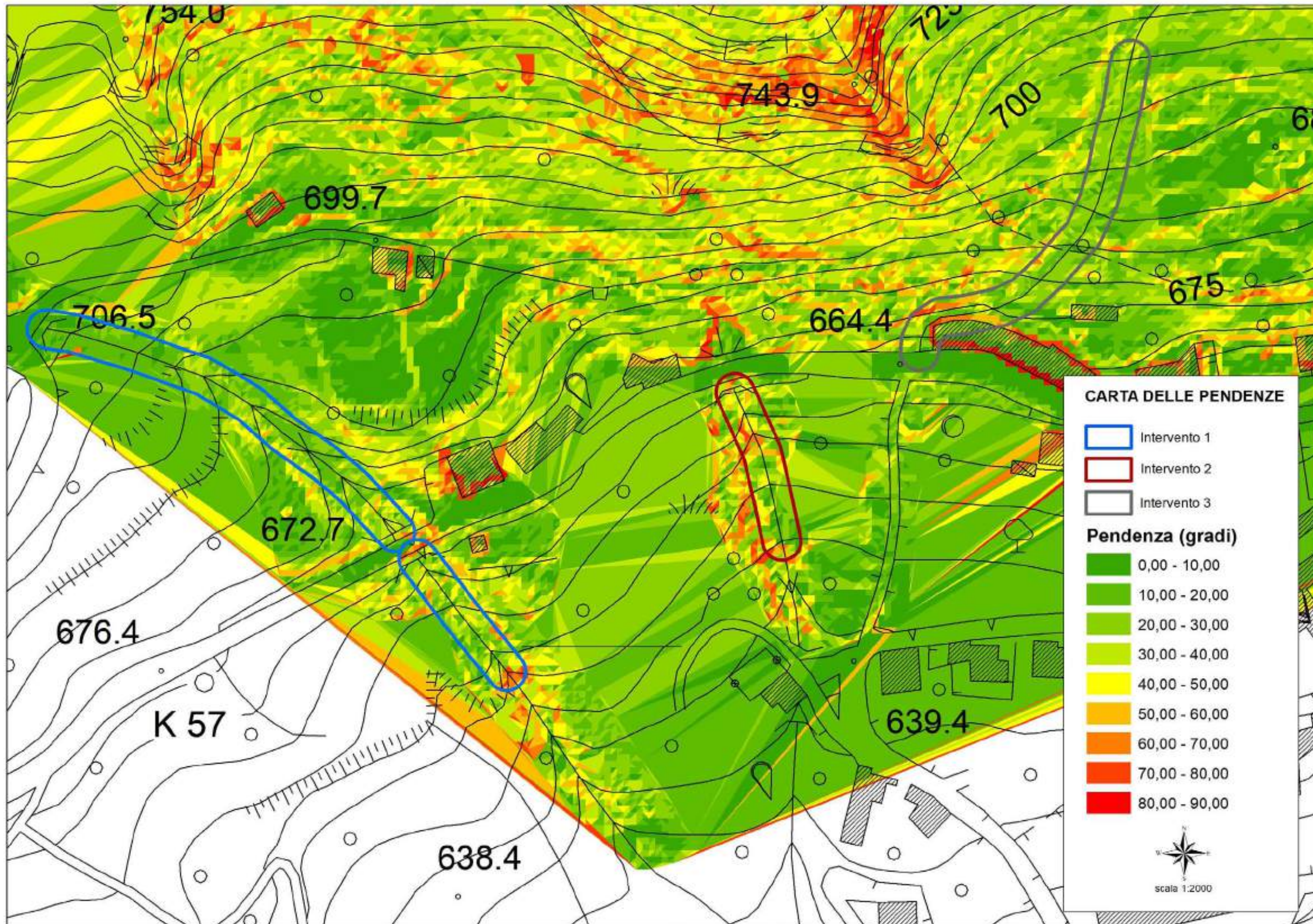
VINCENZO SIERVO (2012) – *Studio geologico del territorio allegato a Piano Urbanistico Comunale*.

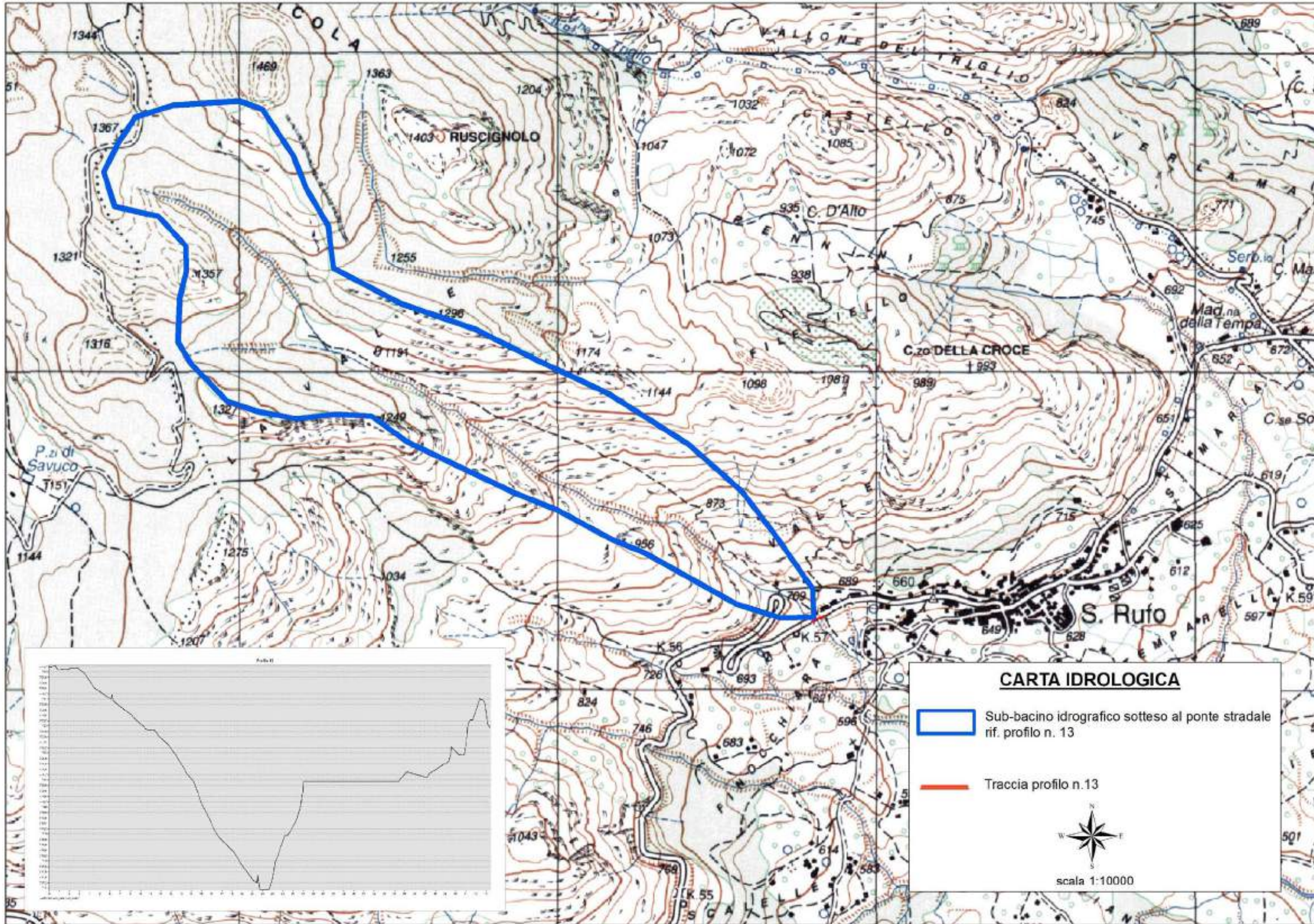


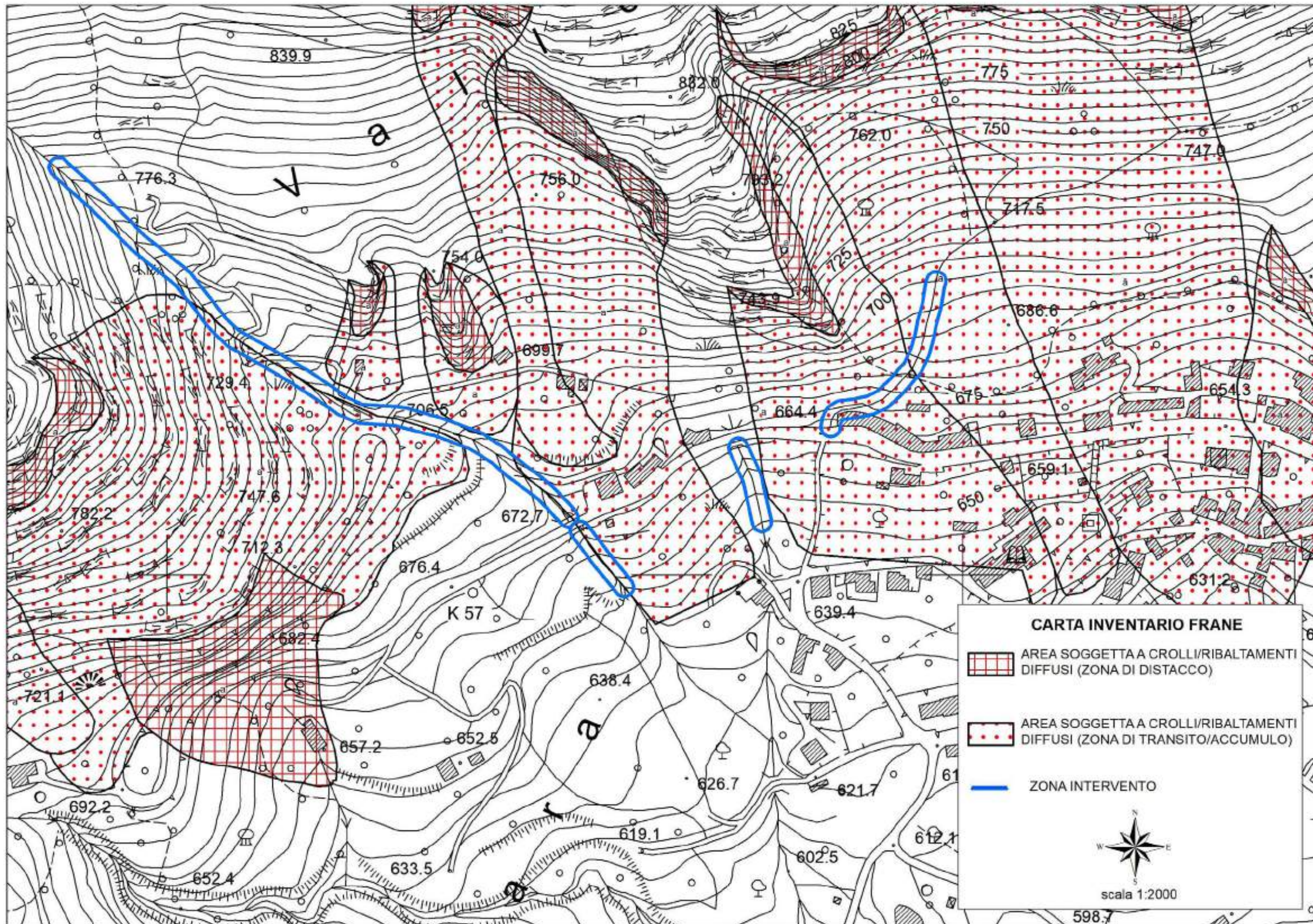


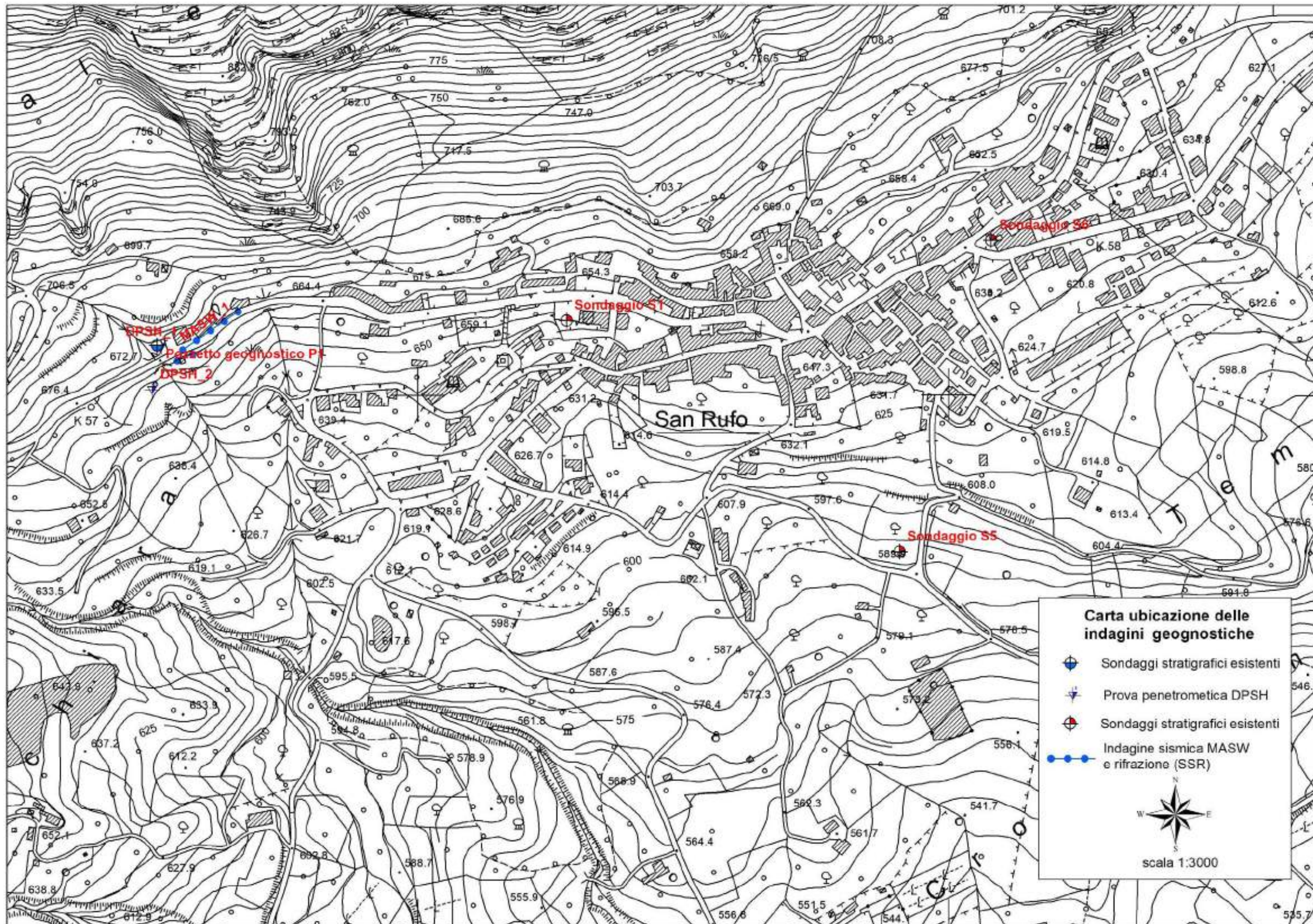


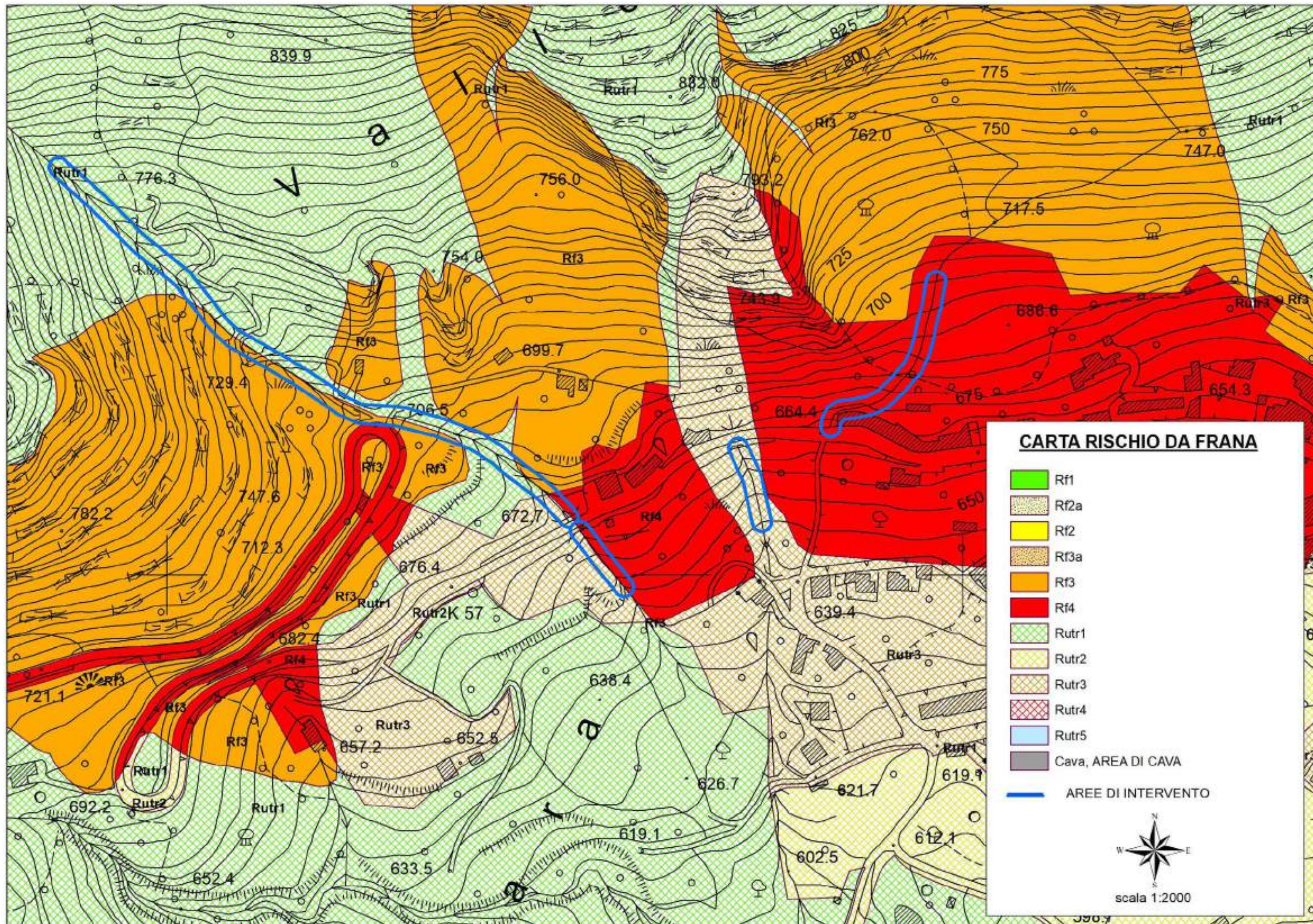






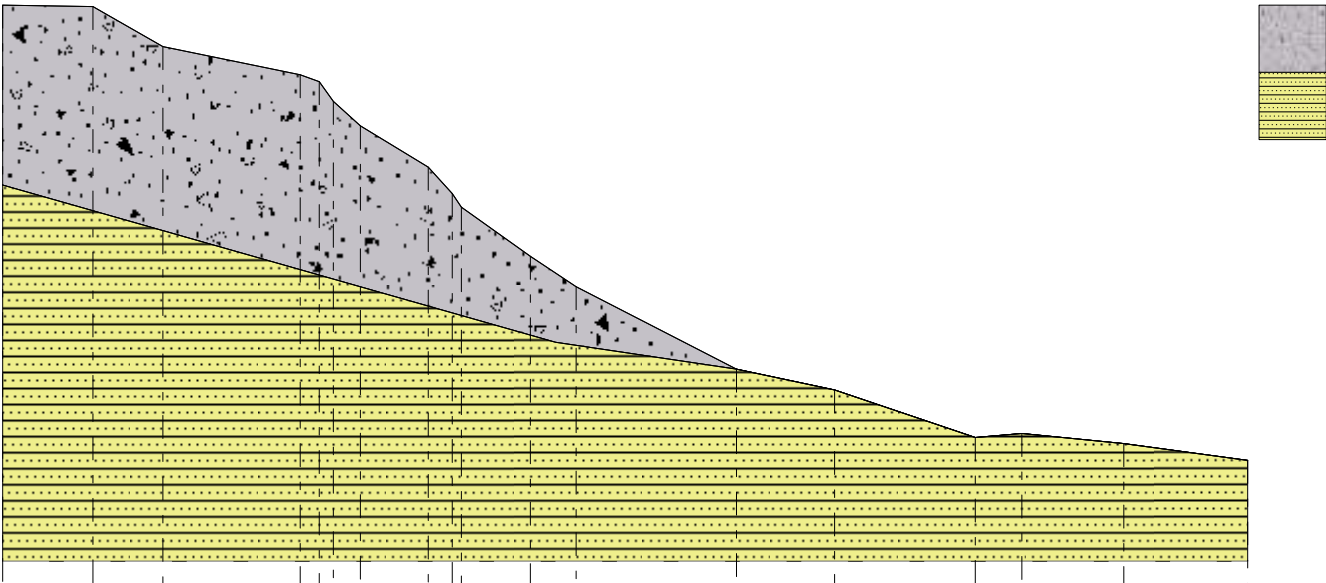






Comune di San Rufo (SA)
PROGETTO PER I LAVORI DI "MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO ATTRAVERSO INTERVENTI SUL SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE NELLA ZONA A MONTE DELL'ABITATO".

Modello Geologico - DM 14/02/2018
Rif. profilo n. 12 di progetto

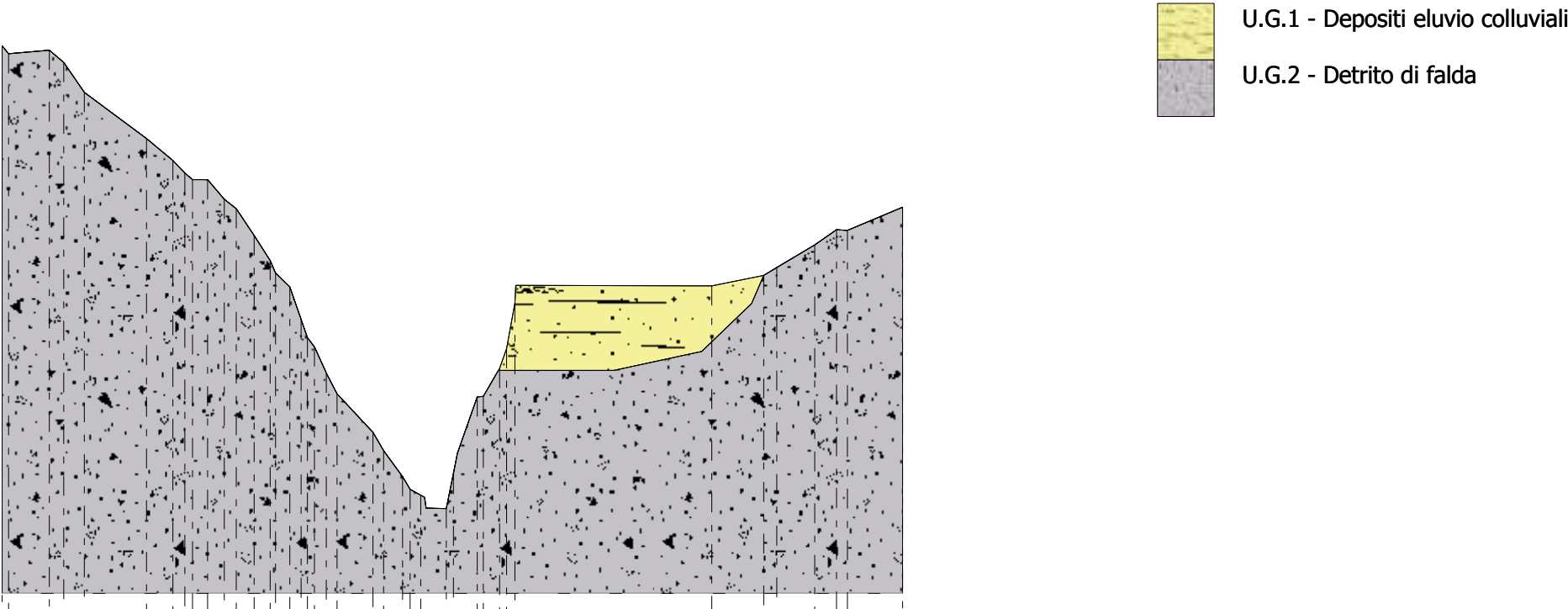


- U.G.1 - Detrito di falda
- U.G.3 - Arenarie sabbiose conglomeratiche

Quote	715,93	715,87	714,29	713,17	712,90	711,14	709,51	708,46	705,97	704,76	701,49	700,66	698,78	698,94	698,54	697,88
Distanze Parziali	0,00	3,58	2,78	5,44	8,56	1,07	2,69	8,35	2,73	1,82	6,36	3,89	5,58	1,85	4,05	4,91
Distanze Progressive	0,00	3,58	6,36	11,81	13,56	14,20	16,88	18,20	20,94	22,76	29,12	33,01	38,59	40,44	44,49	49,40

COMUNE DI SAN RUFO (SA)
PROGETTO PER I LAVORI DI "MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO ATTRAVERSO INTERVENTI SUL
SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE NELLA ZONA A MONTE DELL'ABITATO".

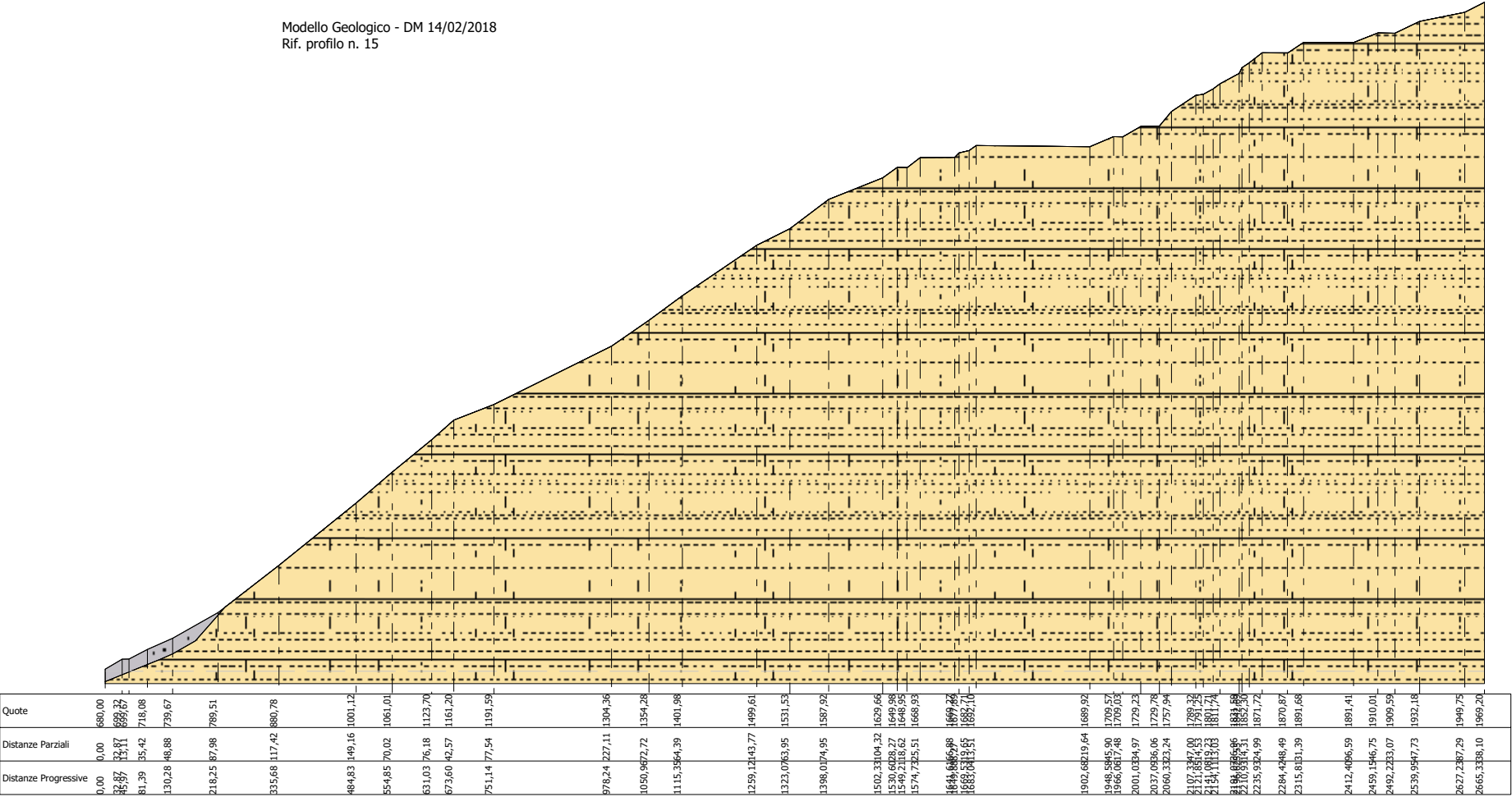
Modello Geologico - DM 14/02/2018
(Il profilo di riferimento è il n. 13 di progetto)



Quote	724,93	725,13	724,54	723,13	720,95	719,93	719,02	718,09	716,38	713,96	713,91	708,91	707,14	705,01	704,13	703,51	708,79	713,21	714,01	714,58	715,94	716,65	717,72	
Distanze Parziali	0,00	1,93	0,97		2,93	1,24	0,55	0,77	0,54	0,26	0,05	0,50	0,50	0,50	0,54	0,54	0,54	0,54	9,25	0,62	1,79	1,93	0,91	2,60
Distanze Progressive	0,00	2,23	3,20	3,88	6,81	8,06	8,99	10,48	11,03	11,29	11,34	11,84	12,34	12,84	13,34	13,84	14,38	14,92	33,49	35,94	38,35	39,89	40,80	42,50

Comune di San Rufo (SA)
PROGETTO PER I LAVORI DI "MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO ATTRAVERSO
INTERVENTI SUL
SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE NELLA ZONA A MONTE
DELL'ABITATO".

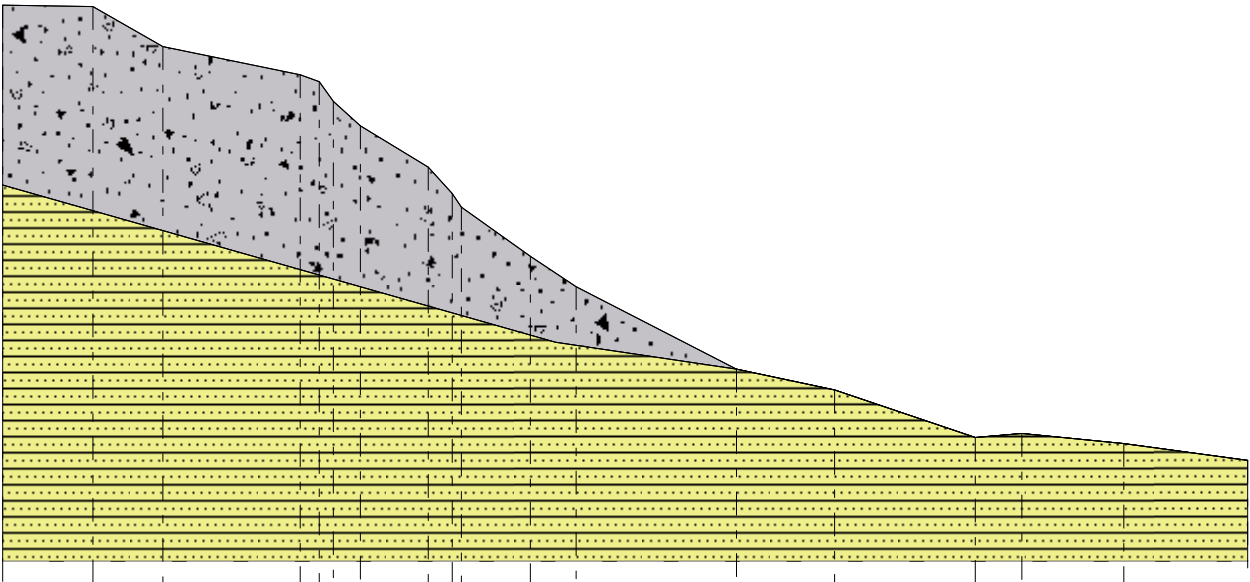
Modello Geologico - DM 14/02/2018
Rif. profilo n. 15



Detrito di falda
Calcarei bianchi grigiastri

Comune di San Rufo (SA)
PROGETTO PER I LAVORI DI "MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO ATTRAVERSO INTERVENTI SUL SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE NELLA ZONA A MONTE DELL'ABITATO".

Modello Geotecnico - DM 14/02/2018
Categoria suolo tipo B - Vs(30)= 521 m/s
Categori topografica sito T2
Rif. profilo n. 12 di proaetto

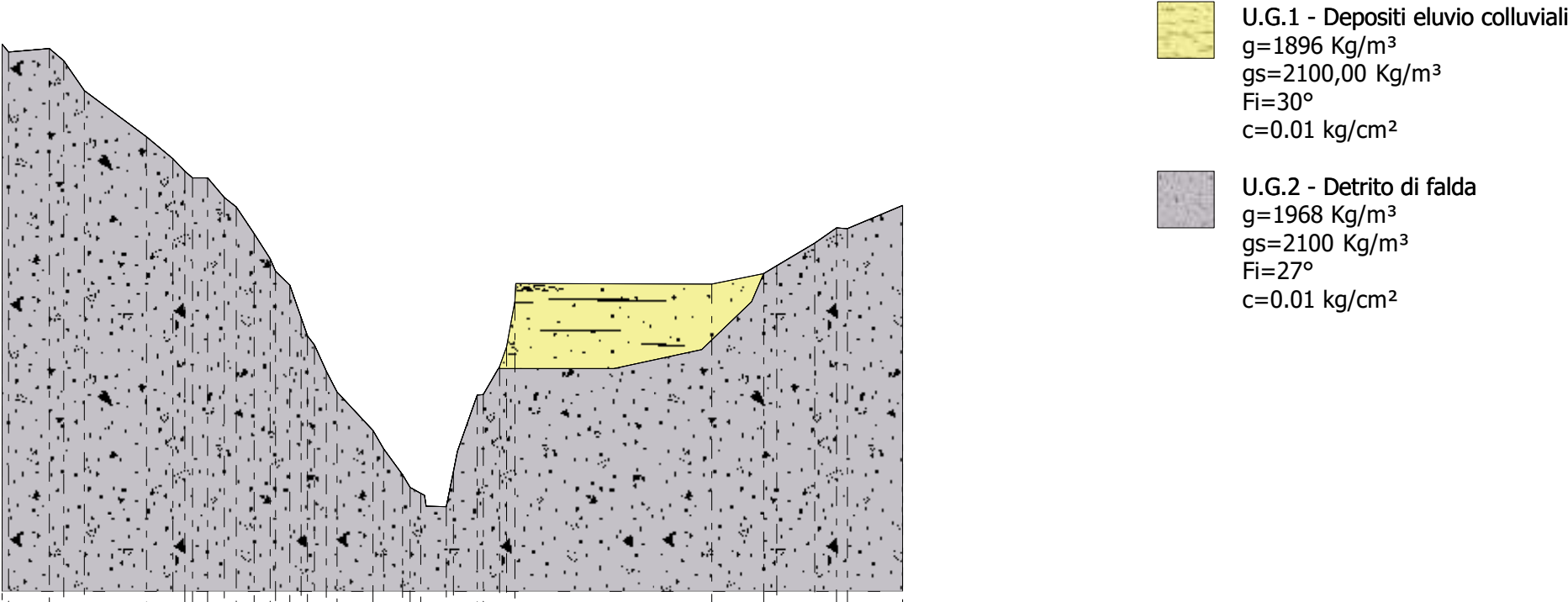


- U.G.1 - Detrito di falda
g=1968 Kg/m³
gs=2100,00 Kg/m³
Fi=27°
c=0.01 kg/cm²
- U.G.3 - Arenarie sabbiose conglomeratiche
g=1700 Kg/m³
gs=1900 Kg/m³
Fi=24°
c=0.01 kg/cm²

Quote	715,93	715,87	714,29	713,17	712,90	711,14	709,51	708,46	705,97	704,76	701,49	700,66	698,78	698,94	698,54	697,88
Distanze Parziali	0,00	3,58	2,78	5,44	8,56	1,07	2,69	6,35	2,73	1,82	6,36	3,89	5,58	1,85	4,05	4,91
Distanze Progressive	0,00	3,58	6,36	11,81	13,12	14,20	16,88	18,20	20,94	22,76	29,12	33,01	38,59	40,44	44,49	49,40

COMUNE DI SAN RUFO (SA)
PROGETTO PER I LAVORI DI "MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO ATTRAVERSO INTERVENTI SUL
SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE NELLA ZONA A MONTE DELL'ABITATO".

Modello Geotecnico - DM 14/02/2018
Classificazione sismica Sito B Vs30= 521 m/s



Quote	724,93 725,13 723,13	720,95 719,93 719,02 718,09 716,38 713,96 713,91 708,91 707,14 705,01 704,13 703,51 708,79 713,95	714,01	714,58	715,94 716,65	717,72
Distanze Parziali	0,00 1,93 0,97	2,93 1,24 0,55 0,76 0,54 0,26 0,05 0,31 0,70 0,90 0,98 0,94 0,94 0,39	9,25	0,65	1,79 1,93 0,91	2,60
Distanze Progressive	0,00 2,23 3,88	6,81 8,06 8,99 10,48 11,09 11,35 11,40 11,81 12,50 13,40 14,38 15,32 16,26	33,49	35,94 36,56	38,35 39,38 39,89	42,50

Relazione di calcolo

Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

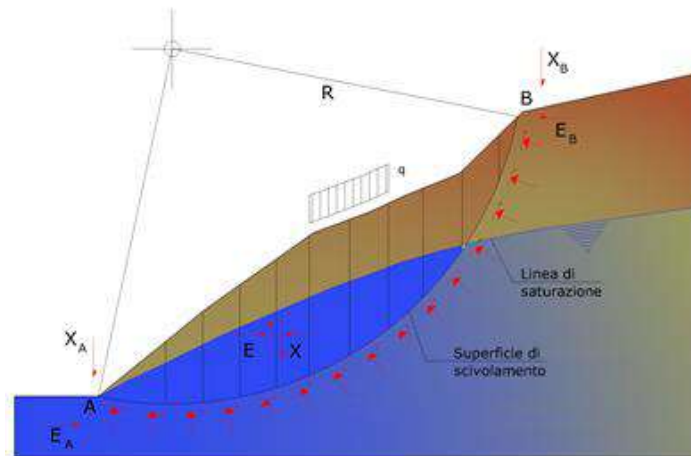
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.). Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.



Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i ;
- $(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
- $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n ;
- equazioni relative al criterio di rottura n .

Totale numero di equazioni $4n$.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni.

Metodo di Fellenius (1927)

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

- n valori delle forze normali N_i ;
- n valori delle forze da taglio T_i ;
- 1 fattore di sicurezza.

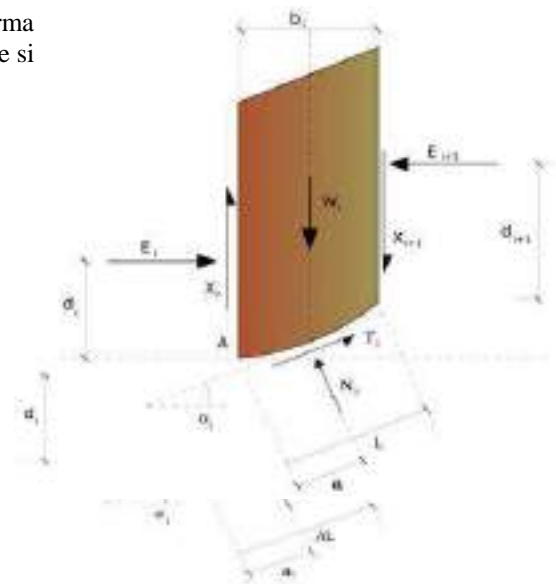
Incognite $(2n+1)$.

Le equazioni a disposizione sono:

- n equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;
- n equazioni relative al criterio di rottura;
- equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \phi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.



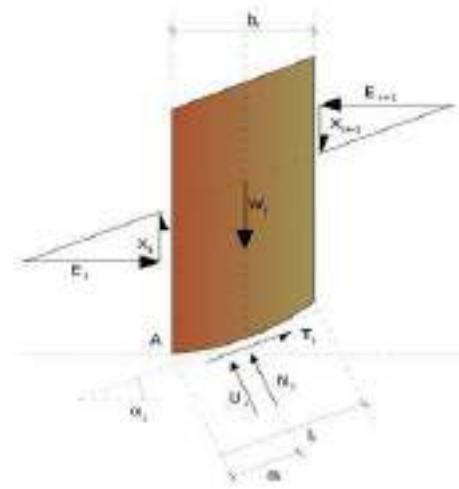
Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

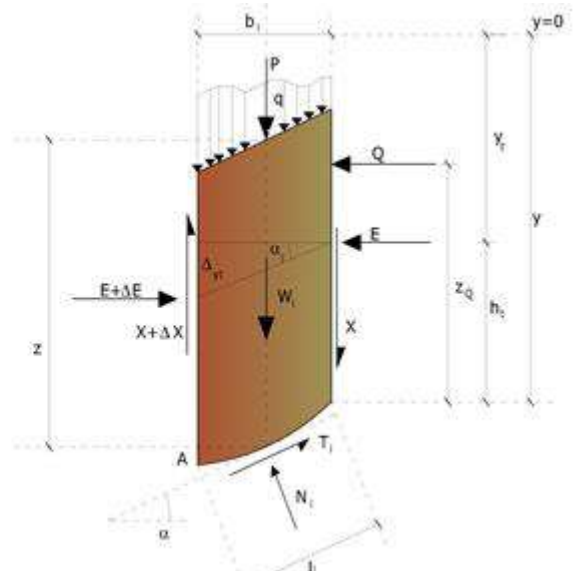
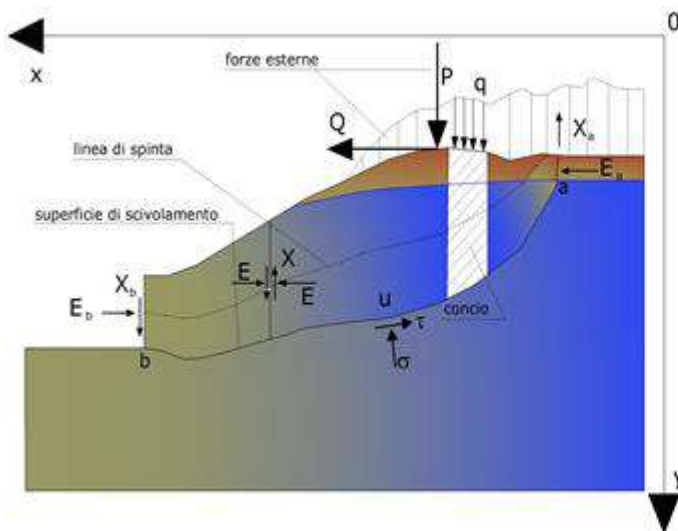


Metodo di Janbu (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

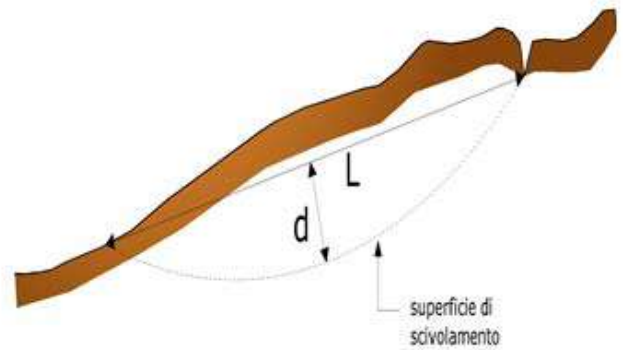
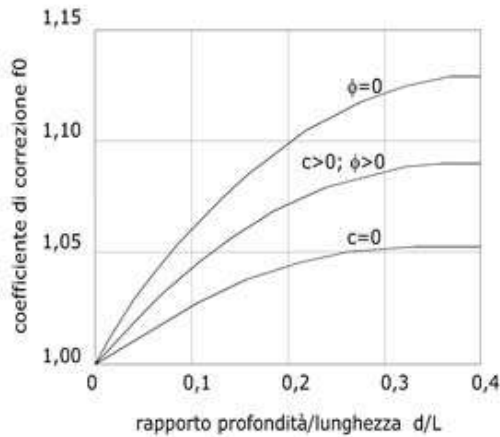


Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario. Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove f_0 è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.



Metodo di Bell (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno, W , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali $K_X W$ e $K_Z W$, le forze orizzontali e verticali X e Z applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio σ e τ agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori u che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor.

In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' i -esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \Phi_i}{F}$$

in cui:

F = il fattore di sicurezza;

c_i = la coesione efficace (o totale) alla base dell' i -esimo concio;

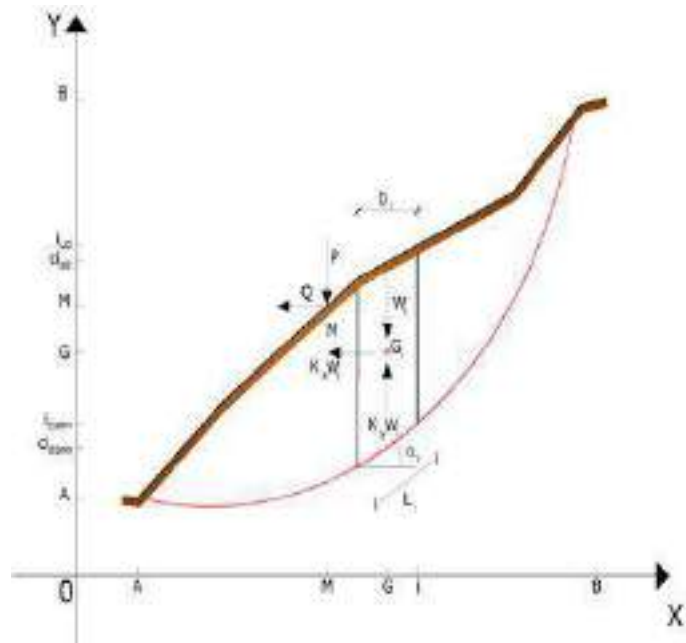
Φ_i = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell' i -esimo concio;

L_i = la lunghezza della base dell' i -esimo concio;

u_{ci} = la pressione dei pori al centro della base dell' i -esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:



$$\sigma_{ci} = \left[C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$$W_i \cos \alpha_i / L_i = \text{valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conci}$$

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left(\frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

dove x_0 ed x_n sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre x_{ci} rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio i-esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno K_z g può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore $(1 - K_z)$.

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza F, sostituendo l'espressione di N_i e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario C_3 . Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

Metodo di Sarma (1973)

Il metodo di Sarma è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica K_c) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in n strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_i agisca nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

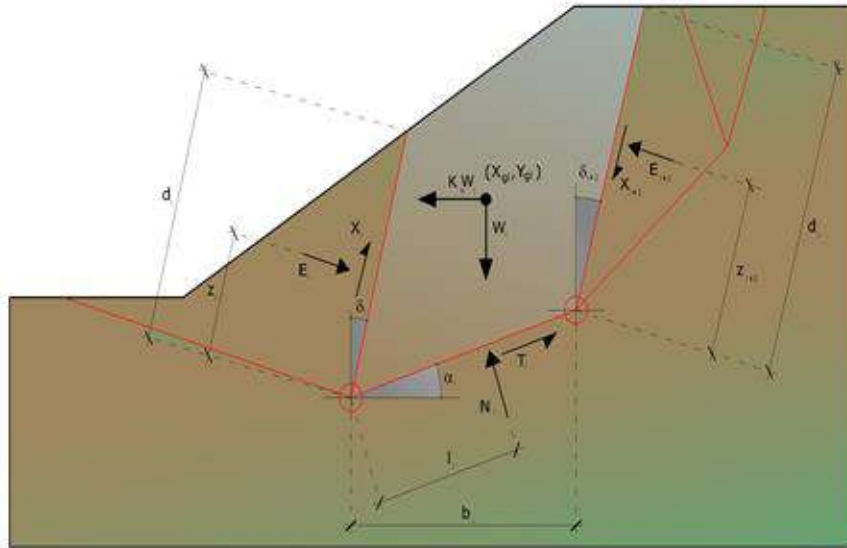
$$\begin{aligned} N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i &= W_i - \Delta X_i \\ T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i &= K W_i + \Delta E_i \end{aligned}$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\begin{aligned} \sum \Delta E_i &= 0 \\ \sum \Delta X_i &= 0 \end{aligned}$$

dove E_i e X_i rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia i-esima del concio generico i.

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel **metodo di Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:



Azioni sull'iesimo concio, metodo di Sarma

$$\sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$\sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha'_i) + (x'_i - x_G)] = \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G)$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di **K** (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione **K** corrispondente al fattore di sicurezza **F = 1**, ossia l'accelerazione critica.

Si ha pertanto:

$$\begin{aligned} K &= K_c & \text{Accelerazione critica se } F=1 \\ F &= F_s & \text{Fattore di sicurezza in condizioni statiche se } K=0 \end{aligned}$$

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne X_i ed E_i tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.

E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze X_i :

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove Q_i è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla i -esima faccia del concio i , e λ rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di K_c , λ e F , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

Metodo di Spencer (1967)

Il metodo è basato sull'assunzione:

1. le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo θ ;
2. tutti i momenti sono nulli $M_i = 0$ con $i=1, \dots, n$.

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione $f(x) = 1$. Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$1) \quad \sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h l \sec \alpha) \frac{\tan \alpha}{F_s} - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[\frac{F_s + \tan \phi \tan(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i conci;

R = raggio dell'arco di cerchio;

θ = angolo d'inclinazione della forza Q_i rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\begin{aligned} \sum (Q_i \cos \theta) &= 0 \\ \sum (Q_i \sin \theta) &= 0 \end{aligned}$$

Con l'assunzione delle forze Q_i parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$2) \quad \sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo (F_{sm}) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo (F_{sf}) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo θ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia:

$$F_{sm} = F_{sf}$$

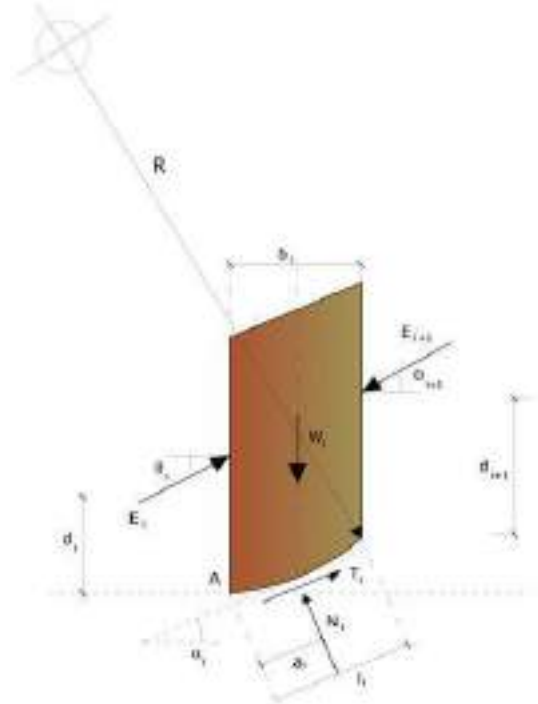
Metodo di Morgenstern e Price (1965)

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo $X = \lambda f(x)E$, dove λ è un fattore di scala e $f(x)$, funzione della posizione di E e di X , definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione $f(x)$ è scelta arbitrariamente (costante, senoide, semisenoide, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

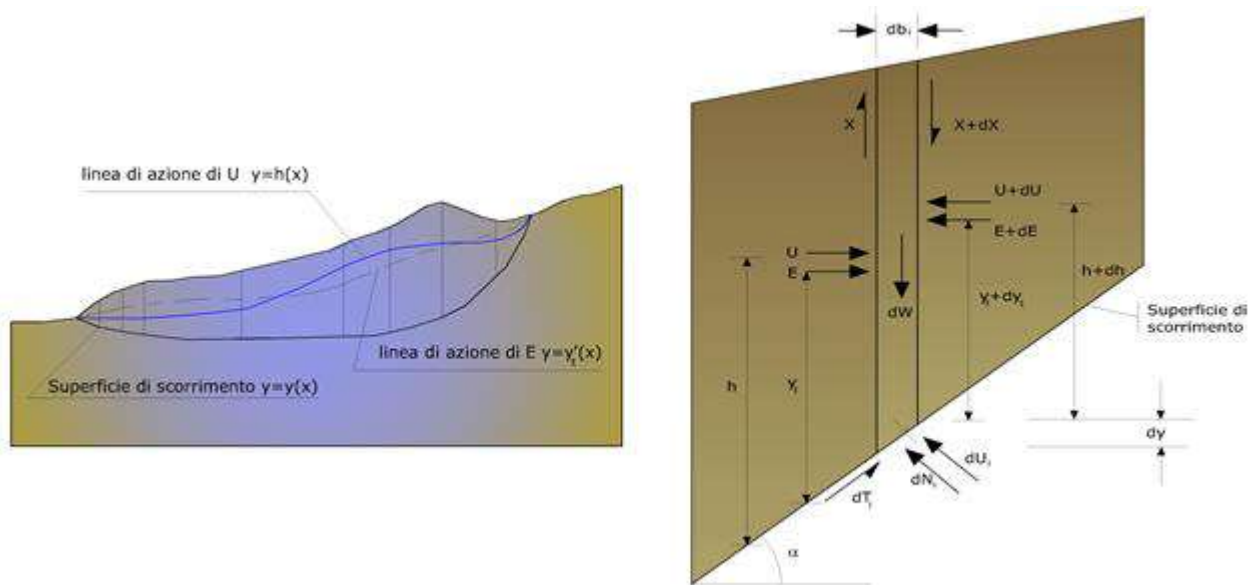
La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E , X , il coefficiente di sicurezza F_s , il peso della striscia infinitesima dW e la risultante delle pressioni neutra alla base dU .

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + \tan \phi' \left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \tan \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) =$$



$$= \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$



Azioni sul concio i -esimo secondo le ipotesi di Morgenster e Price e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Una seconda equazione, detta “**equazione dei momenti**”, viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzzeria della base:

$$X = \frac{d(E \cdot y)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.

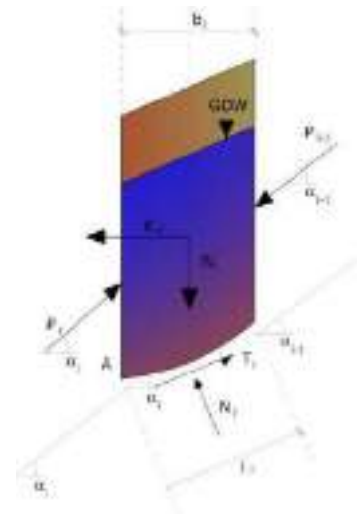
Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

Metodo di Zeng e Liang (2002)

Zeng e Liang hanno effettuato una serie di analisi parametriche su un modello bidimensionale sviluppato con codice agli elementi finiti, che riproduce il caso di pali immersi in un terreno in movimento (drilled shafts). Il modello bidimensionale riproduce una striscia di terreno di spessore unitario e ipotizza che il fenomeno avvenga in condizioni di deformazione piana nella direzione parallela all'asse dei pali. Il modello è stato utilizzato per indagare l'influenza sulla formazione dell'effetto arco di alcuni parametri come l'interasse fra i pali, il diametro e la forma dei pali, e le proprietà meccaniche del terreno. Gli autori individuano nel rapporto tra l'interasse e il diametro dei i pali (s/d) il parametro adimensionale determinante per la formazione dell'effetto arco. Il problema risulta essere staticamente indeterminato, con grado di indeterminatezza pari a $(8n-4)$, ma nonostante ciò è possibile ottenere una soluzione riducendo il numero delle incognite e assumendo quindi delle ipotesi semplificative, in modo da rendere determinato il problema.

Le assunzioni che rendono il problema determinato sono:

- Ky sono assunte orizzontali per ridurre il numero totale delle incognite da $(n-1)$ a $(7n-3)$;
- Le forze normali alla base della striscia agiscono nel punto medio, riducendo le incognite da n a $(6n-3)$;
- La posizione delle spinte laterali è ad un terzo dell'altezza media dell'inter-striscia e riduce le incognite da $(n-1)$ a $(5n-2)$;
- Le forze (P_i-1) e P_i si assumono parallele all'inclinazione della base della striscia



(α_i), riducendo il numero di incognite da (n-1) a (4n-1);

-Si assume un'unica costante di snervamento per tutte le strisce, riducendo le incognite da (n) a (3n-1);

Il numero totale di incognite quindi è ridotto a (3n), da calcolare utilizzando il fattore di trasferimento di carico. Inoltre si deve tener presente che la forza di stabilizzazione trasmessa sul terreno a valle dei pali risulta ridotta di una quantità R, chiamato fattore di riduzione, calcolabile come:

$$R = \frac{1}{s/d} + \left(1 - \frac{1}{s/d}\right) \cdot R_p$$

Il fattore R dipende quindi dal rapporto fra l'interasse presente fra i pali e il diametro dei pali stessi e dal fattore R_p che tiene conto dell'effetto arco.

Valutazione dell'azione sismica

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- W peso concio;
- K_x coefficiente sismico orizzontale;
- K_y coefficiente sismico verticale.

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminare un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Stabilizzazione di pendii con l'utilizzo di pali

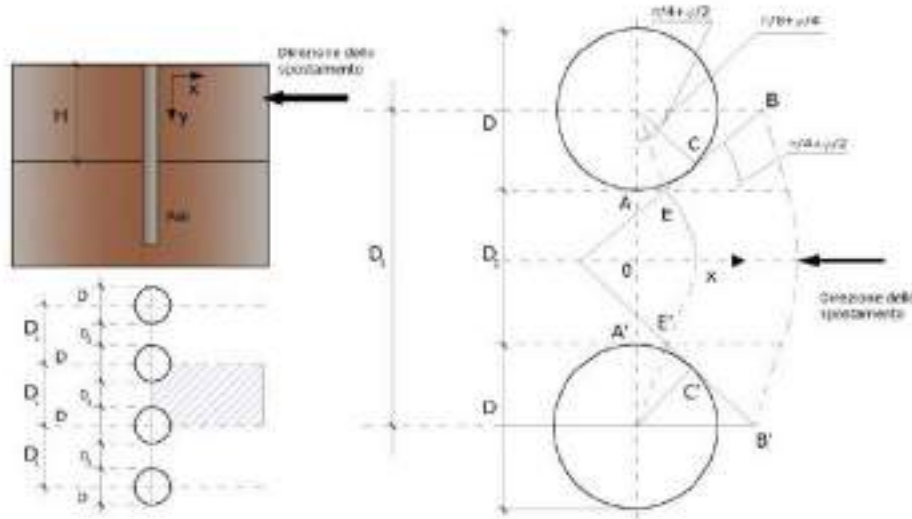
La realizzazione di una cortina di pali, su pendio, serve a fare aumentare la resistenza al taglio su determinate superfici di scorrimento. L'intervento può essere conseguente ad una stabilità già accertata, per la quale si conosce la superficie di scorrimento oppure, agendo preventivamente, viene progettato in relazione alle ipotetiche superfici di rottura che responsabilmente possono essere assunte come quelle più probabili. In ogni caso si opera considerando una massa di terreno in movimento su un ammasso stabile sul quale attestare, per una certa lunghezza, l'allineamento di pali.

Il terreno, nelle due zone, ha una influenza diversa sull'elemento monoassiale (palo): di tipo sollecitativo nella parte superiore (palo passivo – terreno attivo) e di tipo resistivo nella zona sottostante (palo attivo – terreno passivo). Da questa interferenza, fra "sbarramento" e massa in movimento, scaturiscono le azioni stabilizzanti che devono perseguire le seguenti finalità:

1. conferire al pendio un coefficiente di sicurezza maggiore di quello posseduto;
2. essere assorbite dal manufatto garantendone l'integrità (le tensioni interne, derivanti dalle sollecitazioni massime trasmesse sulle varie sezioni del singolo palo, devono risultare inferiori a quelle ammissibili del materiale) e risultare inferiori al carico limite sopportabile dal terreno, calcolato, lateralmente considerando l'interazione (palo-terreno).

Carico limite relativo all'interazione fra i pali ed il terreno laterale

Nei vari tipi di terreno che non hanno un comportamento omogeneo, le deformazioni in corrispondenza della zona di contatto non sono legate fra di loro. Quindi, non potendo associare al materiale un modello di comportamento perfettamente elastico (ipotesi che potrebbe essere assunta per i materiali lapidei poco fratturati), generalmente si procede imponendo che il movimento di massa sia nello stato iniziale e che il terreno in adiacenza ai pali sia nella fase massima consentita di plasticizzazione, oltre la quale si potrebbe verificare l'effetto indesiderato che il materiale possa defluire, attraverso la cortina di pali, nello spazio intercorrente fra un elemento e l'altro.



Imponendo inoltre che il carico assorbito dal terreno sia uguale a quello associato alla condizione limite ipotizzata e che fra due pali consecutivi, a seguito della spinta attiva, si instauri una sorta di effetto arco, gli autori T. Ito e T. Matsui (1975) hanno ricavato la relazione che permette di determinare il carico limite. A questa si è pervenuto facendo riferimento allo schema statico, disegnato nella figura precedente e alle ipotesi anzidette, che schematicamente si ribadiscono.

- Sotto l'azione della spinte attiva del terreno si formano due superfici di scorrimento localizzate in corrispondenza delle linee AEB ed A'E'B';
- Le direzioni EB ed E'B' formano con l'asse x rispettivamente angoli $+(45 + \varphi/2)$ e $-(45 + \varphi/2)$;
- Il volume di terreno, compreso nella zona delimitata dai vertici AEBB'E'A' ha un comportamento plastico, e quindi è consentita l'applicazione del criterio di rottura di Mohr-coulomb;
- La pressione attiva del terreno agisce sul piano A-A';
- I pali sono dotati di elevata rigidezza a flessione e taglio.

Detta espressione, riferita alla generica profondità Z, relativamente ad un spessore di terreno unitario, è la seguente:

$$P(Z) = C \cdot D_1 (D_1/D_2)^{K_1} \left[1 / (N_\varphi \tan \varphi) \left(e^{K_2} - 2 (N_\varphi)^{1/2} \tan \varphi - 1 \right) + K_3 \right] - C \left[D_1 \cdot K_3 - D_2 / (N_\varphi)^{1/2} \right] + \gamma Z / N_\varphi \left[D_1 (D_1/D_2)^{K_1} \cdot e^{K_2} - D_2 \right]$$

dove i simboli utilizzati assumono il significato che segue:

C = coesione terreno;

φ = angolo di attrito terreno;

γ = peso specifico terreno;

D₁ = interasse tra i pali;

D₂ = spazio libero fra due pali consecutivi;

N _{φ} = $\tan^2(\pi/4 + \varphi/2)$

$$K_1 = (N_\varphi)^{1/2} \tan \varphi + N_\varphi - 1$$

$$K_2 = (D_1 - D_2) / D_2 \cdot N_\varphi \tan(\pi/8 + \varphi/4)$$

$$K_3 = \left[2\text{tag}\varphi + 2(N_\varphi)^{1/2} + 1/(N_\varphi)^{1/2} \right] / \left[(N_\varphi)^{1/2} \text{tag}\varphi + N_\varphi - 1 \right]$$

La forza totale, relativamente ad uno strato di terreno in movimento di spessore H, è stata ottenuta integrando l'espressione precedente.

In presenza di terreni granulari (condizione drenata), nei quali si può assumere $c = 0$, l'espressione diventa:

$$P = 1/2 \gamma \cdot H^2 / N_\varphi \left[D_1 (D_1/D_2)^{k_1} \cdot e^{k_2} - D_2 \right]$$

Per terreni coesivi (condizioni non drenate), con $\varphi = 0$ e $C \neq 0$, si ha:

$$P(Z) = C \left[D_1 (3 \ln(D_1/D_2) + (D_1 - D_2)/D_2 \text{tag} \pi/8) - 2(D_1 - D_2) \right] + \gamma \cdot Z(D_1 - D_2)$$

$$P = \int_0^H P(Z) dZ$$

$$P = C \cdot H \left[D_1 (3 \ln(D_1/D_2) + (D_1 - D_2)/D_2 \text{tag} \pi/8) - 2(D_1 - D_2) \right] + 1/2 \gamma H^2 (D_1 - D_2)$$

Il dimensionamento della cortina di pali, che come già detto deve conferire al pendio un incremento del coefficiente di sicurezza e garantire l'integrità del meccanismo palo-terreno, è abbastanza problematica. Infatti tenuto conto della complessità dell'espressione del carico P, influenzata da diversi fattori legati sia alle caratteristiche meccaniche del terreno sia alla geometria del manufatto, non è facile con una sola elaborazione pervenire alla soluzione ottimale. Per raggiungere lo scopo è necessario pertanto eseguire diversi tentativi finalizzati:

- A trovare, sul profilo topografico del pendio, la posizione che garantisca, a parità di altre condizioni, una distribuzione dei coefficienti di sicurezza più confortante;
- A determinare la disposizione planimetrica dei pali, caratterizzata dal rapporto fra interasse e distanza fra i pali (D_2/D_1), che consenta di sfruttare al meglio la resistenza del complesso palo-terreno; sperimentalmente è stato riscontrato che, escludendo i casi limiti ($D_2 = 0 \rightarrow P \rightarrow \infty$ e $D_2 = D_1 \rightarrow P \rightarrow$ valore minimo), i valori più idonei allo scopo sono quelli per i quali tale rapporto risulta compreso fra 0,60 e 0,80;
- A valutare la possibilità di inserire più file di pali ed eventualmente, in caso affermativo, valutare, per le file successive, la posizione che dia più garanzie in termini di sicurezza e di spreco di materiali;
- Ad adottare il tipo di vincolo più idoneo che consente di ottenere una distribuzione più regolare delle sollecitazioni; sperimentalmente è stato constatato che quello che assolve, in maniera più soddisfacente, allo scopo è il vincolo che impedisce le rotazioni alla testa del palo.

Metodo del carico limite di Broms

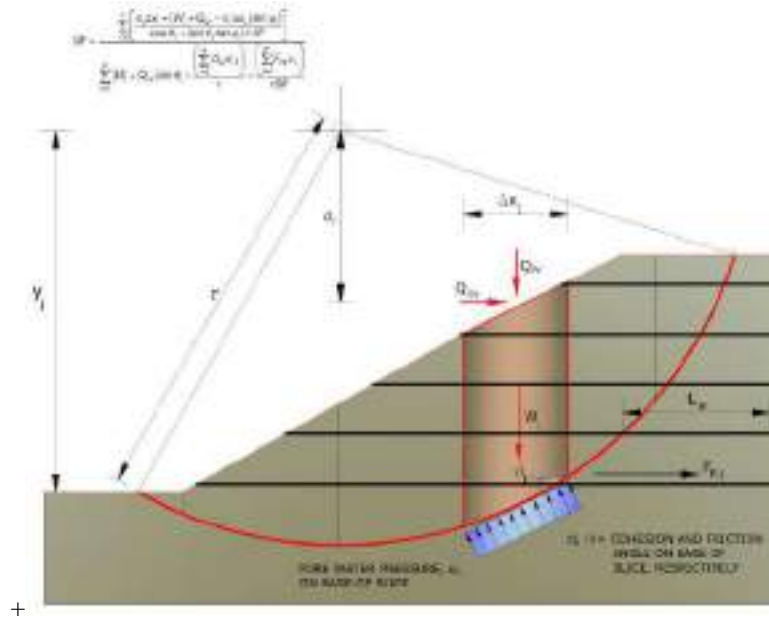
Nel caso in cui il palo sia caricato ortogonalmente all'asse, configurazione di carico presente se un palo inibisce il movimento di una massa in frana, la resistenza può essere affidata al suo carico limite orizzontale.

Il problema di calcolo del carico limite orizzontale è stato affrontato da Broms sia per il mezzo puramente coesivo che per il mezzo incoerente, il metodo di calcolo seguito è basato su alcune ipotesi semplificative per quanto attiene alla reazione esercitata dal terreno per unità di lunghezza di palo in condizioni limite e porta in conto anche la resistenza a rottura del palo (*Momento di plasticizzazione*).

Elemento Rinforzo

I Rinforzi sono degli elementi orizzontali, la loro messa in opera conferisce al terreno un incremento della resistenza allo scorrimento.

Se l'elemento di rinforzo interseca la superficie di scorrimento, la forza resistente sviluppata dall'elemento entra nell'equazione di equilibrio del singolo concio, in caso contrario l'elemento di rinforzo non ne influenza la stabilità.



Le verifiche di natura interna hanno lo scopo di valutare il livello di stabilità dell'ammasso rinforzato, quelle calcolate sono la verifica a rottura dell'elemento di rinforzo per trazione e la verifica a sfilamento (*Pullout*). Il parametro che fornisce la resistenza a trazione del rinforzo, T_{Allow} , si calcola dalla resistenza nominale del materiale con cui è realizzato il rinforzo ridotto da opportuni coefficienti che tengono conto dell'aggressività del terreno, danneggiamento per effetto creep e danneggiamento per installazione.

L'altro parametro è la resistenza a sfilamento (*Pullout*) che viene calcolata attraverso la seguente relazione:

$$T_{Pullout} = 2 \cdot L_e \cdot \sigma'_v \cdot f_b \cdot \tan(\delta)$$

Per geosintetico a maglie chiuse:

$$f_b = \frac{\tan(\delta)}{\tan(\varphi)}$$

dove:

- δ Rappresenta l'angolo di attrito tra terreno e rinforzo;
- $T_{Pullout}$ Resistenza mobilitata da un rinforzo ancorato per una lunghezza L_e all'interno della parte stabile del terreno;
- L_e Lunghezza di ancoraggio del rinforzo all'interno della parte stabile;
- f_b Coefficiente di *Pullout*;
- σ'_v Tensione verticale, calcolata alla profondità media del tratto di rinforzo ancorato al terreno.

Ai fini della verifica si sceglie il valore minimo tra T_{Allow} e $T_{Pullout}$, la verifica interna verrà soddisfatta se la forza trasmessa dal rinforzo generata a tergo del tratto rinforzato non supera il valore della T' .

Ancoraggi

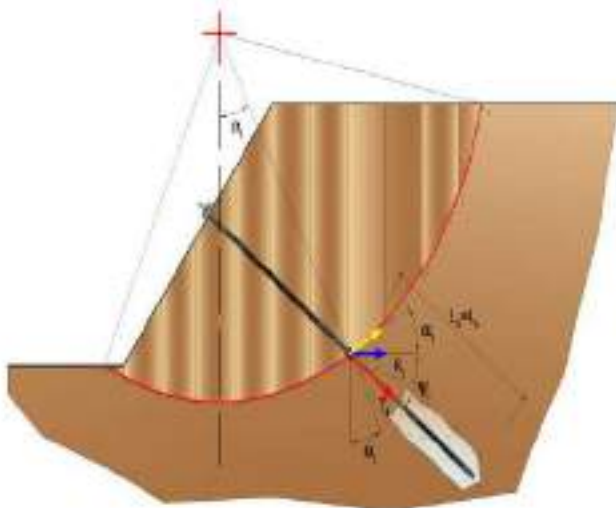
Gli ancoraggi, tiranti o chiodi, sono degli elementi strutturali in grado di sostenere forze di trazione in virtù di un'adeguata connessione al terreno.

Gli elementi caratterizzanti un tirante sono:

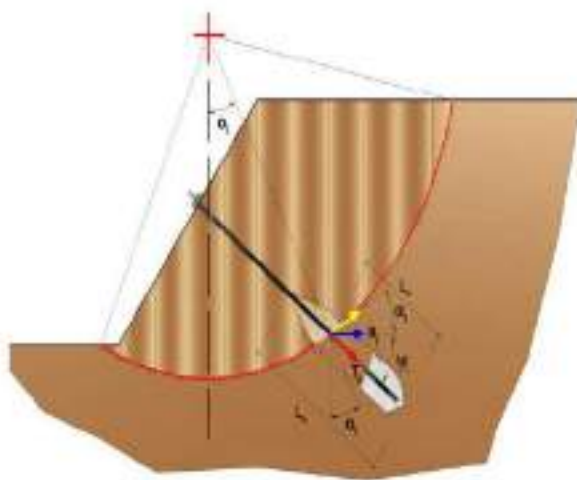
- **testata:** indica l'insieme degli elementi che hanno la funzione di trasmettere alla struttura ancorata la forza di trazione del tirante;
- **fondazione:** indica la parte del tirante che realizza la connessione con il terreno, trasmettendo al terreno stesso la forza di trazione del tirante.

Il tratto compreso tra la testata e la fondazione prende il nome di parte libera, mentre la fondazione (o bulbo) viene realizzata iniettando nel terreno, per un tratto terminale, tramite valvole a perdere, la malta, in genere cementizia. L'anima dell'ancoraggio è costituita da un'armatura, realizzata con barre, fili o trefoli.

Il tirante interviene nella stabilità in misura maggiore o minore efficacia a seconda se sarà totalmente o parzialmente (caso in cui è intercettato dalla superficie di scorrimento) ancorato alla parte stabile del terreno.



Bulbo completamente ancorato



Bulbo parzialmente ancorato

Le relazioni che esprimono la misura di sicurezza lungo una ipotetica superficie di scorrimento si modificheranno in presenza di ancoraggi (tirante attivo, passivo e chiodi) nel modo seguente:

- per i tiranti di *tipo attivo*, la loro resistenza si detrae dalle azioni (denominatore);

$$F_s = \frac{R_d}{E_d - \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}$$

- per tiranti di *tipo passivo* e per i *chiodi*, il loro contributo si somma alle resistenze (numeratore)

$$F_s = \frac{R_d + \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}{E_d}$$

Con R_j si indica la resistenza dell'ancoraggio e viene calcolata dalla seguente espressione:

$$R_j = T_d \cdot \cos \Psi_i \cdot \left(\frac{1}{i} \right) \cdot \left(\frac{L_e}{L_a} \right)$$

dove:

T_d tiro esercizio;
 Ψ_i inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale;
 i interasse;
 L_e lunghezza efficace;
 L_a lunghezza d'ancoraggio.

I due indici (i, j) riportati in sommatoria rappresentano rispettivamente l'i-esimo concio e il j-esimo ancoraggio intercettato dalla superficie di scorrimento dell'i-esimo concio.

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Lat./Long.	40,434749/15,457994
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma generica	

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie
 Classe d'uso: Classe II
 Vita nominale: 50,0 [anni]
 Vita di riferimento: 50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,44	2,4	0,28
S.L.D.	50,0	0,57	2,42	0,31
S.L.V.	475,0	1,58	2,42	0,42
S.L.C.	975,0	2,15	2,42	0,44

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,6336	0,2	0,0129	0,0065
S.L.D.	0,8208	0,2	0,0167	0,0084
S.L.V.	2,2752	0,24	0,0557	0,0278
S.L.C.	3,0644	0,28	0,0875	0,0438

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0557

Coefficiente azione sismica verticale 0,0278

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	4,4	679,2
2	10,55	680,81
3	12,38	681,16
4	21,52	688,13
5	33,05	702,4
6	51,54	711,84
7	78,4	725,04
8	89,18	731,36
9	92,86	733,2
10	95,91	734,7
11	108,21	739,13
12	111,11	740,58
13	116,45	742,94
14	125,26	746,47
15	133,75	750,13
16	141,93	753,79
17	148,52	757,45
18	154,93	760,96
19	186,85	771,78

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	4,4	674,0
2	12,07	674,44
3	17,8	675,42
4	28,66	677,79
5	42,29	685,89
6	62,78	696,06
7	83,28	708,52
8	99,78	715,12
9	100,28	715,44
10	101,26	715,69
11	115,89	720,61
12	119,62	722,47
13	124,22	724,5
14	132,95	728,0
15	140,72	732,68
16	149,24	737,48
17	156,88	741,74

18	164,87	747,24
19	186,85	765,67

Vertici superficie Nr...1

N	X m	y m
1	60,31	716,26
2	93,45	724,25
3	119,33	733,93
4	126,96	737,28
5	129,25	742,26
6	130,26	748,68

Vertici superficie Nr...2

N	X m	y m
1	70,79	721,41
2	77,87	723,4
3	89,76	727,76
4	100,48	733,79
5	103,22	737,37

Vertici superficie Nr...3

N	X m	y m
1	113,56	741,77
2	123,44	742,89
3	134,85	745,59
4	147,1	752,23
5	161,5	763,22

Vertici superficie Nr...4

N	X m	y m
1	86,21	729,73
2	93,14	730,02
3	108,7	733,13
4	119,08	737,49
5	129,45	742,47
6	152,01	759,37

Vertici superficie Nr...5

N	X m	y m
1	36,14	704,09
2	42,88	706,42
3	56,68	712,43
4	142,58	749,82
5	166,39	757,83
6	172,85	759,83
7	177,97	762,95
8	181,03	769,86

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,0
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.1		27	1968	2100	U.G. Detrito di falda	
2	10		40	1950	2000	U.G. Calcari bianco grigistri	

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=1,00

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	6,95	13,5	7,1511936,17	664,84	331,83	0,08	22,2	0,0	9926,1	10057,8	
2	6,95	13,6	7,1535735,05	1990,44	993,43	0,08	22,2	0,0	32200,9	19418,3	
3	6,95	13,5	7,1559543,94	3316,6	1655,32	0,08	22,2	0,0	54517,8	28777,4	
4	6,95	13,6	7,1592017,75	5125,39	2558,09	0,08	22,2	0,0	84903,4	41552,4	
5	6,95	15,7	7,22119588,8	6661,1	3324,57	0,08	22,2	0,0	109991,4	52637,1	
6	6,95	20,5	7,42129798,4	7229,77	3608,4	0,08	22,2	0,0	118296,2	57902,4	
7	6,95	20,5	7,42128532,6	7159,27	3573,21	0,08	22,2	0,0	117123,8	57391,4	
8	6,95	20,5	7,42134686,9	7502,06	3744,3	0,08	22,2	0,0	122824,1	59875,7	
9	6,95	22,4	7,52137448,0	7655,85	3821,06	0,08	22,2	0,0	125129,1	61763,7	
10	6,95	61,8	14,69 68037,7	3789,7	1891,45	0,08	22,2	0,0	69252,2	84653,2	

Superficie Nr...2 Fattore di sicurezza=1,10

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	3,19	15,8	3,31	2089,78	116,4	58,1	0,08	22,2	0,0	1353,1	3013,9

2	3,19	15,7	3,31	6283,88	350,01	174,69	0,08	22,2	0,0	5303,2	4528,0
3	3,19	19,8	3,39	10225,79	569,58	284,28	0,08	22,2	0,0	8812,7	6070,3
4	3,19	20,1	3,39	14682,41	817,81	408,17	0,08	22,2	0,0	12977,5	7729,1
5	3,19	20,1	3,39	19068,23	1062,1	530,1	0,08	22,2	0,0	17091,3	9348,4
6	3,19	22,1	3,44	23055,3	1284,18	640,94	0,08	22,2	0,0	20755,3	10972,7
7	3,19	29,5	3,66	23524,84	1310,33	653,99	0,08	22,2	0,0	21112,6	12009,3
8	3,19	29,3	3,65	22124,64	1232,34	615,06	0,08	22,2	0,0	19781,3	11421,1
9	3,19	29,3	3,65	18692,06	1041,15	519,64	0,08	22,2	0,0	16521,2	10039,6
10	3,19	50,1	4,97	8343,81	464,75	231,96	0,08	22,2	0,0	6033,2	9091,2

Superficie Nr...3 Fattore di sicurezza=1,07

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	4,76	6,4	4,79	7337,99	408,73	204,0	0,08	22,2	0,0	6693,3	6182,7
2	4,76	6,6	4,79	20172,47	1123,61	560,79	0,08	22,2	0,0	19053,1	10938,2
3	4,76	13,2	4,88	30377,23	1692,01	844,49	0,08	22,2	0,0	27851,1	14686,1
4	4,76	13,4	4,89	39072,35	2176,33	1086,21	0,08	22,2	0,0	36016,0	17908,9
5	4,76	22,6	5,15	43945,12	2447,74	1221,67	0,08	22,2	0,0	39683,1	20602,3
6	4,76	28,4	5,41	42558,86	2370,53	1183,14	0,08	22,2	0,0	38284,1	21239,9
7	4,76	28,7	5,42	41157,17	2292,46	1144,17	0,08	22,2	0,0	36965,7	20721,9
8	4,76	37,3	5,98	36671,1	2042,58	1019,46	0,08	22,2	0,0	33065,4	21515,0
9	4,76	37,4	5,99	27078,65	1508,28	752,79	0,08	22,2	0,0	23726,4	17057,4
10	4,76	37,3	5,98	9410,24	524,15	261,6	0,08	22,2	0,0	6519,1	8763,4

Superficie Nr...4 Fattore di sicurezza=1,08

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	6,56	2,3	6,56	22490,2	1252,7	625,23	0,08	22,2	0,0	21971,2	13192,3
2	6,56	11,1	6,68	53742,46	2993,46	1494,04	0,08	22,2	0,0	50069,2	24357,8
3	6,56	11,3	6,69	67450,9	3757,02	1875,14	0,08	22,2	0,0	63025,4	29373,6
4	6,56	18,4	6,91	77467,28	4314,93	2153,59	0,08	22,2	0,0	71002,1	33707,4
5	6,56	22,8	7,11	84245,91	4692,5	2342,04	0,08	22,2	0,0	76932,3	37308,7
6	6,56	25,6	7,27	80299,52	4472,68	2232,33	0,08	22,2	0,0	73191,0	36698,8
7	6,56	30,9	7,64	70124,88	3905,96	1949,47	0,08	22,2	0,0	63866,4	34742,7
8	6,56	36,8	8,19	50065,35	2788,64	1391,82	0,08	22,2	0,0	45194,4	28959,7
9	6,56	36,8	8,18	24942,13	1389,28	693,39	0,08	22,2	0,0	20735,7	17377,3
10	6,56	36,9	8,19	8553,41	476,42	237,78	0,08	22,2	0,0	4774,4	9862,2

Superficie Nr...5 Fattore di sicurezza=1,03

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	14,42	21,7	15,52	23050,24	1283,9	640,8	0,08	22,2	0,0	17289,3	20339,8
2	14,42	23,5	15,73	57663,7	3211,87	1603,05	0,08	22,2	0,0	49106,6	34531,2
3	14,42	23,5	15,72	80613,48	4490,17	2241,06	0,08	22,2	0,0	70464,4	43736,2
4	14,42	23,5	15,72	127649,3	7110,06	3548,65	0,08	22,2	0,0	114222,8	62624,0
5	14,42	23,5	15,73	135100,6	7525,1	3755,8	0,08	22,2	0,0	121149,1	65637,7
6	14,42	23,5	15,72	127436,2	7098,2	3542,73	0,08	22,2	0,0	114024,6	62538,5

7	14,42	23,5	15,73118296,1	6589,1	3288,63	0,08	22,2	0,0105515,3	58887,4
8	14,42	20,3	15,37144604,4	8054,46	4020,0	0,08	22,2	0,0130644,0	67854,2
9	14,42	18,6	15,21198800,5	11073,19	5526,65	0,08	22,2	0,0181593,7	88305,7
10	14,42	39,6	18,799662,66	5551,21	2770,62	0,08	22,2	0,088369,5	64212,5

