

Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea specialistica in Ingegneria per l' Ambiente e il Territorio

Tesi di laurea in: **Geologia Tecnica**

Titolo tesi

**VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI
STABILITA' DELL'ABITATO DI SUCCISO
(PROVINCIA DI REGGIO EMILIA)**

Relatore:

Prof.ssa Lisa Borgatti

Candidato:

Fabio Antonio Gualano

Correlatore:

Prof. Alessandro Corsini

In collaborazione con:

Giuseppe Caputo

INDICE

Pag.

INTRODUZIONE

5

CAPITOLO 1 - RICHIAMI TEORICI SULLA STABILITÀ DEI PENDII 7

1.1 PENDII ARTIFICIALI

7

1.2 PENDII NATURALI

9

1.2.1 Classificazione dei fenomeni franosi

10

1.3 IL FATTORE DI SICUREZZA

14

1.3.1 Variabili che influenzano il fattore di sicurezza

15

1.3.2 Calcolo del fattore di sicurezza

16

1.3.2.1 Calcolo del fattore di sicurezza di uno scivolamento planare

16

1.3.2.2 Calcolo del fattore di sicurezza di uno scorrimento traslazionale

17

1.3.2.3 Calcolo del fattore di sicurezza per superfici di rottura curve

18

1.3.2.4 Alcune curve sperimentali per la determinazione del fattore di sicurezza

21

1.3.3 Normativa e commenti sul fattore di sicurezza

24

CAPITOLO 2 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-FISICO

25

2.1 LOCALIZZAZIONE

25

2.2 CLIMA

29

CAPITOLO 3 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

34

3.1 FORMAZIONI AFFIORANTI

34

3.1.1 Tettonica e sismicità

36

3.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

37

3.2.1 Forme strutturali, depositi glaciali e periglaciali

37

3.2.2 Forme e depositi dovuti alle acque correnti superficiali

38

3.2.3 Forme di degradazione dei versanti e corpi di frana

39

CAPITOLO 4 - CRONISTORIA DELLE RIATTIVAZIONI STORICHE E RECENTI	40
4.1 EVENTI CONNESSI AL TRASFERIMENTO	40
4.2 ANALISI DELLE CAUSE	45
4.2.1 Cause meteorologiche	45
4.2.2 Cause idrologiche	48
CAPITOLO 5 – ANALISI COMPARATA DELLE FOTO AEREE: L’EVOLUZIONE DELLA FRANA	49
5.1 RIPRESA DEL LUGLIO 1954	49
5.1.1 Torrente Liocca	50
5.1.2 Rio Salettola e Rio Marzolaro	51
5.2 RIPRESA DEL LUGLIO 1973	52
5.2.1 Torrente Liocca	53
5.2.2 Rio Salettola	54
5.2.3 Rio Marzolaro	54
5.3 RIPRESA DEL LUGLIO 1978	55
5.3.1 Torrente Liocca	56
5.3.2 Rio Salettola e Rio Marzolaro	57
5.4 RIPRESA DEL LUGLIO 1988	57
5.4.1 Torrente Liocca	58
5.4.2 Rio Salettola e Rio Marzolaro	59
5.5 RIPRESA DEL MAGGIO 2004	59
5.6 INTERPRETAZIONE DEI DATI RICAVATI DALLE FOTO AEREE	61
5.7 OPERE IDRAULICHE	63
5.7.1 Pennelli	63
5.7.2 Briglie	65

CAPITOLO 6 – STUDI PRECEDENTI E PERIMETRAZIONE**68****6.1 STUDI PRECEDENTI****68**

6.1.1 Carta di sintesi degli elementi geologico - applicativi

68

6.1.2 Atlante SCAI

71

6.1.3 Carta inventario dei dissesti

73

6.2 RELAZIONE GENERALE SULLO STATO DEL DISSESTO**74**

6.2.1 Dissesto di Succiso Superiore

76

6.2.2 Dissesto di Succiso di Mezzo

77

6.2.3 Dissesto di Succiso Inferiore

77

6.2.4 Dissesti del versante di Succiso

78

6.3 PROPOSTA DI PERIMETRAZIONE**79****CAPITOLO 7 – MONITORAGGIO TOPOGRAFICO E ANALISI
DEI DATI PS****83****7.1 DESCRIZIONE DELLA RETE DI MONITORAGGIO****83****7.2 PLANIMETRIA E CARATTERISTICHE DELLA RETE****87****7.3 DATI E RISULTATI****88**

7.3.1 Controllo della stabilità della stazione di misura

89

7.3.2 Succiso Superiore

91

7.3.3 Succiso di Mezzo

93

7.3.4 Succiso Inferiore

94

7.3.5 Spostamento in distanza inclinata dei prismi di riferimento

96

7.4 POST-PROCESSING**97**

7.4.1 Variabilità delle coordinate dei prismi di riferimento

97

7.4.2 Post-processing con calcolo ad orientamento

100

7.4.3 Post-processing con calcolo su stazione libera

103

7.5 IL PIANO STRAORDINARIO DI TELERILEVAMENTO AMBIENTALE**105**

7.5.1 Mappe di misure di accelerazioni derivate

106

7.5.2 Dati PSIn-SAR

107

	Pag.
CAPITOLO 8 – INDAGINI GEOGNOSTICHE-MONITORAGGIO INCLINOMETRICO	115
8.1 MODALITÀ DI ESECUZIONE SONDAGGIO PER TUBO INCLINOMETRICO	115
8.2 ANALISI DELLE CAROTE	118
8.2.1 Sondaggio SUCC60	118
8.2.2 Sondaggio SUCC61	121
8.2.3 Sondaggio SUCC59	122
8.3 MONITORAGGIO INCLINOMETRICO	124
8.3.1 Letture sugli inclinometri installati nel 1994	129
8.3.2 Letture sugli inclinometri installati nel 2010	131
8.3.2.1 <i>Inclinometro SUCC59</i>	132
8.3.2.2 <i>Inclinometro SUCC60</i>	134
8.3.2.3 <i>Inclinometro SUCC61</i>	136
8.4 SISMICA A RIFRAZIONE	138
 CAPITOLO 9 – MODELLIZZAZIONE DEL FENOMENO FRANOSO	 142
9.1 ARCGIS	142
9.2 MODELLIZZAZIONE	146
9.2.1 Modello 1	148
9.2.2 Modello 2	155
9.2.3 Modello 3	160
 CONCLUSIONI	 171
 BIBLIOGRAFIA	 175

INTRODUZIONE

I dissesti idrogeologici sono diffusi su gran parte del territorio italiano e la probabilità di catastrofi di questo tipo è particolarmente alta nel nostro paese. Ciò dipende dalla suscettibilità che i terreni mostrano verso le diverse tipologie di dissesto per frana, ma anche, soprattutto per quanto riguarda gli ultimi decenni, dalla crescente antropizzazione del territorio.

In particolare il rischio idrogeologico può essere definito come la combinazione della pericolosità geologica e della potenziale vulnerabilità di un territorio, espresso in termini di rapporto tra i prevedibili eventi di pericolosità geologica, la loro intensità e frequenza e le relative interferenze con le attività antropiche (Bolt et al., 1975).

La presente Tesi di Laurea ha lo scopo di descrivere ed analizzare i fenomeni franosi che interessano i centri abitati di Succiso Superiore, Inferiore e di Mezzo, nonché quello di analizzare il sistema di monitoraggio presente e proporre gli interventi di consolidamento più appropriati al caso in esame.

I centri abitati in questione si trovano in Comune di Ramiseto, Provincia di Reggio Emilia, nella regione Emilia-Romagna (Fig.1).

L'area studiata, avente un'estensione di circa 8,4 km², è situata nell'alto bacino del Torrente Enza, in destra idrografica del Torrente Liocca in un intervallo altimetrico compreso tra gli 800 e i 1300 m s.l.m. circa.

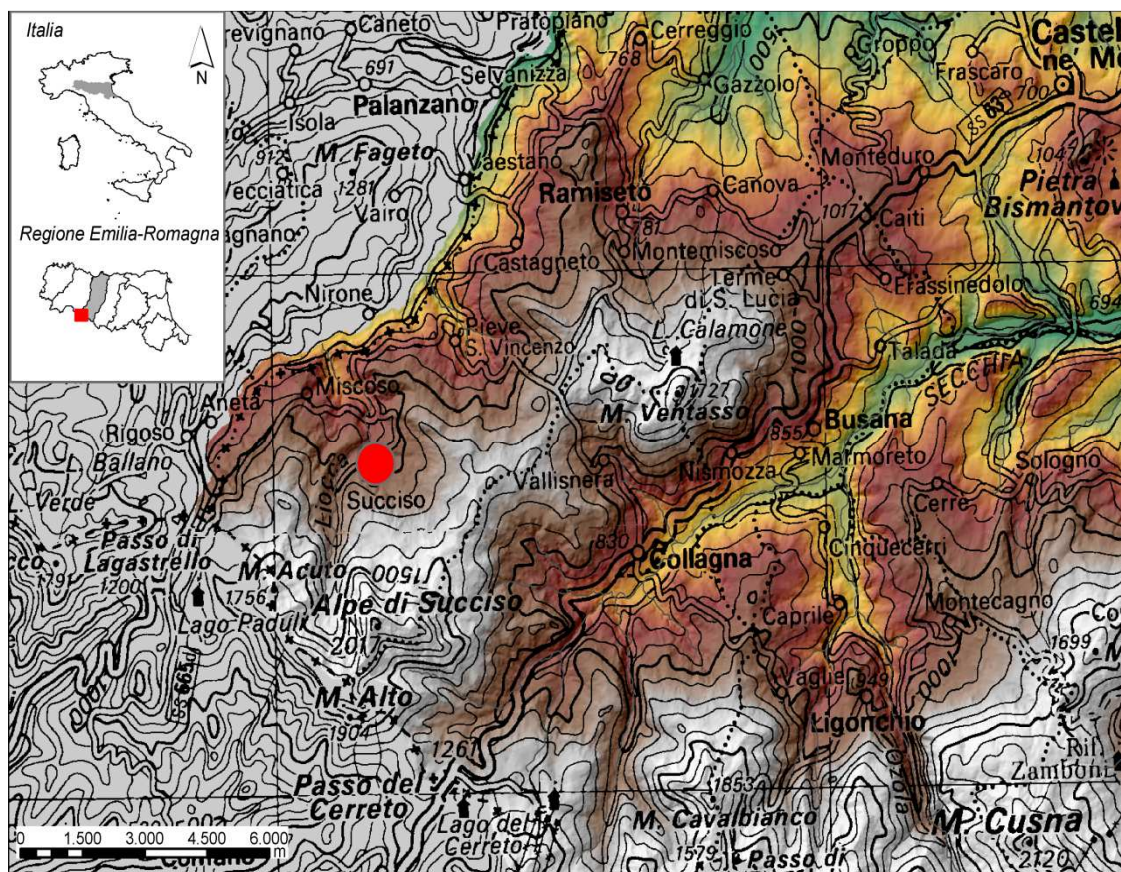


Fig. 1: Localizzazione dell'area studiata (indicata in carta con il pallino rosso)

Quest'area è stata storicamente coinvolta in diversi movimenti franosi già citati da Almagià nel 1907: la loro riattivazione fu tale da determinare, nel 1966, la richiesta di trasferimento dell'abitato stesso ai sensi del Regio Decreto del 1908.

A seguito di ulteriori riattivazioni dei dissesti (soprattutto nel 1966 e nel 1972) l'abitato di Succiso è stato inserito nello SCAI (Atlante dei Centri Abitati Instabili), redatto nel 1993 da A. Annovi e G. Simoni.

L'area in esame è stata soggetta a diversi studi riguardanti gli aspetti geologici e geomorfologici; esistono inoltre alcune relazioni tecniche sui dissesti che hanno portato a formulare diverse ipotesi sulla loro natura, estensione e cause.

Gli obiettivi del presente lavoro sono:

- L'inquadramento dei fenomeni franosi nel contesto geologico dell'area;
- La determinazione di un modello geometrico bidimensionale dei fenomeni;
- L'analisi di stabilità di alcune porzioni del versante e l'individuazione dei più idonei interventi di stabilizzazione sulla porzione inferiore del versante;
- La descrizione e l'analisi del sistema di monitoraggio presente e la correlazione tra i dati e l'entità del fenomeno in riferimento alle sue cause;
- Proporre le linee generali per ulteriori indagini ed interventi di consolidamento.

Grazie alla collaborazione con il Servizio Tecnico di Bacino degli affluenti del Po (sede di Reggio Emilia) e al supporto dell'Università di Modena e Reggio Emilia è stato possibile analizzare i dati relativi ad una serie di campagne d'indagine geognostica e topografica (risalente al periodo 1994-2011), nonché i dati provenienti dalle letture sugli inclinometri installati in zona.

Oltre a queste analisi, i metodi di studio impiegati sono stati l'analisi dei dati PS (fonte Portale Cartografico Nazionale), il rilievo di campagna, l'analisi e la comparazione di foto aeree (anni '54 - '55; '73; '88 - '89; 2004) nonché la documentazione bibliografica (carte geologiche).

Nell'elaborazione dei dati cartografici sono stati utilizzati i software ArcGis e Microsoft Excel, mentre per la modellizzazione del fenomeno è stato utilizzato il software Plaxis 2D.

CAPITOLO 1

RICHIAMI TEORICI SULLA STABILITA' DEI PENDII

Un pendio si definisce instabile quando è potenzialmente o effettivamente soggetto a qualsiasi forma di movimento di terreni o rocce dovuto essenzialmente alla gravità o al regime delle acque superficiali e sotterranee.

Nello studio della stabilità dei pendii occorre distinguere i pendii naturali dai pendii artificiali, non solo e non tanto perché i volumi in gioco e le condizioni di carico sono spesso molto diversi, o perché alcuni metodi di analisi sono più adatti allo studio della stabilità degli uni o degli altri, ma perché nei due diversi casi è generalmente molto diversa la conoscenza qualitativa e quantitativa della geometria superficiale e profonda, e delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni.

1.1 PENDII ARTIFICIALI

Nei pendii artificiali (ad esempio i fianchi dei rilevati stradali, degli argini o delle dighe in terra) quasi sempre la geometria è semplice e nota, i terreni sono materiali da costruzione omogenei ed hanno caratteristiche fisico-meccaniche note: lo schema bidimensionale (problema piano) è aderente alla realtà fisica, poiché si tratta di opere con una dimensione di gran lunga prevalente rispetto alle altre due (la lunghezza del rilevato o dello scavo è di norma molto maggiore dell'altezza) e con variazioni graduali della sezione trasversale, le condizioni di carico possono variare rapidamente nel tempo, ad esempio per gli argini al variare del livello del fiume, o per le dighe al variare del livello di invaso.

Nel caso degli scavi le condizioni sono in un certo senso intermedie tra quelle dei pendii naturali e artificiali, poiché la geometria superficiale è ben definita, ma il terreno di cui è costituito il pendio è naturale, e quindi può essere caratterizzato anche da forte variabilità spaziale, le condizioni di carico, legate ai tempi e ai modi di realizzazione dello scavo e di permanenza dello scavo aperto, possono variare sensibilmente nel tempo.

Nei pendii artificiali, ovvero realizzati dall'uomo con la costruzione di un'opera in terra o con scavi, i metodi all'equilibrio limite per la verifica della stabilità di pendii artificiali considerano del terreno omogeneo, geometricamente definito dalla superficie topografica e dalla superficie di scorrimento potenziale.

Una volta fissata la forma della superficie di scorrimento, tali metodi si prestano a soluzioni adimensionali basate sulla traslazione o rotazione di un blocco rigido (concio).

Nell'ambito dei pendii artificiali, occorre tuttavia distinguere tra pendii di rilevato e pendii di scavo.

Nel primo caso si ha di norma una differenza tra il terreno naturale di fondazione e il terreno artificiale di costruzione del rilevato.

La messa in opera del rilevato, determina nel terreno di fondazione un incremento delle tensioni totali e induce un processo di consolidazione, più o meno rapido a seconda della permeabilità del terreno.

Pertanto occorre associare alla verifica di stabilità del pendio anche la verifica di capacità portante a breve e a lungo termine del terreno di fondazione.

Nel corpo dei rilevati stradali le pressioni interstiziali sono, di norma, nulle (o negative) e la verifica di stabilità del pendio può essere svolta in termini di tensioni efficaci.

Nel corpo dei rilevati arginali e delle dighe in terra le pressioni interstiziali variano con le condizioni di carico idraulico nello spazio e nel tempo.

In condizioni di moto di filtrazione assente o stazionario è possibile misurare o calcolare la distribuzione delle pressioni interstiziali e svolgere l'analisi di stabilità in termini di tensioni efficaci.

In condizioni di moto di filtrazione transitorio, ad esempio dopo uno svaso rapido, se il terreno è poco permeabile, la distribuzione delle pressioni interstiziali è difficilmente determinabile e l'analisi di stabilità viene svolta in termini di tensioni totali, con riferimento alla resistenza al taglio non drenata relativa alla pressione di consolidazione iniziale: tale condizione è la più critica, poiché viene a mancare la pressione dell'acqua che sostiene il pendio (e quindi aumenta la domanda di resistenza), mentre si assume invariata la capacità di resistenza.

Nel tempo, col dissiparsi delle sovrappressioni interstiziali, la resistenza al taglio tenderà invece a crescere.

Nel caso di pendii di scavo, l'analisi di stabilità presenta in genere maggiori incertezze a causa della variabilità del terreno naturale che costituisce il pendio.

Per scavi sotto falda si può determinare un moto di filtrazione ascendente: sono pertanto necessarie le verifiche al sifonamento e di stabilità del fondo scavo.

Ad esempio, se si esegue uno scavo in un terreno sotto falda e si mantiene asciutto il fondo dello scavo per permettere le lavorazioni, si produce un'alterazione dello stato tensionale del terreno circostante: bisognerà quindi mettere in conto che le tensioni totali si riducono man mano che lo scavo procede, mentre le pressioni interstiziali e le tensioni efficaci variano con tempi che dipendono dalla permeabilità del terreno.

Nei terreni granulari molto permeabili (sabbie e ghiaie) la falda assume la posizione di equilibrio man mano che procede lo scavo (Fig. 1.1), cioè non solo le pressioni totali, ma anche le pressioni interstiziali ed efficaci variano in tempo reale, e il moto di filtrazione è in regime stazionario.

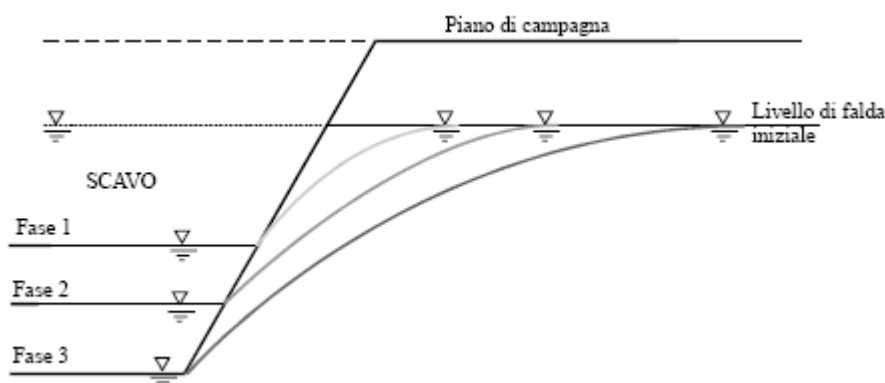


Fig 1.1: Fasi di uno scavo in un terreno granulare

Per cui in questo caso le condizioni di stabilità sono indipendenti dal tempo (condizioni drenate) e le verifiche di stabilità possono e devono essere eseguite in termini di tensioni efficaci, previa valutazione del reticolo idrodinamico.

Invece, nei terreni a grana fine poco permeabili (limi e argille), durante lo scavo a causa della diversa distribuzione delle tensioni nascono sovrappressioni interstiziali che non possono dissiparsi rapidamente.

Le condizioni di stabilità sono dipendenti dal tempo, e poiché difficilmente si conosce l'evoluzione delle pressioni interstiziali in regime di filtrazione transitorio, le verifiche di stabilità devono essere eseguite sia per condizioni non drenate a breve termine (in tensioni totali), sia per condizioni drenate a lungo termine (in tensioni efficaci): la condizione più critica per la stabilità è a lungo termine.

Infatti a causa dello scarico tensionale prodotto dallo scavo si ha una diminuzione immediata della domanda di resistenza, mentre le tensioni efficaci, e quindi la capacità di resistenza, si riducono lentamente con il dissiparsi delle sovrappressioni interstiziali negative (sottopressioni).

Pertanto un fronte di scavo, inizialmente stabile, può collassare dopo un certo tempo.

1.2 PENDII NATURALI

I pendii naturali sono di solito caratterizzati da una morfologia superficiale e profonda complessa, da una grande variabilità spaziale delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, e di norma da una meno rapida variazione delle condizioni di carico (salvo il caso in cui esse siano determinate da azioni sismiche).

Le indagini geologiche, idrogeologiche e geotecniche, la cui estensione ed approfondimento devono essere rapportati, in termini anche economici, all'importanza, alle finalità, all'estensione ed alla gravità del problema in studio ed alla fase di progettazione, possono solo fornire un quadro approssimato e parziale del fenomeno reale.

Per le verifiche di stabilità dei pendii naturali si ricorre frequentemente, nell'ambito dei metodi all'equilibrio limite, al metodo delle strisce o dei conci svedesi.

La grande difficoltà di questi metodi consiste nel determinare la superficie di scorrimento critica del pendio, la quale, se non è ben determinata, può dare problemi di applicabilità e attendibilità del metodo stesso.

Il problema della determinazione della superficie di scorrimento critica si complica in considerazione del fatto che essa varia a seconda delle tipologie di frane.

Per un'accurata indagine della stabilità dei pendii naturali sarà dunque necessario conoscere la tipologia della frana al fine di determinarne i meccanismi che possono causarla, l'eventuale volume in movimento e la sua pericolosità.

1.2.1 CLASSIFICAZIONE DEI FENOMENI FRANOSI

I movimenti franosi possono essere caratterizzati da diverse forme della superficie di scorrimento e da diversi meccanismi di rottura.

L'individuazione dell'andamento della superficie di rottura (effettiva o potenziale) e del cinematismo di collasso è importante per la scelta del metodo di analisi più appropriato e degli eventuali interventi di stabilizzazione e di mitigazione degli effetti.

Per questo motivo sono stati proposti diversi sistemi di classificazione delle frane tra i quali il più noto e utilizzato è il sistema di Varnes (1978), che distingue sei classi fondamentali:

- 1) **Crolli (falls)**: caratterizzati dallo spostamento dei materiali in caduta libera e dal successivo movimento, per salti e/o rimbalzi, dei frammenti di roccia (Fig. 1.2).

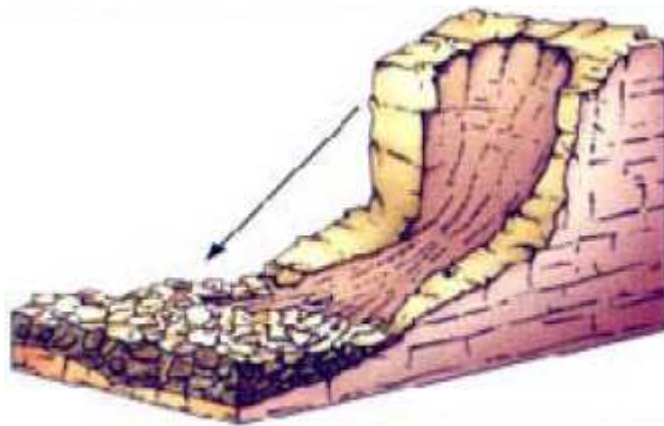


Fig. 1.2: Schematizzazione di una frana di crollo

Generalmente si verificano in versanti interessati da preesistenti discontinuità strutturali (faglie e piani di stratificazione) e sono, di norma, improvvisi con velocità di caduta dei materiali elevata. La frana di crollo avviene in pareti subverticali di roccia, dalle quali si staccano blocchi di materiale che precipitano al piede della scarpata.

Le cause determinanti sono le escursioni termiche (gelo e disgelo), l'erosione alla base, le azioni sismiche e quelle antropiche.

- 2) **Ribaltamenti (topples)**: movimenti simili ai crolli, determinati dalle stesse cause e caratterizzati dal ribaltamento frontale del materiale che ruota intorno ad un punto al di sotto del baricentro della massa (Fig. 1.3).

I materiali interessati sono generalmente rocce lapidee che hanno subito intensi processi di alterazione e che presentano delle superfici di discontinuità (faglie o superfici di strato).

Le frane per ribaltamento si verificano di norma nelle zone dove le superfici di strato risultano essere sub-verticali o lungo le sponde dei corsi d'acqua per scalzamento al piede (Fig. 1.4).



Fig. 1.3: Ribaltamento di superfici sub- verticali

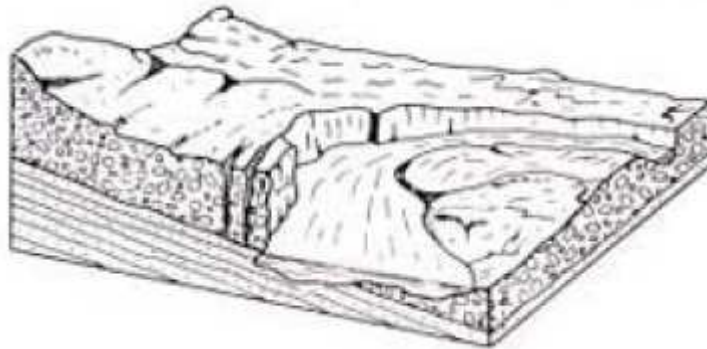


Fig. 1.4: Ribaltamento lungo le sponde di un corso d'acqua per scalzamento al piede

- 3) Scorrimenti (slides): in base alla forma della superficie di scorrimento si distinguono in scorrimenti rotazionali e scorrimenti traslativi.
 Lo scorrimento rotazionale (Fig. 1.5) avviene in terreni o rocce dotati di coesione e si sviluppa lungo una superficie generalmente concava, che si produce al momento della rottura del materiale.
 La parte inferiore del cumulo di frana tende ad allargarsi e dà luogo spesso a frane di colamento.

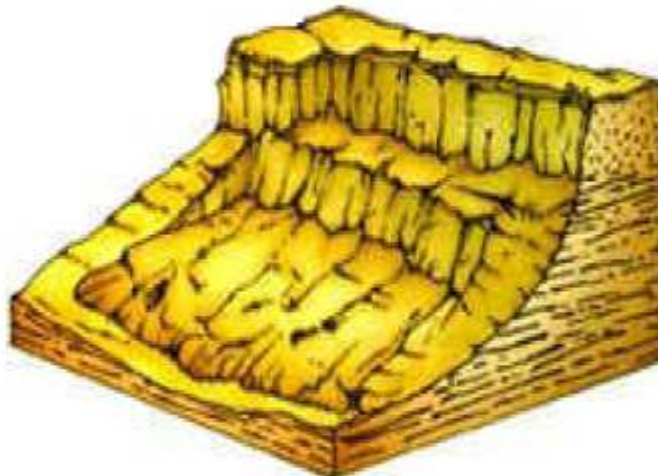


Fig. 1.5: Schematizzazione di uno scorrimento rotazionale

Lo scorrimento traslazionale (Fig. 1.6) invece consiste nel movimento di masse rocciose o di terreni lungo una superficie di discontinuità poco scabrosa e preesistente.
 Le principali cause degli scorrimenti sono le acque di infiltrazione, le azioni antropiche e i terremoti.

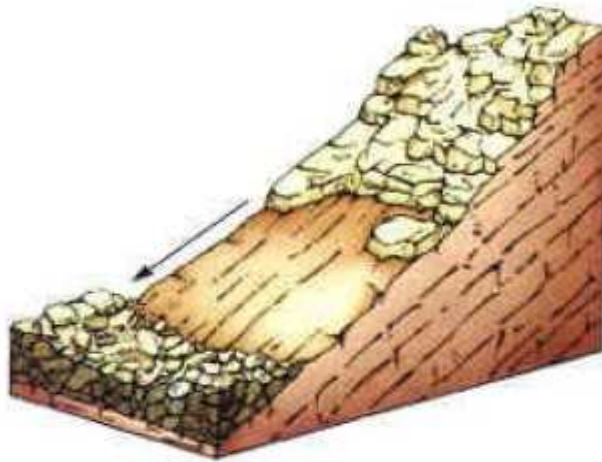


Fig. 1.6: Schematizzazione di uno scorrimento traslazionale

- 4) Espansioni laterali (lateral spreads): sono movimenti complessi, a componente orizzontale prevalente, che si verificano quando una massa rocciosa lapidea e fratturata giace su un terreno dal comportamento molto plastico (Fig. 1.7).

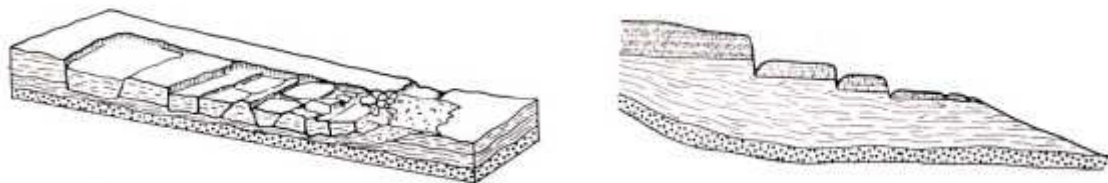


Fig. 1.7: Schematizzazione di espansioni laterali

- 5) Colamenti (flows): sono movimenti, anche molto estesi, che si verificano nei terreni sciolti (Fig.1.8).

La superficie di scorrimento non è ben definibile, la velocità è variabile da punto a punto della massa in frana (talvolta è molto elevata con conseguenze catastrofiche).

Il materiale in frana ha il comportamento di un fluido viscoso e segue l'andamento di preesistenti solchi di erosione che ne costituiscono l'alveo.



Fig. 1.8: Schematizzazione di un colamento

- 6) Fenomeni complessi (complex): sono combinazioni di due o più tipi di frane precedentemente descritte.

I fenomeni franosi possono essere anche classificati in base alla velocità degli spostamenti (Tab 1.1) e al volume del corpo di frana (Tab. 1.2).

Tabella 1.1: Classificazione di frana in base alla sua velocità (Cruden – Varnes, 1994)

Classificazione	Danni osservabili	Velocità
Estremamente rapida	Catastrofe di eccezionale violenza Edifici distrutti, molti morti, fuga impossibile	5 m/s
Molto rapida	Perdita di alcune vite umane Velocità troppo elevata per l'evacuazione delle persone	3 m/min
Rapida	Evacuazione possibile Distruzione di infrastrutture ed immobili	1,8 m/h
Moderata	Alcune strutture temporanee o poco danneggiabili possono essere mantenute	13 m/mese
Lenta	Possibilità di intraprendere lavori di rinforzo e restauro durante il movimento Le strutture meno danneggiabili possono essere mantenute con frequenti lavori di rinforzo	1,6 m/anno
Molto lenta	Alcune strutture permanenti possono non essere danneggiate	16 mm/anno
Estremamente lenta	Impercettibile senza strumenti di monitoraggio Possibile costruzione di edifici (con precauzioni)	< 16 mm/anno

Tabella 1.2: Classificazione di frana in base al volume coinvolto (Fell, 1994)

Classificazione	Volume (m³)
Estremamente grande	$>5*10^6$
Molto grande	$1*10^6 - 5*10^6$
Mediamente grande	$2,5*10^5 - 1*10^6$
Media	$5*10^4 - 2,5*10^5$
Piccola	$5*10^3 - 5*10^4$
Molto piccola	$5*10^2 - 5*10^3$
Estremamente piccola	$< 5*10^2$

1.3 IL FATTORE DI SICUREZZA

Il fattore di sicurezza descrive la condizione di equilibrio del pendio, il quale è analizzato tramite il metodo dell'equilibrio limite che è sicuramente il metodo di analisi di stabilità più utilizzato in campo geologico-tecnico.

In alternativa, si adottano metodi che prendono in considerazione lo stato tensionale e deformativo del versante, ovvero degli elementi che lo costituiscono.

In generale, il calcolo di una soluzione all'equilibrio limite si svolge 3 fasi:

1. Si individua un meccanismo arbitrario di collasso del versante e si traccia una superficie di scorrimento di primo tentativo; essa può consistere di una qualsiasi combinazione di linee rette o curve assemblate tra loro in modo da riprodurre il meccanismo di rottura ipotizzato.
2. Si calcola l'equilibrio statico della massa risolvendo le forze o i momenti e calcolando la resistenza mobilizzata lungo la superficie predefinita.
3. Si esamina l'equilibrio statico rispetto ad un'altra superficie fino a trovare il cinematismo critico per il problema in esame.

In pratica, il metodo consiste nel calcolo delle forze o momenti agenti lungo una superficie di scorrimento predefinita e delle resistenze disponibili lungo la stessa superficie.

La condizione di equilibrio limite è verificata quando le forze o momenti agenti uguagliano quelle resistenti: in questo caso lo stato tensionale medio lungo la superficie di scorrimento giace sull'involuppo di rottura del terreno ed il versante si trova sul punto di collasso.

Nei pendii stabili, la resistenza mobilizzata in condizioni di equilibrio statico è minore di quella disponibile e ciò viene espresso convenzionalmente tramite un fattore di sicurezza F definito come:

$$F = \frac{\text{resistenze disponibili}}{\text{resistenze mobilizzate}}$$

Il fattore di sicurezza del versante è quello corrispondente alla superficie di scorrimento più critica (F più basso) tra le varie superfici di prova.

Le resistenze disponibili nel terreno sono generalmente definite attraverso il criterio di Mohr - Coulomb, anche se il metodo può essere applicato considerando altri criteri di rottura.

Il metodo dell'equilibrio limite si basa sulle seguenti assunzioni (Nash, 1987):

- la massa di terreno è considerata perfettamente rigida
- la rottura del versante avviene per scorrimento di una massa di terreno lungo una superficie
- al momento della rottura, la resistenza del terreno viene completamente mobilizzata lungo l'intera superficie

Tali assunzioni permettono una risoluzione agevole e rapida dei problemi di stabilità ma introducono alcune importanti limitazioni che fanno del metodo dell'equilibrio limite uno strumento insufficiente per riprodurre in dettaglio il comportamento meccanico e reale del versante.

1.3.1 VARIABILI CHE INFLUENZANO IL FATTORE DI SICUREZZA

Analizziamo il pendio generale di figura sottostante e consideriamo un concio (evidenziato in rosso) di terreno posto sopra un'ipotetica superficie di scorrimento (Fig. 1.9):

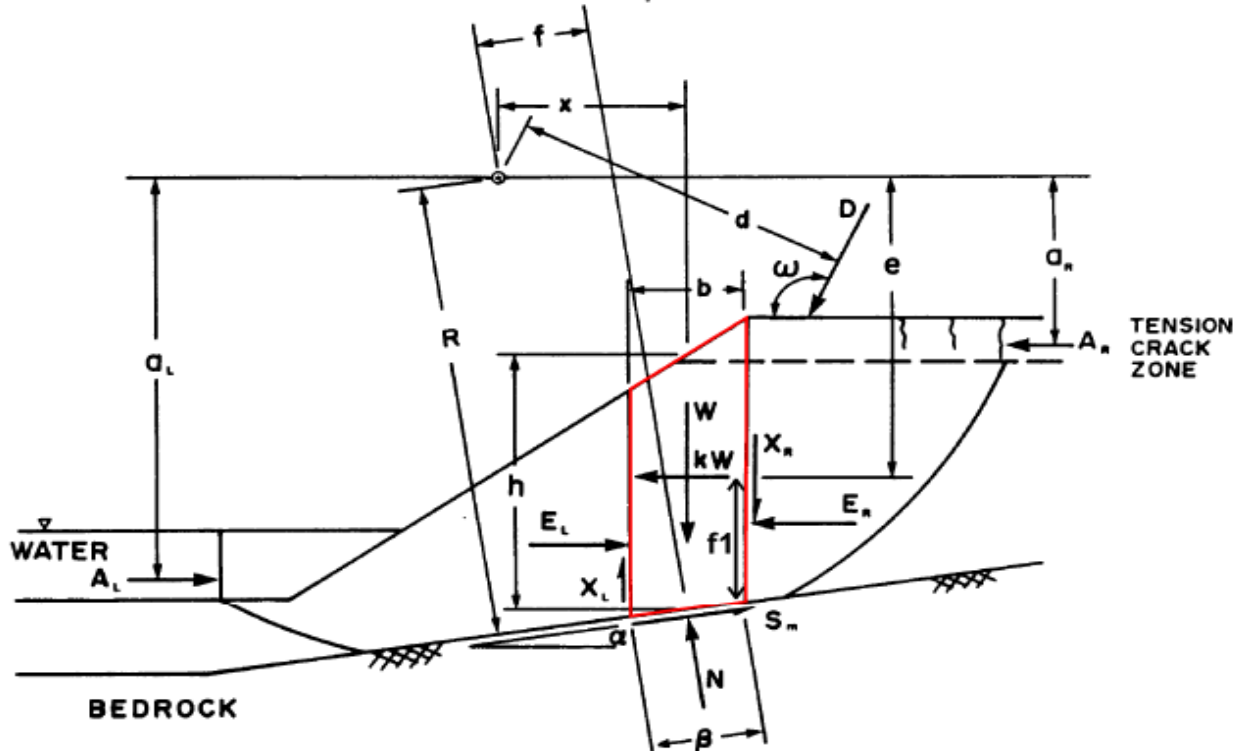


Fig. 1.9: Schematizzazione di un concio all'interno della superficie di scorrimento e relative forze agenti su di esso

Le variabili in gioco che influenzano il fattore di sicurezza risultano:

W = peso totale del concio di larghezza **b** e altezza **h**

N = forza totale normale alla base del concio

S_m = forza di taglio agente (mobilizzata) alla base di ogni concio

E = forza normale interconco

X = forza di taglio interconco

D = carico esterno lineare

kW = carico sismico orizzontale applicato al centroide di ogni concio

A = risultante delle forze esterne dell'acqua

l = lunghezza della base del concio

α = angolo di inclinazione della base del concio

ω = angolo di inclinazione del carico lineare **D**

f = distanza tra il punto di applicazione di **N** e il centro di rotazione o dei momenti

f_l = distanza tra il punto di applicazione di **E** ed il centro di rotazione o dei momenti

x = distanza orizzontale tra la linea centrale di ogni concio e il centro di rotazione o dei momenti

e = distanza verticale tra il centroide di ogni concio e il centro di rotazione o dei momenti

d = distanza perpendicolare dalla risultante di un carico esterno lineare **D** e il centro di rotazione o dei momenti

a = distanza perpendicolare dalla risultante delle forze esterne dell'acqua e il centro di rotazione o dei momenti

R = raggio di una superficie di scorrimento circolare o braccio del momento legato alla resistenza mobilizzata **S_m** per una superficie di scorrimento di forma non-circolare.

1.3.2 CALCOLO DEL FATTORE DI SICUREZZA

Il calcolo del fattore di sicurezza varia di caso in caso.

In questa sezione illustreremo il calcolo del fattore di sicurezza a seconda che si tratti di uno scivolamento planare, traslazionale o di una superficie di rottura curva.

Inoltre si mostreranno alcune curve sperimentali per il calcolo del fattore di sicurezza.

1.3.2.1 CALCOLO DEL FATTORE DI SICUREZZA DI UNO SCIVOLAMENTO PLANARE

Nel caso di superfici di rottura planari, il metodo dell'equilibrio limite permette di ottenere soluzioni staticamente determinate.

Il meccanismo di scivolamento planare prevede lo scivolamento di un blocco lungo una superficie piana di scivolamento immergente a franapoggio meno inclinata del pendio che in genere si connette, nella parte alta del pendio, con una frattura di trazione verticale.

Tale tipo di meccanismo è comune in ammassi rocciosi fratturati, in cui la superficie di discontinuità immerge a franapoggio meno inclinata del pendio, oppure in rocce deboli, nel caso di pendii acclivi, in cui la superficie di rottura può essere di neoformazione.

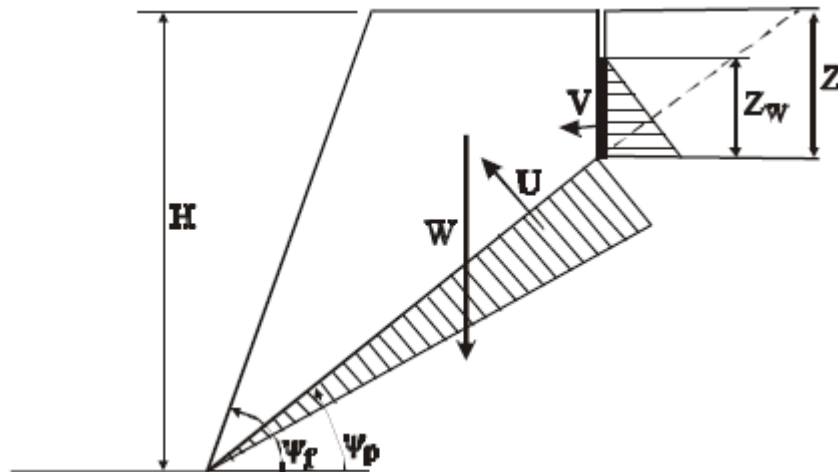


Fig. 1.10: Schema di scivolamento planare con frattura di trazione

$$F = \frac{c'l + (W \cos \psi_f - U - V \sin \psi_f) \tan \phi}{W \sin \psi_f + V \cos \psi_f}$$

dove:

L = Lunghezza dell'ipotetica superficie di scivolamento

W = Peso del terreno

U = Spinta dell'acqua

V = Risultante degli sforzi di trazione

1.3.2.2 CALCOLO DEL FATTORE DI SICUREZZA DI UNO SCIVOLAMENTO TRASLAZIONALE

Per frane di scivolamento traslativo, con basso valore del rapporto profondità/lunghezza della superficie di rottura, gli effetti al bordo possono essere trascurati e il meccanismo di movimento può essere modellato come uno scivolamento di un pendio di dimensione indefinita, lungo una superficie di rottura parallela al pendio (analisi di pendio indefinito).

Tale tipo di analisi si presta bene per l'interpretazione degli scivolamenti traslativi di terra o roccia. In particolare può essere applicato a scivolamenti della coltre superficiale, detritica e/o di alterazione, lungo un substrato roccioso non alterato.

Le condizioni idrauliche sono spesso rappresentate come movimenti di filtrazione all'interno dello strato superficiale, con linee di flusso parallele al pendio.

Se la resistenza è costituita dal solo attrito ($c'=0$) allora la pendenza limite è pari all'angolo di attrito ϕ' in condizioni a secco o circa la metà di ϕ' con falda a piano di campagna e filtrazione parallela al pendio.

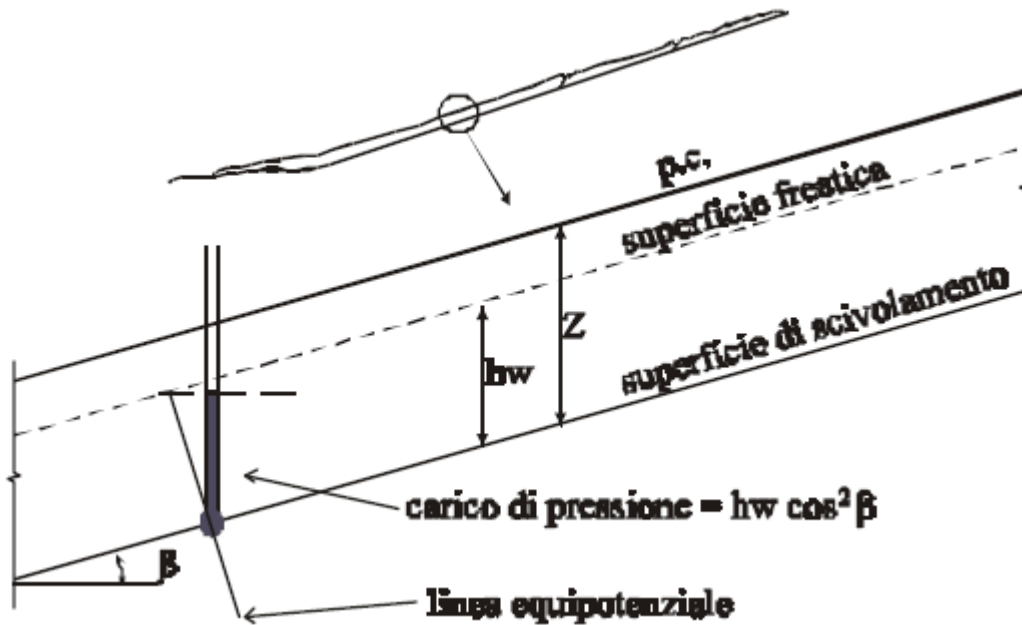


Fig. 1.11: Schema di scivolamento traslazionale

$$F = \frac{c' + \gamma Z - \gamma_w h_w}{\gamma Z} \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

Se invece $c'=0$ e sponda completamente satura ($h_w = Z$):

$$F = \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_{sat}}\right) \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

1.3.2.3 CALCOLO DEL FATTORE DI SICUREZZA PER SUPERFICIE DI ROTTURA CURVE

A differenza del caso di superfici planari per le quali si ricava una soluzione staticamente determinata, nel caso di superfici di rottura curve è possibile ottenere una soluzione approssimata utilizzando una tecnica di integrazione numerica (metodo dei conci) e facendo delle opportune assunzioni sulle forze in gioco.

Dopo avere scelto e disegnato una o più sezioni longitudinali del pendio in base alla massima pendenza o ad altre condizioni critiche come la presenza di strutture o infrastrutture, di discontinuità morfologiche o geologiche, o anche dei segni che indicano un movimento avvenuto, come fratture e rigonfiamenti, si ipotizza una superficie cilindrica di scorrimento potenziale, S , e si suddivide idealmente la porzione di terreno delimitato da S e dalla superficie topografica in n conci mediante $n-1$ tagli verticali, non necessariamente di eguale larghezza, ma tali che l'arco di cerchio alla base di ciascuno di essi ricada interamente in un unico tipo di terreno.

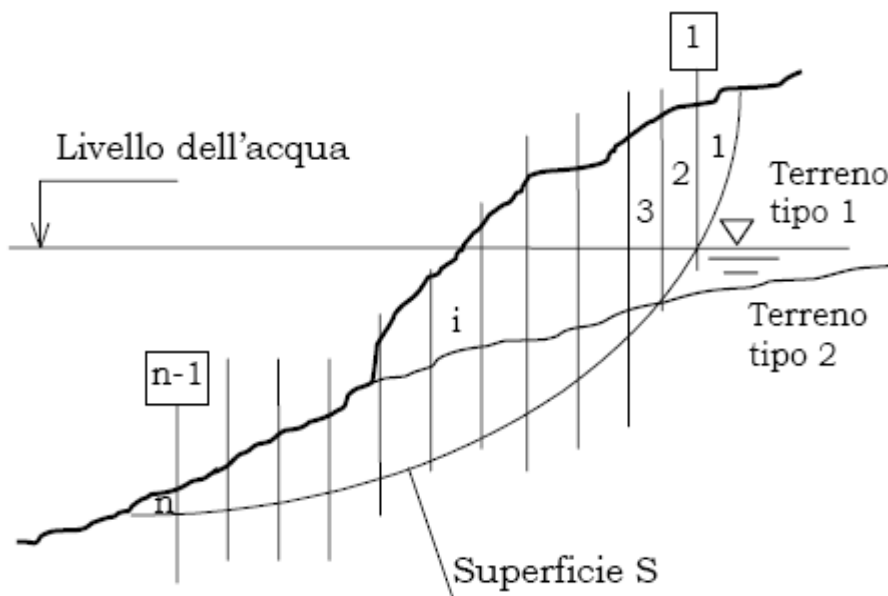


Fig. 1.12: Schema di suddivisione in strisce di un pendio

Immaginiamo di estrarre il concio i -esimo e di rappresentare le forze che agiscono su di esso in condizioni di equilibrio (Fig.1.13):

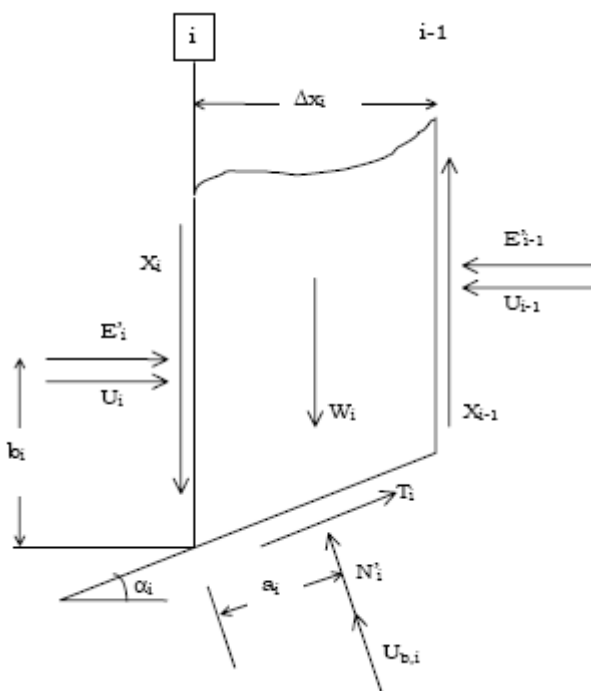


Fig. 1.13: Schematizzazione delle forze agenti sul concio

Il concio ha larghezza Δx_i , e peso W_i .

La corda dell'arco di cerchio alla base è inclinata di un angolo α_i sull'orizzontale.

E'_i e X_i , sono le componenti normale e tangenziale della forza mutua tra i conci, b_i è la quota di applicazione di E'_i rispetto alla superficie di scorrimento.

U_i rappresenta la risultante delle pressioni interstiziali sulla superficie di separazione fra i conci i ed $(i+1)$.

N'_i e T_i sono le componenti normale e tangenziale della reazione di appoggio del concio sulla superficie di scorrimento, a_i è la distanza del punto di applicazione di N'_i dallo spigolo anteriore, e $U_{b,i}$ è la risultante delle pressioni interstiziali alla base del concio.

Le ipotesi generalmente ammesse da quasi tutti i metodi delle strisce sono:

- stato di deformazione piano (ovvero superficie cilindrica e trascurabilità degli effetti tridimensionali).
- arco della superficie di scorrimento alla base del concio approssimabile con la relativa corda
- comportamento del terreno rigido-perfettamente plastico e criterio di rottura di Mohr-Coulomb
- coefficiente di sicurezza FS eguale per la componente di coesione e per quella di attrito, e unico per tutti i conci, ovvero:

$$T_i = \frac{T_{fi}}{FS} = \frac{l}{FS} \cdot (c'_i \cdot \Delta l_i + N'_i \cdot \tan \varphi'_i)$$

$$\text{essendo } \Delta l_i = \frac{\Delta x_i}{\cos \alpha_i}.$$

Analizzando le forze agenti sul concio della pagina precedente si osserva che:

- il peso W_i del concio e le risultanti U_i e U_{bi} delle pressioni interstiziali sono determinabili, essendo nota la geometria del concio (α_i , Δx_i e quindi Δl_i) e le caratteristiche geometriche e geotecniche del pendio
- la forza di taglio T_i è determinabile, nota la forza normale N'_i , dalla equazione precedente

Tuttavia il numero delle incognite risulta maggiore di quello delle equazioni di equilibrio, per cui il sistema risulta indeterminato.

Per ridurre il numero delle incognite e rendere il sistema determinato, è necessario introdurre alcune ipotesi semplificative, come quelli assunti dal modello di Fellenius e Bishop (semplificato).

Un'ipotesi comune a molti metodi, fra cui i metodi di Fellenius e di Bishop, ma non a tutti, è l'ipotesi di superficie di scorrimento circolare, sufficientemente ben verificata quando non vi siano condizioni stratigrafiche e geotecniche particolari.

Se si accetta tale ipotesi, il coefficiente di sicurezza risulta pari al rapporto fra momento stabilizzante e momento ribaltante rispetto al centro della circonferenza:

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^n T_{fi}}{\sum_{i=1}^n T_i} = \frac{M_S}{M_R}$$

in cui:

$$M_S = r \cdot \sum_{i=1}^n T_{fi} = r \cdot \sum_{i=1}^n [c' \cdot \Delta l_i + N'_i \cdot \tan \varphi'_i]$$

$$M_R = r \cdot \sum_{i=1}^n T_i = r \cdot \sum_{i=1}^n W_i \cdot \sin \alpha_i$$

e pertanto:

$$FS = \frac{M_S}{M_R} = \frac{\sum_{i=1}^n [c' \cdot \Delta l_i + N'_i \cdot \tan \varphi'_i]}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

1.3.2.4 ALCUNE CURVE SPERIMENTALI PER LA DETERMINAZIONE DEL FATTORE DI SICUREZZA

- Fattore di sicurezza in condizioni di drenaggio per pendii costituiti da argille normalconsolidate e sovraconsolidate.

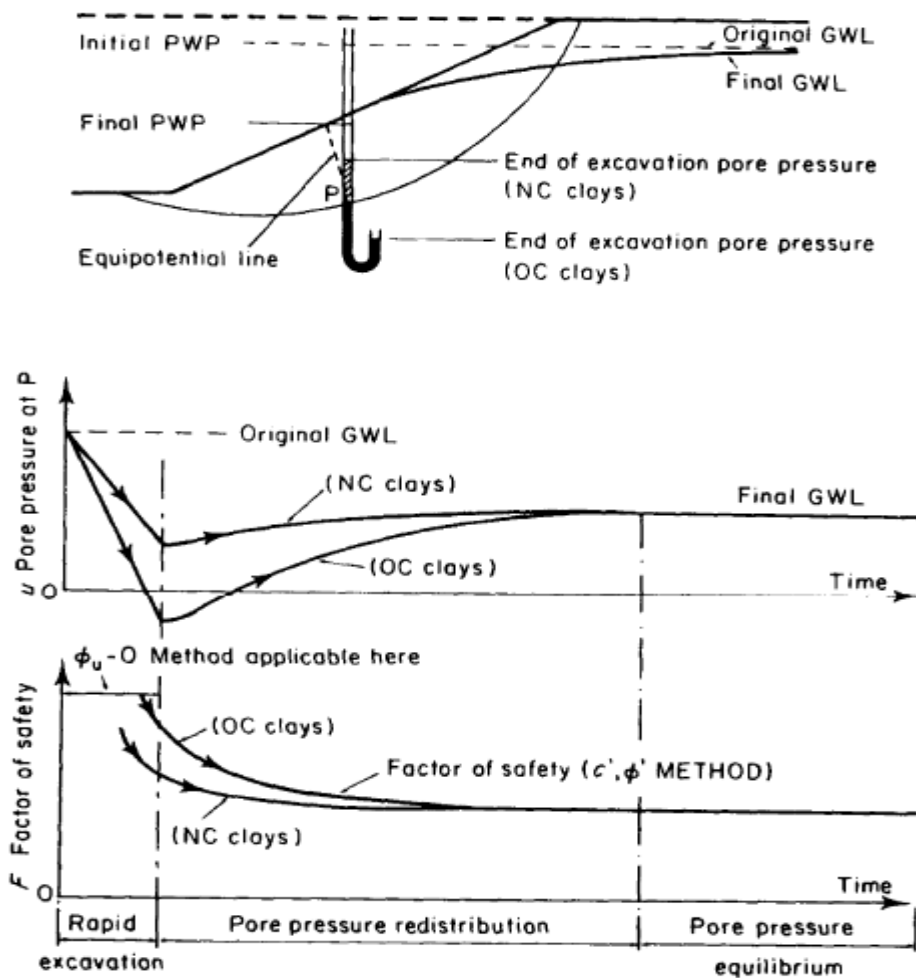


Fig. 1.14: Variazione del fattore di sicurezza per terreni normalconsolidati e sovraconsolidati

Dalla Fig. 1.14 (Bishop & Bjerrum, 1960) derivano alcune considerazioni, generalmente valide per i versanti di scavo in terreni argillosi.

Innanzitutto le condizioni di stabilità a lungo termine sono le più critiche (il fattore di sicurezza diminuisce nel tempo sia per terreni sovraconsolidati che normalconsolidati) e possono essere valutate da un'analisi in termini di tensioni efficaci.

Generalmente, non è necessario valutare la stabilità a breve termine o prevedere la variazione delle pressioni interstiziali nel breve termine.

Nel caso sia richiesta un'analisi di stabilità a breve termine (ad esempio per uno scavo temporaneo) è conveniente eseguire un'analisi in termini di tensioni totali utilizzando i parametri non drenati di resistenza.

Ad ogni modo, visto che uno scavo è seguito da una riduzione delle pressioni dei pori che possono ricrescere anche velocemente, il risultato di un'analisi a breve termine deve essere trattato con cautela, specie se il terreno è interessato da fessure o piani di discontinuità.

Se invece le pressioni dei pori sono monitorate durante e dopo lo scavo, la valutazione delle condizioni di stabilità può essere sempre effettuata in termini di tensioni efficaci.

Considerazioni opposte possono essere effettuate nei problemi di stabilità che contemplano un Sovraccarico del versante: in questi casi, le condizioni critiche di stabilità sono a breve termine se il terreno tende a contrarre al taglio (argille NC e debolmente OC), a lungo termine se il terreno tende a dilatare (argille fortemente OC).

La maggior parte dei problemi che coinvolgono versanti naturali possono essere classificati come a lungo termine visto che, in assenza di carichi o scavi, la rottura viene tipicamente raggiunta a seguito di variazioni graduali della pressione dei pori (ad esempio un innalzamento del livello di falda o un incremento delle tensioni tangenziali a causa di erosione al piede). Questi casi vanno analizzati in termini di tensioni efficaci.

- Sensibilità del fattore di sicurezza rispetto alle forze interconco (Fredlund & Krahn, 1977)

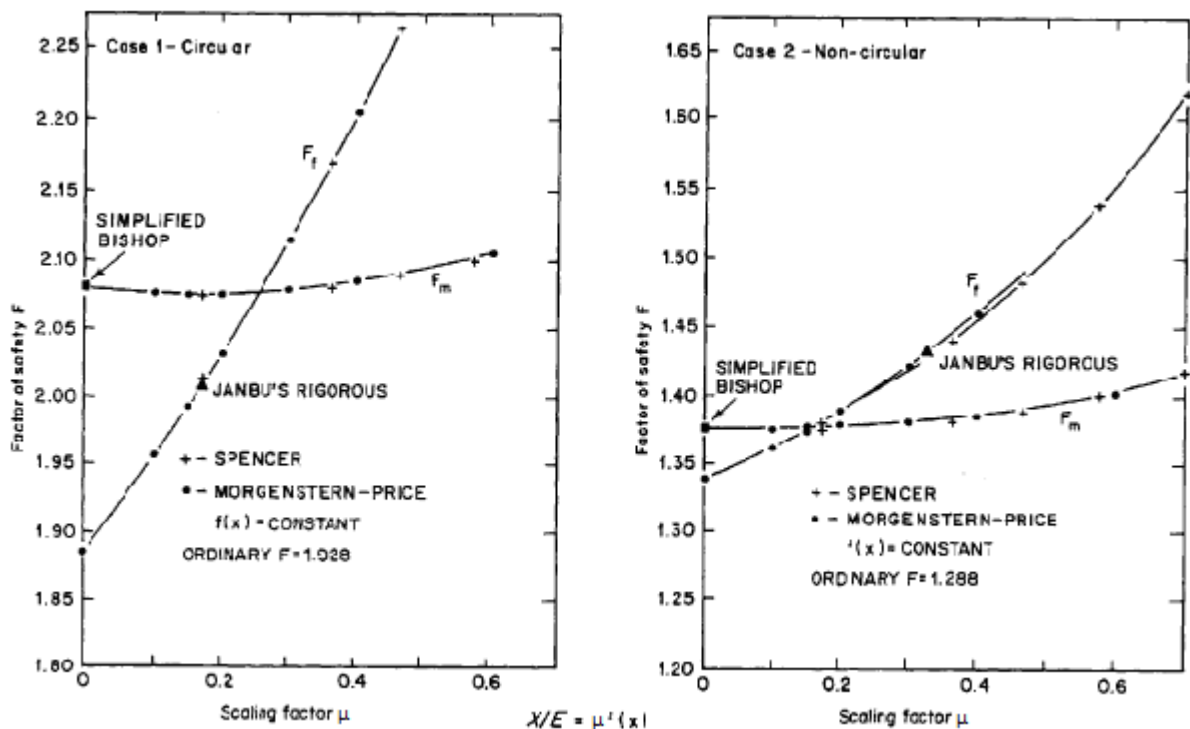


Fig. 1.15: Variazione del fattore di sicurezza in funzione del parametro μ

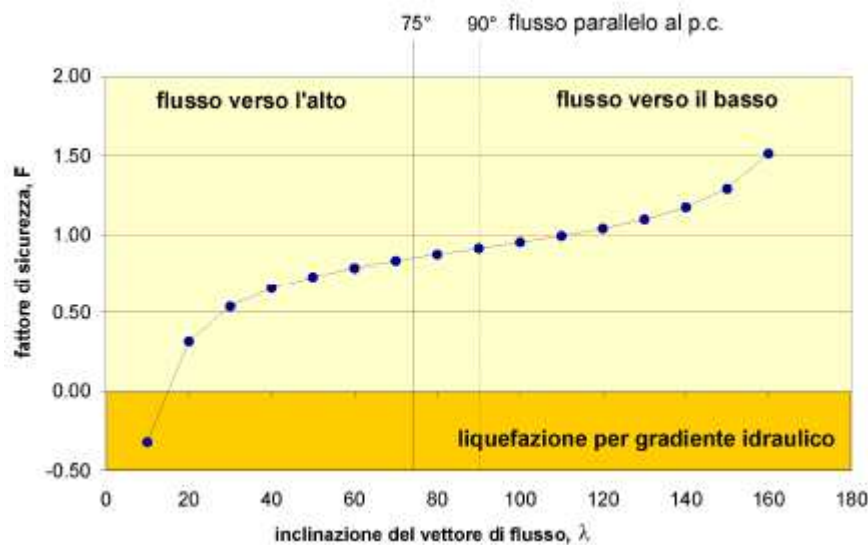
Nei grafici di Fig. 1.15 sono riportati i valori del fattore di sicurezza delle forze e dei momenti in funzione del parametro μ , che definisce il rapporto tra le forze normali e di taglio agenti tra i conci.

Come si può notare, il fattore di sicurezza rispetto all'equilibrio dei momenti (F_m) è scarsamente influenzato dalle assunzioni sulle forze interconco.

Dalla letteratura emerge che le differenze tra il fattore di sicurezza ottenuto col metodo di Bishop e quello ottenuto col metodo di Morgenstern & Price sono inferiori allo 0.4%.

Al contrario, il fattore di sicurezza rispetto all'equilibrio delle forze (F_f) è molto sensibile al parametro μ e ciò implica che i metodi che usano tale approccio (Janbu semplificato, Lowe) sono meno accurati del metodo di Bishop che usa solo l'equilibrio dei momenti.

- Variazione del fattore di sicurezza con l'inclinazione del vettore di flusso.
La stabilità dei pendii è influenzata dalla direzione del flusso delle acque sotterranee.



Assumendo che:

$z=2$ m falda a p.c.

$c'=0$ $\phi'=25^\circ$

θ (Inclinazione del pendio) = 15°

Fig. 1.16: Variazione del fattore di sicurezza con l'inclinazione del vettore flusso

Dalla Fig. 1.16 si evince che:

- Per valori di $\lambda < (90 - \theta)$ il flusso è diretto verso l'alto: la pressione dei pori sulla superficie di scorrimento risulta più elevata di quella idrostatica per cui il fattore di sicurezza diminuisce ed il versante risulta meno stabile.
- Per valori di $\lambda > (90 - \theta)$ il flusso è diretto verso il basso: la pressione dei pori sulla superficie di scorrimento risulta più bassa di quella idrostatica per cui il fattore di sicurezza aumenta ed il versante risulta più stabile.

Non bisogna comunque dimenticare che nel grafico si sono assunte le ipotesi di un caso ideale di pendio infinito con falda corrispondente al piano di campagna.

In pratica, come si può notare dal grafico, un moto di filtrazione diretto verso l'alto determina un forte abbassamento del fattore di sicurezza, risultando così critico per la stabilità del versante. La linea in cui si annulla il fattore di sicurezza ($F=0$) rappresenta il caso limite di annullamento delle tensioni efficaci, cioè il raggiungimento di una condizione di liquefazione per gradiente idraulico.

1.3.3 NORMATIVA E COMMENTI SUL FATTORE DI SICUREZZA

Inizialmente la Normativa inerente al fattore di sicurezza faceva riferimento al D.M. LL.PP. 11/03/88 che fu successivamente sostituito dalle Norme tecniche delle Costruzioni (NTC).

La Normativa Italiana (D.M. LL.PP. 11/03/88) prescrive che: “Nel caso di terreni omogenei e nei quali le pressioni interstiziali siano note con sufficiente attendibilità, il coefficiente di sicurezza non deve essere minore di 1,3. Nelle altre situazioni il valore del coefficiente di sicurezza da adottare deve essere scelto caso per caso, tenuto conto principalmente della complessità strutturale del sottosuolo, delle conoscenze del regime delle pressioni interstiziali e delle conseguenze di un eventuale fenomeno di rottura.”

Se la conoscenza delle condizioni stratigrafiche e geotecniche è buona, e le conseguenze di una eventuale rottura non sono particolarmente drammatiche, per le verifiche di stabilità di scavi qualora non si fosse verificata ancora nessuna frana, si può adottare un coefficiente di sicurezza compreso tra 1,3 e 1,4 in relazione al metodo di calcolo impiegato, mentre per le verifiche di stabilità “a posteriori”, ovvero dopo che si è manifestata la frana (si conosce la superficie di scorrimento e si utilizza la resistenza al taglio residua del terreno), potranno essere adottati coefficienti di sicurezza minimi compresi tra 1,2 e 1,3. Valori maggiori dei coefficienti di sicurezza devono essere utilizzati per opere quali le dighe in terra, che comunque dovranno essere costantemente monitorate durante le varie fasi di esercizio.

L'attuale Eurocodice inerente alla progettazione geotecnica (EC8) e le Norme tecniche per le costruzioni del 2008 (NTC08) introducono i coefficienti di sicurezza parziali per i parametri geotecnici e geometrici del versante, stabilendo che il fattore di sicurezza del versante deve essere in ogni caso maggiore di 1. Non sono ammessi i casi in cui il fattore di sicurezza sia uguale a 1, in quanto questa condizione rappresenta la condizione di equilibrio limite (pericoloso).

Si adotta un fattore di sicurezza maggiore di 1,3 o di 1 (in caso di coefficienti parziali) in conseguenza delle seguenti problematiche:

- Incertezze sui parametri di resistenza al taglio in relazione alle resistenze determinate in laboratorio e quelle effettivamente disponibili in sito.
- Incertezze sui carichi in gioco nel versante (carichi superficiali, peso dell'unità di volume dei terreni, pressione dei pori).
- Possibilità che il meccanismo critico di rottura sia leggermente differente da quello individuato nell'analisi e che il modello non sia conservativo
- Assicurarci che le deformazioni del versante rimangano entro limiti accettabili.

Come è stato sottolineato da diversi Autori, un fattore di sicurezza pari a 1 non indica necessariamente che la rottura del versante è imminente, infatti il fattore di sicurezza reale è fortemente influenzato da dettagli geologici minori, dalla relazione sforzo-deformazione del terreno, dalla distribuzione delle pressioni interstiziali, dallo stato tensionale in sito, etc.

Perciò oltre ad eseguire un'analisi deterministica, è spesso utile includere nei calcoli uno studio sulla variabilità del fattore di sicurezza in funzione delle incertezze esistenti nei vari parametri in gioco: il modo più semplice è quello di calcolare il fattore di sicurezza per diversi valori di c' e ϕ' . Se invece la variabilità dei parametri dei materiali e delle pressioni dei pori può essere espressa statisticamente, un'analisi probabilistica porta ad una migliore valutazione della probabilità di rottura.

Le maggiori incertezze riguardano la scelta di un appropriato meccanismo di rottura, infatti la presenza di dettagli geologici minori, come ad esempio un sottile livello di terreno con scadenti proprietà meccaniche o di un piano di discontinuità sfavorevolmente orientato per la stabilità, può influenzare le condizioni di stabilità del versante e se non viene direttamente riconosciuto durante le indagini porterà sicuramente ad errori grossolani nel calcolo del fattore di sicurezza.

CAPITOLO 2

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-FISICO

2.1 LOCALIZZAZIONE

L'area che andremo ad esaminare è situata nell'Appennino settentrionale, in particolare nell'alta valle del Torrente Enza e ricade nel Comune di Ramiseto (Provincia di Reggio Emilia), alla latitudine di 44° 22' e alla longitudine di 10° 12'.

Il bacino idrografico principale è quello relativo al Torrente Enza, mentre quello secondario è inerente al Torrente Liocca: quest'ultimo presenta numerosi affluenti, di particolare importanza sono il Rio Marzolaro e il Rio Salettola.

L'area è compresa tra i rilievi di Monte Lungo (quota 1091 m s.l.m.) e di "La Borellaccia" (quota 1200 m s.l.m. circa) a Nord; dal Monte Ledo (quota 1318 m s.l.m.) ad Ovest, Rio Salettola a Sud e dal Torrente Liocca ad Ovest.

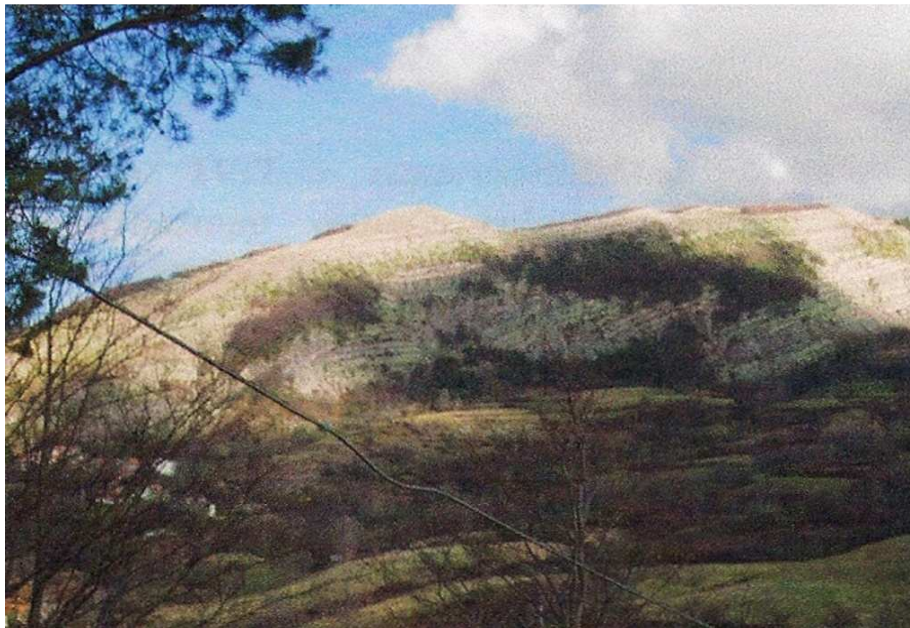


Fig. 2.1: Rilievo di "la Borellaccia" alle spalle del centro abitato di Succiso Superiore

Per un inquadramento geografico-climatico significativo, oltre a considerare le diverse fasce altimetriche (Fig. 2.2), bisognerà tener conto dell'esposizione dei versanti adiacenti all'area in questione (Fig. 2.3).

L'esposizione dei versanti è considerato infatti un fattore importante per i processi di alterazione e degradazione del territorio, poiché influenza il microclima attraverso l'angolo e la durata dell'incidenza dei raggi solari sulla superficie del suolo.

Basti considerare che aree con esposizione dei versanti a sud e ad ovest sono raggiunte da una quantità di energia solare incidente maggiore: sono quindi più calde, presentano valori di evapotraspirazione maggiori e una conseguente minore capacità di trattenere l'acqua, rispetto ai versanti esposti a nord e ad est.

Nei versanti sud e ovest il recupero della vegetazione è pertanto più lento e i tassi di erosione sono più elevati rispetto ai versanti nord ed est.

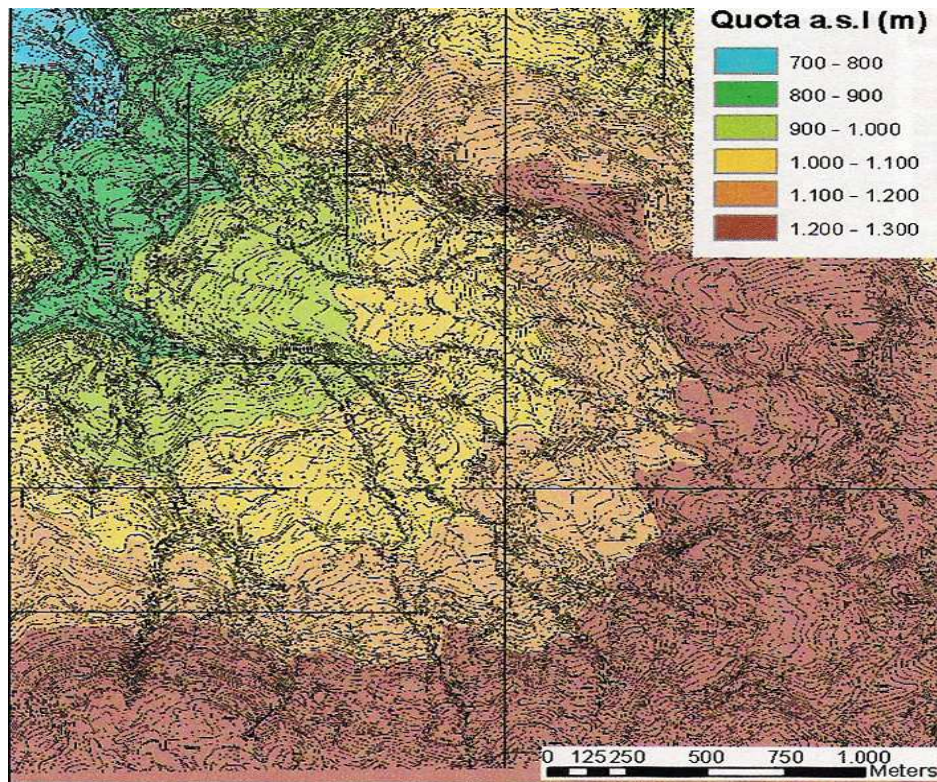


Fig. 2.2: Rappresentazione delle differenti fasce altimetriche (realizzata mediante il software ArcMap)

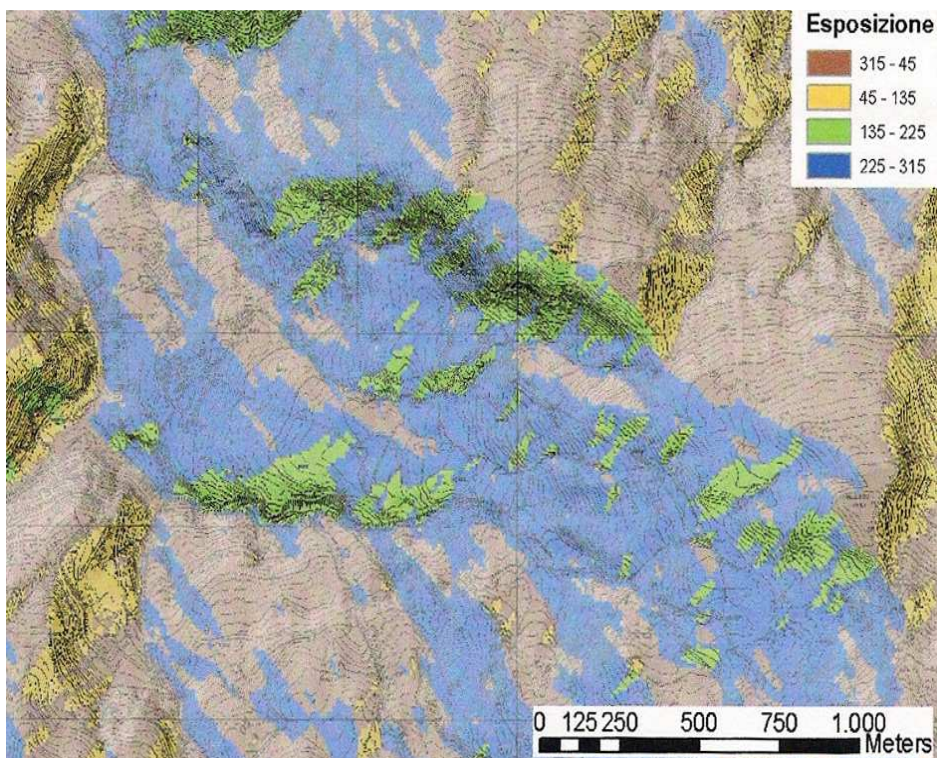


Fig. 2.3: Rappresentazione dell'esposizione dei versanti adiacenti all'area esaminata (realizzata attraverso il software ArcMap)

L'area in questione è compresa nel Foglio n° 85 della Carta d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare (I.G.M.) alla scala 1:100.000, la quale non è più utilizzata in quanto è stata sostituita da basi topografiche più recenti costituite dalla Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) di cui esistono per Succiso dettagli in diversa scala, in particolare (Tab. 2.1):

Tabella 2.1: Riferimenti cartografici della zona esaminata nella C.T.R.

Foglio	234	Scala 1: 50.000
Tavola	234 NE	Scala 1: 25.000
Sezione	234030	Scala 1: 10.000
Elemento	234033	Scala 1: 5.000

Per quanto riguarda la copertura aerofotografica, è stato possibile indagare un intervallo temporale ampio, ovvero dagli anni '50 con i voli GAI fino al 2004 mediante i voli del Servizio Tecnico del Bacino (tutte le riprese sono in bianco e nero, Tab. 2.2).

Tabella 2.2: Dati copertura aerofotografica utilizzata

Denominazione volo	Fattore di scala	Quota volo	N° strisciata	N° fotogrammi
Volo GAI 1954 - 1955	1: 66.000	10.000 m	55	1179 - 1180
Volo RER 1973	1: 15.000	2.200 m	54	3376 - 3377
Volo ITALIA 1989	1: 31.000	5.100 – 5.200 m	28d	8015 - 8016
Volo STB 2004	1: 15.000	n.d.	19	1004 - 1005 -1006 - 1007
			21	1042 - 1043 -1044 - 1045

La morfologia complessiva del versante risente di caratteristiche litologico – strutturali particolari in quanto la zona fu “glacializzata” durante il Wurm (Losacco, 1992) ed interessata contemporaneamente e/o successivamente ad esso da processi periglaciali.

La frazione di Succiso è suddivisa nei due nuclei di Succiso Superiore (si estende su un intervallo altimetrico compreso tra i 951 e 983 m) e Succiso Inferiore, occupante una porzione di territorio compresa tra i 853 e 936 m (in realtà questa porzione racchiude anche l'abitato di Succiso di Mezzo).

Il primo nucleo, denominato anticamente Villa di Sopra, è collocato in destra del Rio Marzolaro (fortemente inciso) sul versante meridionale del rilievo di “La Borellaccia” ai piedi di ampie scarpate rocciose determinate da affioramenti di calcari marnosi appartenenti al Flysch di Monte Caio; il nucleo abitato è situato su una falda di detrito derivante dall'alterazione del materiale sovrastante.



Fig. 2.4: Foto panoramica scattata da Varvilla (Succiso Nuova).
Si riconoscono a sinistra Succiso Inferiore e più a destra Succiso di Mezzo,
sopra la quale si scorge Succiso Superiore ai piedi di “La Borellaccia”

I centri abitati di Succiso Inferiore e di Mezzo (secondo nucleo) sono invece situati sull'esteso deposito detritico di origine glaciale e gravitativa, che si sviluppa in direzione SE – NW: esso è delimitato a Nord dal Rio Marzolaro, a Sud dal Rio Salettola ed al piede dal Torrente Liocca, tutti fortemente incisi.

A causa di accentuati fenomeni gravitativi tale copertura detritica presenta aree a diversa acclività e zone di acqua ristagnante.



Figura 2.5: Foto panoramica di Succiso Inferiore: è possibile notare ai piedi dell'abitato il Torrente Liocca, fortemente inciso

2.2 CLIMA

I parametri più significativi considerati per la classificazione climatica dell'area sono le precipitazioni (solide e liquide) e le temperature.

Per quel che riguarda le temperature, il clima può essere definito di tipo “temperato fresco” per aree comprese nell'intervallo altimetrico 500 – 1000 m e di tipo “temperato freddo” per zone situate a quote maggiori.

Nel primo caso le temperature medie annue si attestano tra i 9°C ed i 12°C, mentre nel secondo possono raggiungere i 6°C.

In tutto l'Appennino il mese più freddo risulta essere Gennaio (temperatura minima media costantemente inferiore agli 0°C), mentre il mese più caldo Luglio (massima escursione termica e temperatura media diurna di circa 20°C per zone attorno ai 1000 m).

Questo è stato confermato dall'analisi delle temperature registrate presso la stazione termo-pluviometrica di Ramiseto.

Le stazioni termo-pluviometriche permettono di eseguire misure termo-pluviometriche, ossia consentono di valutare la temperatura dell'aria e le precipitazioni atmosferiche.

I dati, rilevati da appositi sensori, sono registrati con un acquisitore-elaboratore.

Il pluviometro è uno strumento che misura la quantità di pioggia caduta, ovvero indica la quantità di acqua caduta con la pioggia o la quantità di neve sciolta: la quantità di acqua caduta con la pioggia è definita come la quantità di acqua che attraversa la superficie orizzontale di un cilindro metallico di un campionario e può essere determinata leggendo direttamente il valore, in millimetri, sulla scala corrispondente.

La scala di un pluviometro è una scala ampliata e quindi non corrisponde a quella di un normale righello; l'area dell'imbuto che raccoglie l'acqua verso la bascula contatore è pari a 10 volte l'area della sezione trasversale del tubo centrale.



Fig. 2.6: Stazione termo-pluviometrica

I dati di piovosità rappresentano il totale delle precipitazioni avvenute nell'arco di tempo di registrazione tra una misura e l'altra.

L'unità di misura della piovosità è espressa in millimetri di pioggia caduta: il valore è riferito all'unità di superficie, ciò significa che se è piovuto un millimetro di pioggia equivale a dire che su ogni metro quadro di terreno è caduto un litro di acqua.

L'intensità di precipitazione è invece definita dalla quantità di pioggia caduta nel tempo.

Il sensore analogico montato su una stazione termometrica è alimentato solamente alcuni secondi prima della misura per limitare i consumi d'energia: tutto questo non è possibile per un pluviometro, infatti il verificarsi di ribaltamenti della vaschetta di misura è monitorato da un circuito alimentato di continuo ed allo scadere del periodo di campionamento prestabilito sono registrati in memoria e il conteggio viene azzerato.

Una stazione remota termo-pluviometrica può essere costantemente controllata attraverso uno scarico giornaliero dei dati mediante modem GSM o altri sistemi, così da effettuare un monitoraggio continuo della centralina stessa e dei parametri.

I sistemi automatici di acquisizione dei parametri fisico-ambientali possono essere programmati per effettuare una misura ogni ora (ed eventualmente più frequenti), in modo tale che i dati acquisiti siano comparabili con dati di fonte diversa, secondo le modalità raccomandate a livello internazionale.

Tabella 2.3: Dati stazione termo-pluviometrica di Ramiseto (Servizio idrometeorologico ARPA)

Nome stazione	Ramiseto
Rete di misura	Simnpr
Comune	Ramiseto
Altezza (metri sul livello del mare)	798
Longitudine (°)	10,275604
Latitudine (°)	44,411434
Bacino	Enza

Analizzando le misure orarie di questa stazione per tutto l'anno 2010, è stato possibile effettuare una valutazione delle temperature medie mensili.

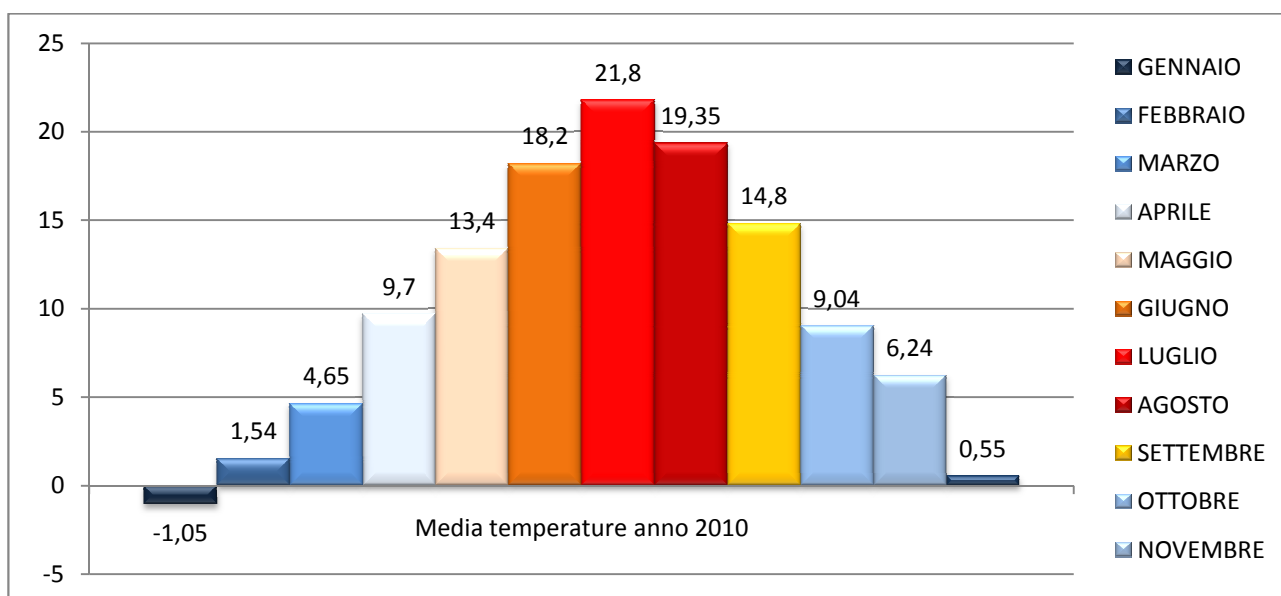


Fig 2.7: Istogramma rappresentante i valori medi delle temperature registrate nell'anno 2010

Come citato in precedenza, i dati dell'analisi delle temperature medie nell'anno 2010 sono pienamente concordanti con i dati statistici; si osserva infatti che il mese più caldo risulta essere Luglio (temperatura media superiore ai 20°C) mentre quello più freddo Gennaio (temperatura media inferiore ai 0°C).

Un dato significativo del periodo invernale, al fine dei processi di degradazione della zona in questione, è la frequenza dei giorni di gelo che si registrano già a partire da Ottobre per andarsi ad intensificare a Febbraio, in cui tale situazione è riscontrata per più della metà dei giorni del mese.

Relativamente alle precipitazioni è stata invece effettuata un'indagine più accurata in quanto i fenomeni franosi e la frequenza dei dissesti, pur dipendendo anche dai cicli di gelo-disgelo e da altri fattori, sono fortemente influenzati dalle precipitazioni.

Sono infatti stati analizzati i dati del periodo 2000 – 2010 provenienti dalla stazione di Succiso (Tab. 2.5): la stazione è in grado di effettuare misure ad alta frequenza (fino ad una lettura ogni 15 min).

Tabella 2.4: Dati stazione idrologica di Succiso

Nome stazione	Succiso
Rete di misura	Simnpr
Comune	Ramiseto
Altezza (metri sul livello del mare)	998
Longitudine (°)	10,192523
Latitudine (°)	44,363422
Bacino	Enza

Tabella 2.5: mm di pioggia mensili misurati nel periodo d osservazione 2000-2010

Anno	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
2000	0,4	21,4	396,2	148,8	56	138,6	61	45,4	120	417	789,2	107,2
2001	199,6	91,6	690	246,8	125,4	33,2	99,8	66,6	238,2	123	149,4	63,6
2002	40,8	99,6	30,6	142,6	150,8	3,4	72,8	92,8	1	0,6	0,6	70,2
2003	61,6	37	1,4	184,4	31,4	58,4	26,4	60,4	69,4	375	429,6	96,4
2004	100,8	195,8	74,2	95,6	172,2	97,6	40	38	149,2	295	83,8	62,8
2005	71	58	72,2	279,2	55,4	22,8	79,6	188,4	99,6	178,2	40	201,2
2006	61,4	126,8	221,6	78	39,2	39,8	107,6	221,2	208,8	102	25,6	172,2
2007	212,6	297	177,6	55	137,4	109,6	48,8	61,4	141,6	154,8	177,4	71,6
2008	209,4	102,2	174,8	310,2	141	174,6	65	11,2	89	292,2	462,8	504
2009	512,4	189,2	242,4	273	46,6	56,4	28,4	48,6	143,8	134,4	400,6	1023,4
2010	156,2	299,9	160	127,8	254,8	171	51,4	131,2	85,6	241,6	405,2	484,6

Dalla tabella 2.5 è possibile notare che la situazione, per quel che riguarda le precipitazioni nel corso del decennio 2000-2010, è stata molto variabile: ad esempio il mese di Novembre, che alla fine dell'analisi è risultato essere il mese in cui si concentrano maggiormente le precipitazioni, nel 2005 è stato uno dei mesi meno piovosi.

Dall'analisi è risultato che l'anno meno piovoso è il 2002 (minimi storici), mentre il 2009 è stato l'anno caratterizzato dalla maggior quantità di precipitazioni (circa 3100 mm).

Dalla tabella 2.5 si è inoltre potuta ricavare la media dei mm di pioggia caduti nel periodo di osservazione prima citato: i risultati sono rappresentati mediante un istogramma (Fig. 2.8).

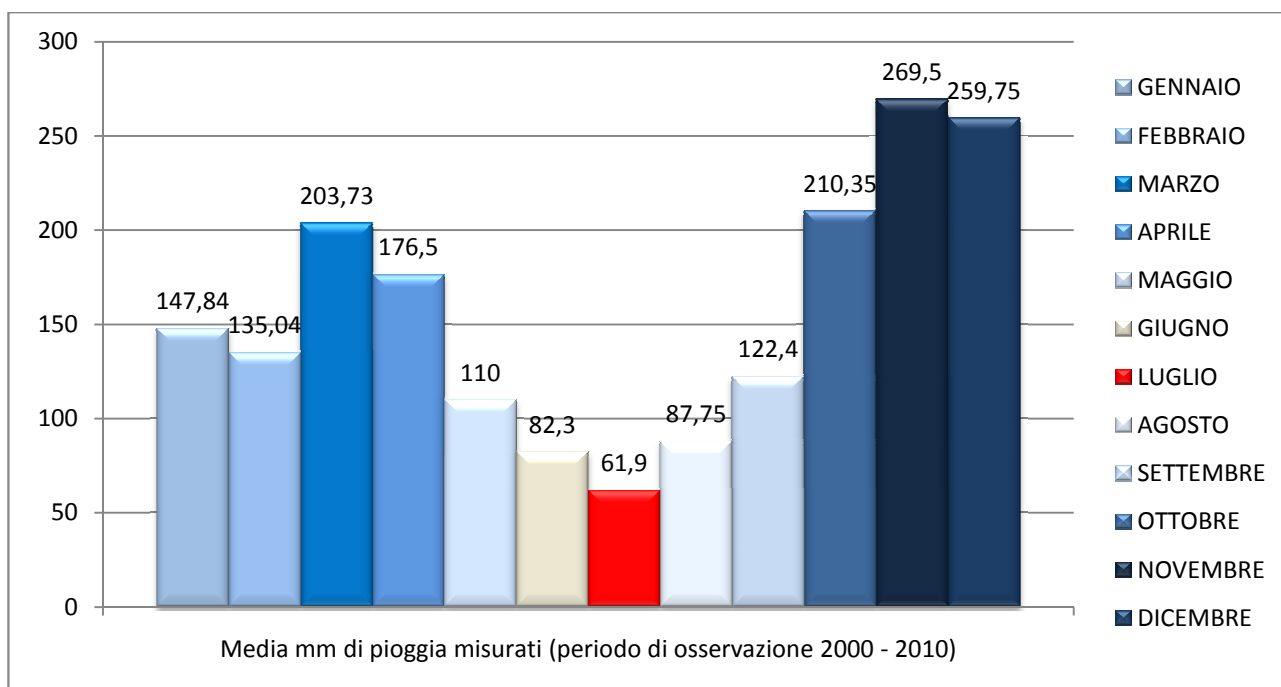


Fig. 2.8: Istogramma rappresentante i valori medi delle precipitazioni nel periodo 2000-2010 registrati presso la stazione idrologica di Succiso

L'analisi della distribuzione annuale delle precipitazioni permette di classificare il regime pluviometrico dell'alto bacino del Torrente Enza nel tipo "sub-litoraneo appenninico", con due picchi: il primo, più evidente, compreso tra il periodo Ottobre-Dicembre ed il secondo in primavera (mese di Marzo).

Il minimo si verifica invece nel periodo estivo, soprattutto nel mese di Luglio.

La particolare esposizione del versante occupato dall'area in esame è tale da renderne una delle zone più piovose d'Italia, in cui si riscontrano anche nubifragi intensi e concentrati nel tempo (soprattutto nei periodi estivi).

CAPITOLO 3

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 FORMAZIONI AFFIORRANTI

L'area di studio ricade nel Foglio 234 alla scala 1:50.000 ed in particolare nella Sezione 234030 alla scala 1:10.000 della carta geologica dell'Alto Appennino emiliano-romagnolo (Fig. 3.1).

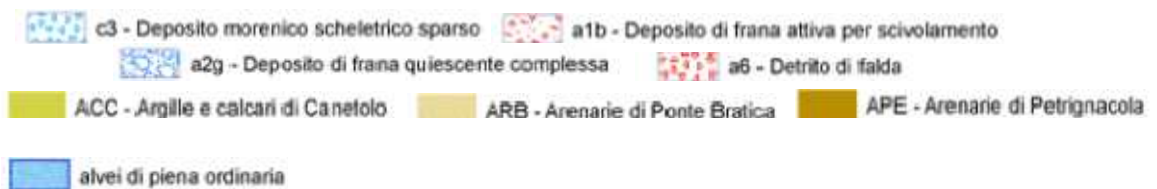
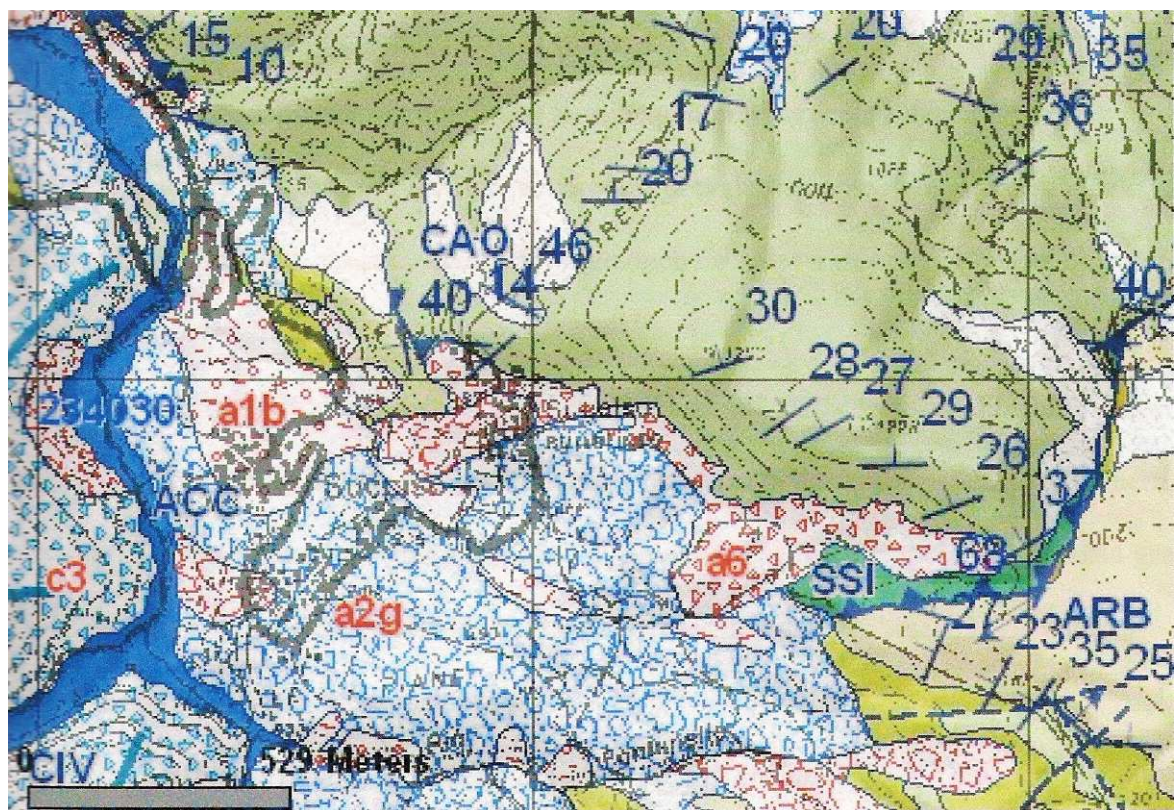


Fig. 3.1: Carta geologica con relativa legenda dell'area esaminata (scala 1:20.000) tratta dal sito del Servizio Sismico, Geologico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna.

Il versante di Succiso è caratterizzato dal sovrascorrimento delle formazioni di pertinenza ligure (CIN e CAO) sull'unità subligure di Canetolo (ACC, CGV e ARB).

Partendo dal termine geometricamente inferiore, nella zona in esame affiorano:

- **Argille e calcari di Canetolo (CGV):** si tratta di peliti prevalentemente nere soggette a forte erodibilità.
Nella zona esaminata tale unità affiora lungo l'alveo del Rio Salettola ed è ben esposta grazie all'azione di erosione del rio stesso nei pressi del ponte che collega Succiso a Varvilla.
Altri affioramenti di ACC sono localizzati presso l'alveo dell'effluente di sinistra del Rio Salettola, lungo la sponda destra del Torrente Liocca in prossimità del ponte della strada comunale 77 e nella porzione inferiore del versante sud-orientale del Monte Ledo.
- **Calcari di Groppo del Vescovo:** si tratta di torbiditi calcaree e calcaree marnose grigio-chiare e biancastre in strati a base calcarenitica o arenacea.
Sono spesso intercalati come grosse lenti all'interno delle Argille e Calcari di Canetolo; i rapporti tra le due Formazioni sono stati a lungo discussi da diversi autori, alcuni dei quali li definiscono come due corpi separati, mentre altri sostengono che CGV e ACC costituiscano un'unica formazione.
Tale formazione affiora in prossimità della provinciale 77 dove scorre l'affluente di destra del Rio Marzolaro (proveniente da Succiso Superiore).
- **Arenarie di Ponte Bratica (ARB):** la parte inferiore della formazione è costituita da torbiditi siltoso-marnose.
Lo spessore massimo di questa formazione è stato stimato in circa 100 m.
Nella zona in esame non ci sono affioramenti di tale litologia, la quale è stata citata in quanto presente nella carta geologica e come costituente gran parte del rilievo di Monte Ledo.
- **Arenarie di Petrignacola (APE):** si tratta di arenarie torbiditiche generalmente a grana grossa e presenti in banchi spessi, situata al tetto dell'Unità di Canetolo.
- **Complesso indifferenziato (CIN):** complesso caotico costituito dall'associazione di argilliti grigie con inglobati calcari silicei.
- **Flysch di Monte Caio (CAO):** torbiditi calcaree marnose di colore grigio in strati spessi e molto spessi (1-3 m) a base arenitica fine.
Nell'area esaminata questa formazione è la predominante, infatti affiora lungo tutta la dorsale Nord di Succiso (Costa Borella) e, ad Est rispetto a questa, lungo il rilievo di "La Borellaccia" in cui il flysch in questione presenta spessori che spesso raggiungono anche i 250 m.

In tutta l'area si possono rinvenire depositi eluvio-colluviali, detriti di falda e depositi morenici.

3.1.1 TETTONICA E SISMICITA'

Come in gran parte dell'Appennino, nell'area di studio si rinvengono faglie inverse a basso angolo (thrust) che portano alla sovrapposizione di unità differenti e ad un aumento di spessore apparente in alcuni versanti.

Lungo buona parte della zona in esame si rileva la presenza di una complessa rete di faglie che in tempi differenti hanno dislocato le formazioni appartenenti all'Unità Subligure: in questo particolare contesto è difficile determinare con certezza i limiti stratigrafici tra le diverse formazioni, in particolare tra ACC e CGV.

Dal punto di vista dei movimenti tettonici recenti, si può affermare che dal Pleistocene ad oggi la quasi totalità della zona risulta essere in sollevamento (Tellini et al, 1982): nonostante ciò, la Carta Neotettonica d'Italia (alla scala 1:50.000), non riporta in questa zona strutture tettoniche ritenute attive.

Riguardo la sismicità, l'Appennino nord-occidentale ne è interessato principalmente su una fascia direttrice che dalla zona di Varzi si estende quasi con continuità sino a Borgotaro ed alla Luigiana, proseguendo poi verso la Garfagnana: la zona di Succiso è posta leggermente a Nord rispetto a tale fascia direttrice.

Da citare è sicuramente il sisma del 7 settembre 1920 con epicentro in Garfagnana e stimato come del decimo grado della scala Mercalli: come conseguenza dell'evento tellurico si ebbe la riattivazione di molte frane nell'Appennino Reggiano, tra cui quella della vicina Febbio. Relativamente a Succiso, non ci sono testimonianze o documentazioni a riguardo, ma di certo ci furono sei case crollate (le restanti molto danneggiate), alcuni feriti e la chiusura della chiesa. Da sottolineare è il fatto che le zone più colpite furono Villa di Mezzo e Villa Inferiore, mentre Villa Superiore fu molto meno danneggiata.

Analizzando dati più recenti, i sismi con epicentro all'interno dell'area esaminata (dati reperiti presso l'archivio dell'INGV pubblicato su Google Earth, Fig. 3.2) non sono di intensità particolarmente rilevante (Tab. 3.1).



Fig. 3.2: Epicentri dei sismi registrati nell'ultimo ventennio in prossimità di Succiso (fonte Google Earth)

Tabella 3.1: Data ed intensità degli eventi sismici correlati alla fig. 3.2

	Data	Intensità (Scala Mercalli)
1	04/02/1987	2,9
2	18/08/1985	2,6
3	14/06/1992	2,5
4	10/01/1986	4,2
5	09/02/1985	3,2

3.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

3.2.1 FORME STRUTTURALI, DEPOSITI GLACIALI E PERIGLACIALI

Le forme strutturali sono rappresentate soprattutto da una serie di scarpate formatesi in seguito all'erosione differenziale di litotipi a diverso comportamento fisico-meccanico.

Sono comuni presso il contatto dei flysch con le formazioni argillose e tra le arenarie e le marne.

Nell'area esaminata sono molto abbondanti i depositi morenici, formati essenzialmente da detrito arenaceo.

Numerosi sono di conseguenza gli archi morenici (deposito morenico a forma di cresta poco elevata ed arcuata deposto al fronte di un ghiacciaio di montagna) e i cordoni morenici (deposito morenico a forma di cresta poco elevata ed allungata deposto lungo il margine laterale di un ghiacciaio di montagna): entrambi presentano frequenti interruzioni dovuti principalmente a fenomeni di erosione.

Più in dettaglio il deposito morenico è presente sul fianco sinistro della valle del Liocca (dove piega verso nord, di fronte a Succiso) e sul fianco sinistro del Rio Salettola, che proveniente da Est affluisce nel Liocca presso Succiso.

Lo stesso Succiso, secondo Losacco (1982), è situato su un lembo isolato di terreno morenico.

Sulla base di ricostruzioni effettuate attraverso i depositi morenici, sembra che i ghiacciai avessero dimensioni piuttosto ridotte, infatti non si spinsero mai al di sotto di 800 m s.l.m. di quota.

In particolare, nel periodo di massima espansione, il ghiacciaio di questo versante era costituito da due rami glaciali indipendenti per un lungo tratto del loro percorso, i quali si riunivano a monte di Succiso in un'unica massa glaciale di lunghezza totale paria a 5,8 km che si spingeva a valle del paese sino a circa 800 m sul livello del mare.

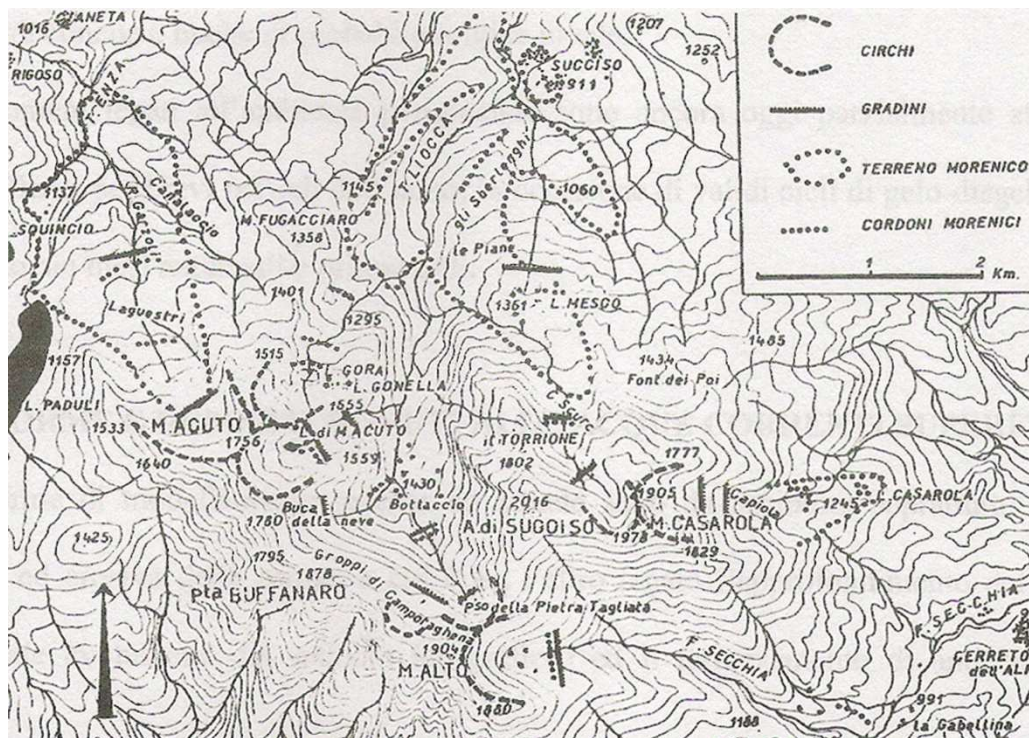


Fig. 3.3: Rappresentazione della morfologia glaciale nel Gruppo di Monte Acuto-Alpe di Succiso (Tratto dal testo "Gli antichi ghiacciai dell'Appennino Settentrionale", Losacco, 1982)

Le caratteristiche geomorfologiche dell'Alto Appennino emiliano non sono solo influenzate da forme e depositi glaciali, ma anche da processi di tipo periglaciale (ambienti posti ai margini delle aree di un ghiacciaio), probabilmente successivi o contemporanei all'ultima glaciazione: a tale ambiente è riconducibile la maggior parte dei detriti di falda.

I fenomeni legati all'ambiente periglaciale sono ancora oggi parzialmente attivi e ricorrenti per brevi periodi dell'anno, specialmente durante i vari cicli di gelo-disgelo presenti nei mesi autunnali e primaverili.

3.2.2 FORME E DEPOSITI DOVUTI ALLE ACQUE CORRENTI SUPERFICIALI

Le forme di modellamento recente ed attuale sono soprattutto da attribuire all'azione dilavante ed erosiva delle acque, a cui è tra l'altro legato l'approfondimento delle valli (con conseguente evoluzione del reticolo idrografico) ed il terrazzamento di antiche superfici interne.

Le forme di erosione torrentizia sono evidenti un po' ovunque, in particolare interessano il Torrente Liocca ed i suoi affluenti, i rii Salettola e Marzolaro.

Da citare il fatto che a quote inferiori ai 831 m sul livello del mare, il corso del Torrente Liocca si è approfondito di circa 10 m nell'ultimo secolo.

La forma dei solchi vallivi è strettamente connessa alle caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi su cui sono impostati.

Per tale motivo, in corrispondenza di substrati poco coerenti, le valli sono larghe e delimitate da versanti poco acclivi mentre nel nostro caso, essendo impostate su litotipi coerenti, le valli sono strette e delimitate da ripide scarpate.

Le precipitazioni, particolarmente abbondanti in questa zona, ruscellano in modo diffuso oppure concentrato lungo i versanti sovrastanti Succiso arrivando fino ai torrenti ed ai corsi d'acqua principali, oppure affiorano in sorgenti di piccola portata dopo un percorso sotterraneo più o meno lungo.

Sia i corsi d'acqua principali che gli affluenti presentano spesso tratti rettilinei e raccordi ad angolo retto.

In particolare, in relazione alla litologia del substrato, i reticoli più diffusi sono:

- Subparallelo dendritico per formazioni calcaree e calcaree-marnose;
- Dendritico per formazioni argillose.

Visto che le forme di erosione legate alle acque correnti superficiali sono di gran lunga preponderanti rispetto a quelle di sedimentazione, i depositi colluviali (sedimenti accumulati per azione gravitativa) sono molto scarsi nell'area esaminata.

La formazione di queste superfici detritiche è dovuta a fenomeni di ruscellamento delle acque superficiali, le quali non risultano accentrate lungo aste ben definite.

3.2.3 FORME DI DEGRADAZIONE DEI VERSANTI E CORPI DI FRANA

La zona in esame è caratterizzata da due estesi depositi di detrito di falda, i quali si rinvennero principalmente sotto forma di affioramenti di grandi dimensioni al piede del rilievo di “La Borellaccia”, costituito dal Flysch di Monte Caio, e sono quindi dovuti al disfacimento delle rocce sovrastanti.

Sul primo affioramento detritico (nella cui parte centrale si verificano movimenti gravitativi probabilmente dovuti alle notevoli pressioni interstiziali nel terreno) è in parte situato l'abitato di Succiso Superiore.

Il secondo accumulo di falda è posto in corrispondenza della faglia con andamento SW-NE situata più a monte, in corrispondenza del versante sud-occidentale del Monte Ledo.

Nell'area di studio sono presenti più zone interessate da corpi di frana, di cui alcuni sono ritenuti tuttora attivi, mentre altri sono definiti quiescenti.

Sulla base della cartografia geologica ufficiale regionale, dei dati storici e delle caratteristiche geomorfologiche, il versante di Succiso è stato assimilato ad un unico corpo di frana antica che si sviluppa sulla sponda destra del Torrente Liocca per oltre 2000 m verso monte e per una larghezza massima di circa 600 m.

Sul versante meridionale di “La Borellaccia” il dissesto principale si sviluppa per circa 300 m, dalla frazione di Succiso Superiore fino alla sponda destra del sottostante Rio Marzolaro.

CAPITOLO 4

CRONISTORIA DELLE RIATTIVAZIONI STORICHE E RECENTI

4.1 EVENTI CONNESSI AL TRASFERIMENTO

Il primo movimento della frana nel suo complesso risale forse a 8300-8900 anni fa, come determinato per mezzo di datazioni assolute con il radio-carbonio sui resti vegetali campionati in sondaggio in corrispondenza della superficie di scivolamento basale (Bertolini,1995).

Almagià, nel libro pubblicato nel 1907, segnalò un movimento sul versante sottostante l'abitato di Succiso Inferiore relativo al 1890 circa.

La prima segnalazione di dissesti da parte della Prefettura ed i conseguenti sopralluoghi ad opera del Genio Civile sono documentati dall'archivio IRPI nel 1951.

I danni registrati a seguito di tale evento furono limitati all'asportazione di un tratto (120 m) della strada comunale Succiso-Miscoso.

L'anno successivo, a causa del nubifragio del 19 Agosto 1952, la frana evolvette provocando danni a 13 fabbricati, al cimitero e la distruzione di ponti Sul Rio Salettola e sul Torrente Liocca.

A seguito dei movimenti gravitativi si formarono inoltre alcune aree di ristagno idrico a monte dei nuclei abitativi di Succiso di Mezzo e Succiso Inferiore: in tale occasione ci furono i primi interventi di drenaggio dei laghetti presenti attorno alle case per mezzo di fossi.

Segnalazione di danni ci furono anche nel 1954-1955.

Nel 1956, come conseguenza degli eventi avvenuti negli anni precedenti, il Genio Civile propose l'inclusione di Succiso nell'elenco dei centri abitati da consolidare, la quale effettivamente avvenne l'anno successivo con il D.P.R. n° 201 del 14/02/1957.

A tale inclusione fece seguito la realizzazione di primi interventi di consolidamento da parte del Genio Civile, consistenti in drenaggi collocati in prossimità delle case danneggiate e la costruzione di alcune briglie sul reticolo idrografico.

La riattivazione del movimento nell'autunno del 1959 provocò lo sgombero di alcuni edifici lesionati e danni alla chiesa: per dare ricovero alle famiglie evacuate dalle proprie case danneggiate, vennero collocate dal Genio Civile le prime baracche in prossimità dell'abitato.

Per far fronte a tali eventi e contenere gli effetti, il Genio Civile si occupò inoltre della realizzazione di ulteriori drenaggi in trincea e di ulteriori briglie sui corsi d'acqua circostanti.

Il 9 Gennaio 1960 e l'8 Novembre 1963 sono testimoniate riattivazioni determinanti situazioni di rischio soprattutto per l'abitato di Succiso di Mezzo e Succiso Superiore: le cause di tale evento furono molto probabilmente le intense precipitazioni, le quali provocarono riattivazioni sia in inverno che in primavera.

Senza dubbio i massimi danni si ebbero nel 1966: nel Novembre di tale anno, a seguito dello straordinario apporto meteorico, si ebbe la piena del Torrente Liocca le cui acque asportarono in parte la strada del Ponte delle Vidice-Succiso e molte delle opere di regimazione precedentemente costruite.

L'alluvione causò probabilmente la distruzione dei Molini di Moschi e d'Aimo e la deviazione verso destra del Liocca presso l'ex Molino d'Aimo.

Inoltre la riattivazione del movimento franoso in quell'anno danneggiò in modo grave la chiesa, il cimitero (che di conseguenza venne trasferito nella sua posizione attuale, Fig. 4.1) ed altre quaranta costruzioni tra Succiso di Mezzo e Succiso Inferiore, alcune delle quali sgomberate per l'imminente pericolo di crollo.

Nell'abitato di Succiso Superiore si ebbe invece il crollo di una decina di abitazioni, mentre altre furono traslate di circa un metro, senza però essere distrutte.

A questa data erano già state collocate in prossimità dell'abitato 20 baracche per dare alloggio ai senza tetto.



Fig. 4.1: Fotografia del cimitero di Succiso di Mezzo scattata dalla strada che conduce a Succiso Superiore. Il cimitero venne costruito nel 1929 dove si trova attualmente, poi trasferito presso la chiesa (verso Succiso Inferiore) a causa delle lesioni alla fine degli anni '50 e nuovamente trasferito nel 1966 nella sua posizione originaria, spostandolo solo di alcuni metri verso monte sui ruderi di quello precedente.

A seguito dei danni causati dagli eventi alluvionali dell'autunno 1966 e sulla base dell'istruttoria tecnica svolta dal Genio Civile e dal Servizio Geologico d'Italia, il Ministro per i Lavori Pubblici dispose, con decreto in data 9 Dicembre 1968, il trasferimento dell'abitato di Succiso: la pubblicazione sulla Gazzetta ufficiale del Decreto di trasferimento avvenne il 24/04/1970.

A tale scopo venne individuata in località Varvilla, situata in sinistra idraulica del Rio Nabussaro (affluente del Rio Salettola) e circa 500 m a sud di Succiso di Mezzo, l'area dove trasferire e ricostruire l'abitato: il Genio Civile compilò il Piano Regolatore con cui propose il trasferimento di 320 abitanti.



Fig. 4.2, 4.3, 4.4: Fotografie relative alla chiesa di Succiso di Mezzo, distrutta durante la fase di massima intensità dei dissesti (oggi ne restano soltanto la facciata e il campanile).

Nel corso dell'anno 1970 fu nel frattempo completata la strada di accesso alla località Varvilla per agevolare le attività di trasferimento.

La scelta del trasferimento dell'abitato di Succiso conseguì dalle valutazioni (corrette per le conoscenze tecnologiche e geognostiche dell'epoca) contenute nelle diverse relazioni geologiche predisposte dai geologi del Servizio Geologico d'Italia.

In una di queste relazioni, si evidenziava che: *“La diffusione dei dissesti, la loro gravità e le sfavorevoli condizioni morfologiche e litologiche della zona inducono a ritenere, pur senza voler anticipare le conclusioni che si trarranno nelle successive indagini, che ben difficilmente potranno essere progettate opere di consolidamento tali da garantire il risanamento dei terreni in modo da eliminare lo stato dei pericoli esistente per le frazioni...La possibilità di realizzare efficaci interventi è soprattutto legata all'entità dello spessore di terreno interessato dai movimenti;...”*

Negli anni immediatamente successivi si verificarono ulteriori danni: in particolare il nubifragio del 9-10 Settembre del 1972 provocò, a causa di un'intensa attività erosiva al piede, la riattivazione dei movimenti.

Conseguentemente a tale evento si registrarono danni al cimitero, l'asportazione da parte della strada di Ponte delle Vidice-Succiso (nel tratto già colpito nel 1966), l'asportazione parziale della nuova strada per Varvilla e la lesione della spalla sinistra del ponte sul Rio Salettola sulla medesima strada.

A difesa della strada e del suddetto ponte, nonché per stabilizzare il reticolo idraulico locale, il Genio Civile realizzò nel Torrente Liocca nuove briglie e, sulla sponda destra, tre pennelli.

Sempre nel 1972, si progettò l'urbanizzazione del nuovo centro abitato di Varvilla e si iniziò la costruzione.

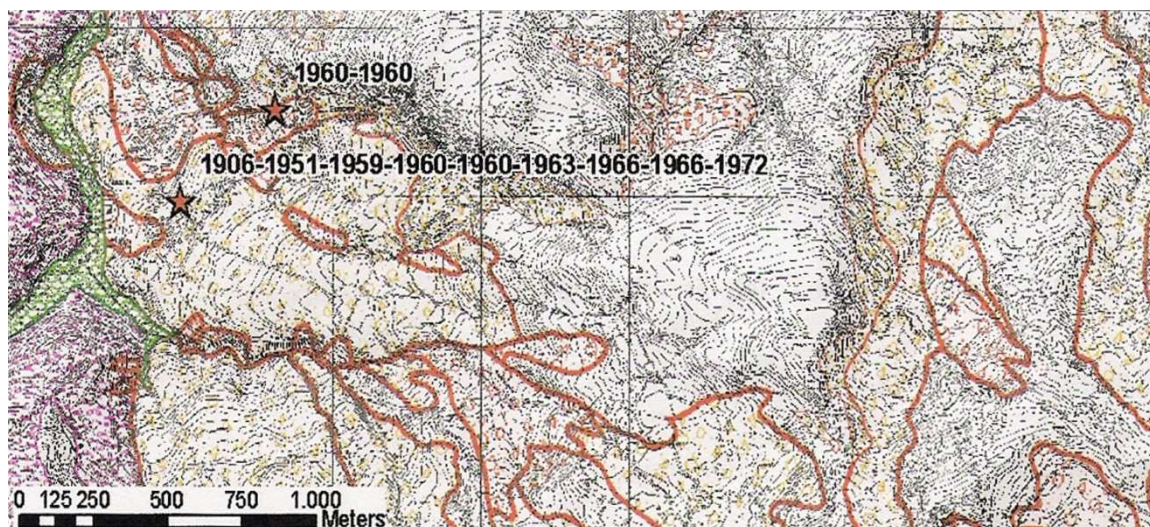


Fig. 4.5: Le stelline rappresentate nell'immagine e gli anni ad esse adiacenti indicano le zone ed i momenti in cui sono state registrate le principali riattivazioni dei fenomeni franosi (Brunamonte, 2001)

Il definitivo trasferimento dell'abitato di Succiso venne realizzato dalla Regione Emilia-Romagna tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80, grazie ai finanziamenti assicurati dalla L.R. n° 20 del 27 Aprile 1976, che come titolo riporta: *“Provvedimenti straordinari per il completamento del trasferimento dell'abitato di Succiso (comune di Ramiseto)”*.

Sulla base di quanto comunicato dal comune di Ramiseto con nota n° 1366 del 04/06/2007, tutte le famiglie aventi a suo tempo il diritto al trasferimento si sono insediate nel nuovo abitato di Varvilla.

Nella stessa nota il comune di Ramiseto ha però evidenziato che, con l'attuazione del trasferimento, si sono verificate alcune situazioni contrastanti con le finalità della legge regionale di trasferimento, in conseguenza presumibilmente di un'ampia e complessa gamma di casi reali determinati dalla particolare realtà sociale dell'epoca e della zona, non completamente previsti dal pur complesso articolato della stessa legge.

Infatti, sinteticamente, l'articolo 3 della citata L.R. 20/76 prevedeva la concessione di contributi per il trasferimento *"...esclusivamente a favore delle famiglie iscritte nell'apposito elenco predisposto dal comune di Ramiseto...purchè dette famiglie, alla data di entrata in vigore della presente legge, siano effettivamente residenti e dimoranti nelle frazione di Succiso..."*.

Il successivo articolo 4 prevedeva che *"...Entro trenta giorni dalla data del rilascio del certificato di abitabilità dei singoli nuovi alloggi, i nuclei familiari interessati sono tenuti a trasferirsi, abbandonando contestualmente i fabbricati ed i ricoveri provvisori precedentemente occupati nell'abitato di Succiso."*

I predetti fabbricati e ricoveri provvisori di Succiso, entro i due mesi successivi, verranno rispettivamente demoliti e rimossi a norma dell'articolo 72 della L.445/1908".

Questa disposizione, a fronte dell'elevata frammentarietà delle proprietà immobiliari, tipica di quella fase storica ancora caratterizzata da famiglie numerose e dall'elevata emigrazione che caratterizzava la montagna, secondo quanto evidenziato dal comune di Ramiseto è risultata in parte inapplicabile.

Infatti in molti casi si è potuto verificare che uno stesso edificio fosse di proprietà di più capi di famiglia, di cui alcuni residenti in quel momento a Succiso (quindi aventi pieno diritto al trasferimento) ed altri residenti in altro comune o all'estero per motivi di lavoro (quindi non aventi diritto al trasferimento), oltre al caso di edifici di proprietà di uno o più capi famiglia tutti non residenti a Succiso.

Per tutti questi edifici, appartenenti in tutto o in parte a capi di famiglia non residenti a Succiso e quindi non aventi diritto al trasferimento (ai sensi dell'articolo 3 della L.R. 20/1976), si presume non fosse possibile dare applicazione a quanto previsto dall'articolo 4 della stessa legge, cioè provvedendo alla demolizione, tranne nei casi di esistente pericolo per la pubblica incolumità in relazione alla gravità dei danni strutturali subiti.

In tal modo, come indicato nella stessa nota n° 1366 del 04/06/2007 del comune di Ramiseto, si sono determinati i presupposti per la conservazione di parte dell'originario abitato di Succiso: a seguito del costante miglioramento delle condizioni di stabilità della frana (avvenuto a partire dagli anni '70), gli edifici non demoliti sono stati progressivamente riutilizzati dai proprietari (ovviamente non ai fini residenziali) ed oggi costituiscono i tre nuclei abitati di Succiso.

4.2 ANALISI DELLE CAUSE

4.2.1 CAUSE METEOROLOGICHE

L'accentuata instabilità dell'area di studio, con fasi parossistiche tra gli anni '20-'70, è strettamente legata ai notevoli apporti meteorologici caratteristici dell'Alto Appennino.

Particolare attenzione è stata rivolta alle altezze pluviometriche registrate negli anni 1966 e 1972, ovvero quelli ritenuti di massima intensità dei dissesti.

Nei primi giorni del Novembre 1966 si verificarono importanti lesioni agli edifici, tra cui la chiesa ed altre costruzioni che di conseguenza vennero sgomberate a seguito del ripristino dell'attività franosa.

Anche il Torrente Liocca risentì dell'evento deviando verso destra il suo corso: questo fu causato dall'eccezionale intensità delle precipitazioni, in quanto caddero 413.4 mm di pioggia in Ottobre ed addirittura 138 mm in un solo giorno (4 Novembre).

Istogramma delle precipitazioni nel 1966

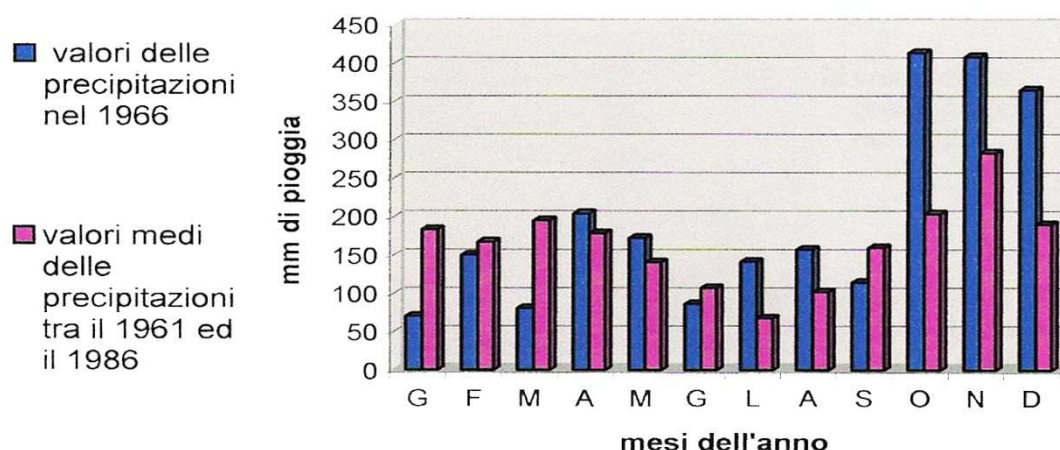


Fig. 4.6: Istogramma relativo ai valori delle precipitazioni medi mensili nell'anno 1966 (in blu), confrontati con i valori medi delle precipitazioni nel periodo 1961-1986 (in rosa)



Fig. 4.7: Curva cumulata delle precipitazioni nell'anno idrologico precedente alla riattivazione del movimento franoso nei primi giorni del Novembre 1966

Altro nubifragio di notevole entità si verificò l'11 Settembre 1972, con un'altezza pluviometrica registrata pari a 376.8 mm: questo mese fu noto per la piena che attraversò l'Enza (ed i suoi effluenti), conferendoli un elevatissimo potere erosivo tale da compromettere la stabilità dei ponti (come quello sul Rio Salettola).

Istogramma delle precipitazioni nel 1972

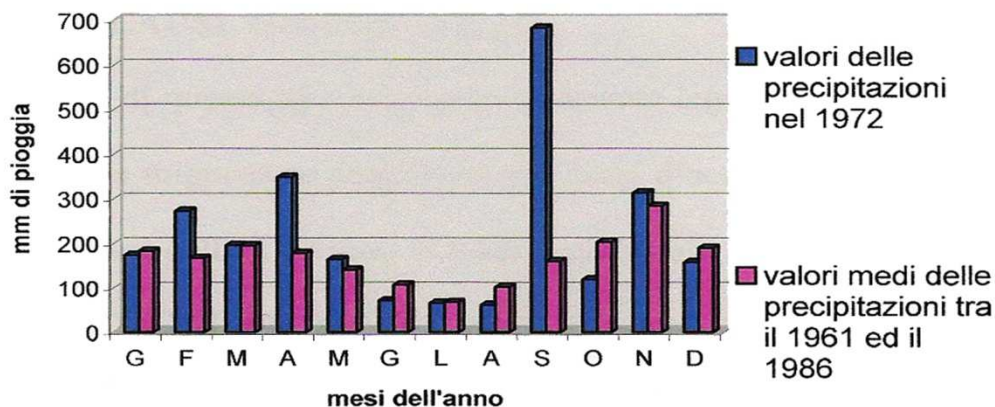


Fig. n. 4.8: Istogramma relativo ai valori delle precipitazioni medie mensili nell'anno 1972 (in blu), confrontati con i valori medi delle precipitazioni nel periodo 1961-1986 (in rosa)

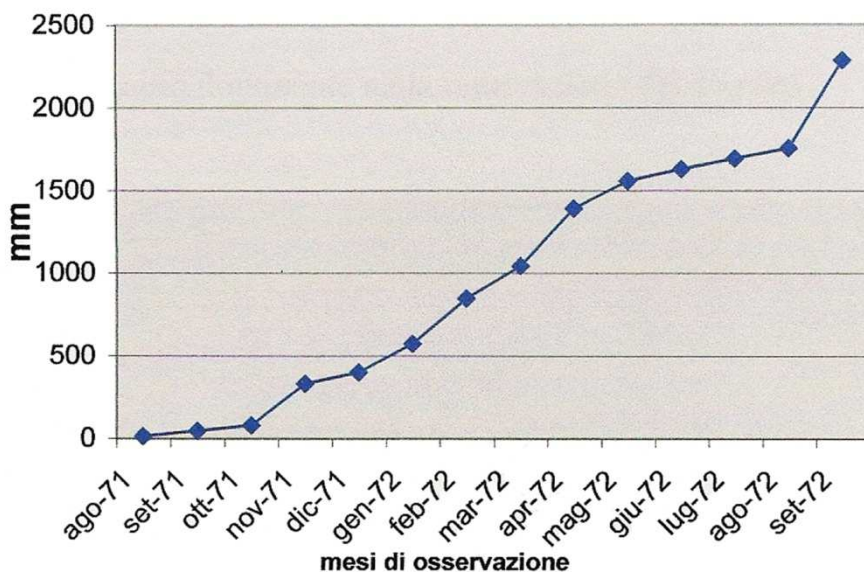


Fig. 4.9: Curva cumulata delle precipitazioni nell'ano idrologico precedente alla riattivazione del dissesto in data 11 Settembre 1972

Sono inoltre possibili (come ad esempio nel 1984) riattivazioni dei dissesti nel periodo primaverile, in particolare nei mesi di Marzo ed Aprile, così come nel periodo autunnale.

Infatti la concomitanza di precipitazioni di notevole entità con lo scioglimento del manto nevoso accumulato nei mesi invernali può produrre rapidi incrementi delle pressioni interstiziali all'interno del corpo di frana.



Fig. 4.10: Foto del Torrente Liocca scattata in data 15/12/2010, giornata caratterizzata da clima rigido e assenza di precipitazioni



Fig. 4.11: Foto del Torrente Liocca scattata in data 23/11/2010, giornata caratterizzata da abbondanti precipitazioni e una temperatura media compresa tra i 5-6°C (con conseguente scioglimento del manto nevoso presente al suolo)

4.2.2 CAUSE IDROLOGICHE

Le cause di questo tipo sono principalmente legate all'approfondimento e, in condizioni estreme, alla migrazione degli alvei dei corsi d'acqua, come ad esempio il Liocca che tra il 1954 ed il 1972 nei pressi dell'ex Molino dell'Aimo ed alla quota di 816 m è migrato di 70 m verso destra (Bertolini, 1995).

L'incisione degli alvei è un processo molto diffuso nella zona, sia attualmente che in passato ed in particolare in corrispondenza di apporti meteorologici straordinari che conferiscono alle acque un forte potere erosivo.

Nelle grandi piene del 1966 e del 1972 la rapida e profonda incisione degli alvei, soprattutto quella del Torrente Liocca, è stata una delle cause se non la causa principale della riattivazione dei dissesti.



Fig. 4.12: Ortofotocarta dell'AIMA (1994) in cui sono riconoscibili i tre centri abitati di Succiso Inferiore, di Mezzo e Superiore. La freccia rossa indica il tratto in cui il Liocca, durante la fase parossistica dei dissesti, è migrato di 70 m verso destra.

Il mutamento delle condizioni idrografiche è evidente anche dall'analisi comparata delle foto aeree (analizzata nel dettaglio nel successivo capitolo), avendo a disposizione una copertura temporale dal 1954 al 2004.

L'estrema energia e dinamica del reticolo idrografico, soprattutto del Torrente Liocca, sono anche legate alle litologie fortemente erodibili che il torrente attraversa: in particolare, nelle zone maggiormente interessate dal fenomeno, Argille e Calcari di Canetolo e coperture detritiche.

CAPITOLO 5

ANALISI COMPARATA DELLE FOTO AEREE: L'EVOLUZIONE DELLA FRANA

Come già precisato, attraverso le segnalazioni e i provvedimenti amministrativi assunti all'epoca dall'ex Genio Civile e dalla Prefettura di Reggio Emilia, possiamo affermare che la fase di attivazione dei dissesti che hanno coinvolto le frazioni costituenti l'abitato di Succiso si è protratta dall'inizio degli anni '50 fino alla fine degli anni '70.

Per poter valutare le attuali condizioni dei dissesti e la loro possibile evoluzione futura, si è reso necessario individuare le cause che hanno attivato questi fenomeni e ricostruire nello stesso tempo tutte le principali trasformazioni geomorfologiche intervenute nell'area nell'intervallo di tempo considerato.

Ai fini del raggiungimento di questo obiettivo, oltre alle ricerche, agli studi geologici e alle notizie storiche, ci si è avvalsi dell'esame e interpretazione di foto aeree di periodi diversi (voli degli anni 1954, 1976, 1978, 1988 e 2004, Fonte Servizio Tecnico di Bacino Enza): si è potuto così accertare che l'evoluzione dei versanti nella zona di Succiso (e quindi dei dissesti) è stata fortemente condizionata dall'evoluzione geomorfologica del reticolo idrografico.

Nello specifico, per ogni ripresa aerea verrà mostrata una carta geomorfologica corrispondente al periodo in cui sono state effettuate le riprese e un ortofoto, in modo da avere un riscontro con i fenomeni che riguardano l'area in esame (Relazione generale sulla perimetrazione e zonizzazione dell'abitato di Succiso, Servizio Tecnico di Bacino Enza).

Successivamente verrà descritta la tendenza evolutiva dei tre corsi d'acqua principali che attraversano la zona in esame, ovvero il Torrente Liocca, Rio Salettola, Rio Marzolaro e, se presenti, le condizioni delle opere idrauliche.

5.1 RIPRESA DEL LUGLIO 1954

Nelle foto aeree dell'estate dell'anno 1954 (scala 1:60.000 circa) non si evidenziano ancora rilevanti processi fluviali e, analogamente, sul versante di Succiso e sul versante della Borellaccia, non si rilevano ancora elementi geomorfologici riconducibili ai dissesti in atto (vedi fig. 5.1).

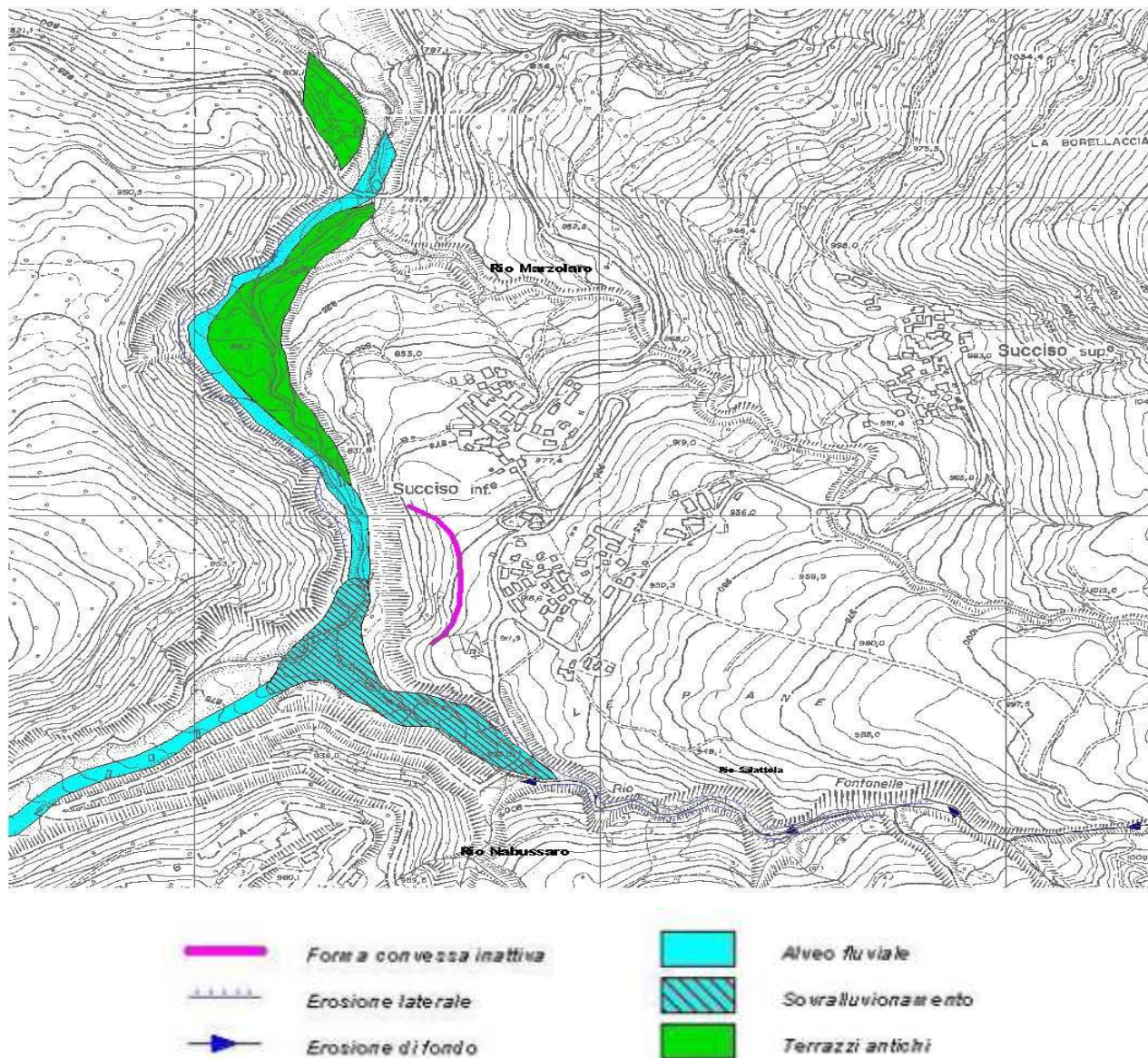


Fig. 5.1: Carta geomorfologica (e relativa legenda) della zona di Succiso riferita al 1954

5.1.1 TORRENTE LIOCCA

Il tratto di Torrente Liocca posto a monte della confluenza con il Rio Salettola non presenta significativi processi erosivi ed alluvionali; l'alveo si colloca completamente in destra idraulica.

Nel tratto compreso tra le confluenze del Rio Salettola e del Rio Marzolaro sono evidenti iniziali processi fluviali completamente contenuti all'interno dell'alveo di piena ordinaria.

In sinistra idraulica si rilevano discontinui fenomeni erosivi delle scarpate causati dall'erosione laterale di sponda, mentre in destra idraulica non sono ancora presenti evidenti processi erosivi e di modellamento del versante di Succiso.

Per un tratto vallivo di circa 250 m posto a monte della confluenza del Rio Marzolaro, il Torrente Liocca scorre completamente in sinistra idraulica mentre, in destra idraulica dello stesso tratto, a ridosso del piede del versante di Succiso si rileva un ampio deposito alluvionale terrazzato e stabilizzato da vegetazione arborea ed arbustiva e sul quale sorgeva probabilmente il Mulino dell'Aimo.

Evidenze di sovralluvionamento si rilevano nell'alveo del Liocca in prossimità del Rio Salettola.

Sul versante di Succiso, sotto il cimitero, è presente una forma convessa di probabile origine gravitativa apparentemente inattiva.

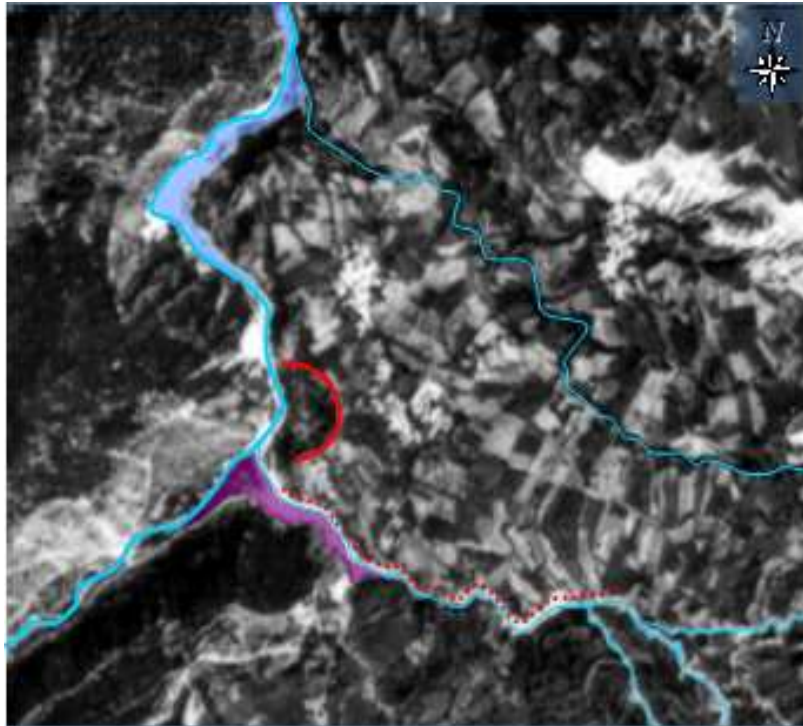


Fig. 5.2: Ortofotografia di Succiso riferita al 1954

La linea rossa indica la forma convessa inattiva, i punti in rosso la zona maggiormente soggetta ad erosione laterale, l'area viola una zona di sovralluvionamento, le linee celesti i percorsi fluviali.

5.1.2 RIO SALETTOLA E RIO MARZOLARO

Il reticolo idrografico del micro bacino del Rio Salettola presenta su tutti i rami, fatta eccezione del Rio Nabussaro che lambisce la località Varvilla, evidenze di erosione e di modellamento delle scarpate di incisione fluviale che localmente arrivano ad interessare anche i versanti.

In prossimità della confluenza nel Liocca si rilevano forme di sovralluvionamento.

Il Rio Marzolaro invece non presenta una significativa attività erosiva, tanto da rendere perfino difficile l'individuazione dell'alveo.

5.2 RIPRESA DEL LUGLIO 1973

Nelle foto aeree del mese di Luglio del 1973 (scala 1:15000 circa) si rilevano gli effetti di fenomeni erosivi e di sovralluvionamento su tutto il reticolo idrografico, tali da modificare in modo sostanziale gli alvei e il piede dei versanti.

Sui versanti si individuano elementi significativi dei dissesti in atto (vedi fig. 5.3).

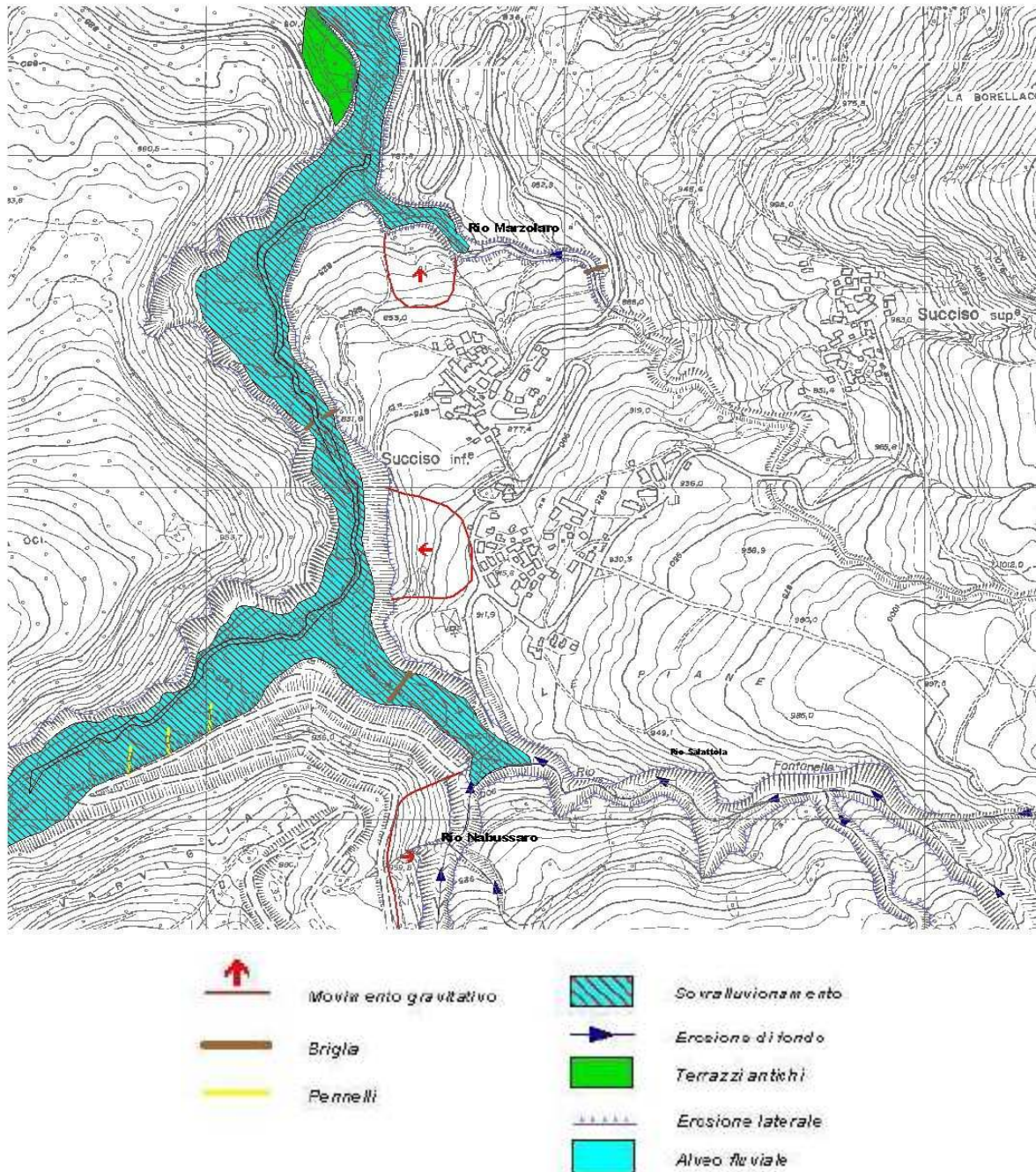


Fig. 5.3: carta geomorfologica (e relativa legenda) della zona di Succiso riferita al 1973

5.2.1 TORRENTE LIOCCA

L'alveo di piena del Torrente Liocca interessa, adesso, tutto il fondovalle con evidenze di importanti sovralluvionamenti e modellamenti delle porzioni inferiori dei versanti.

Sulle sponde sono inoltre evidenti gli effetti di una forte erosione laterale provocata dalla corrente alluvionale che ha già prodotto estese lacerazioni sui fianchi vallivi e una profonda modificazione della geometria dei versanti che interessano il percorso del torrente.

La prolungata erosione laterale ha determinato una marcata accentuazione alla pendenza del settore inferiore del versante di Succiso che ha comportato la riattivazione dei movimenti gravitativi prima inattivi e la formazione di potenziali dissesti.

Inoltre il letto di magra, nel tratto posto a monte con la confluenza del Rio Salettola, si trova ora in sinistra idraulica probabilmente a seguito della deviazione operata dai tre pennelli realizzati in sponda destra allo scopo di mettere in sicurezza la strada per la località Varvilla (distrutta localmente a seguito di erosione laterale esercitata precedentemente dal Liocca).

A seguito della deviazione della corrente in sinistra idraulica è stata infatti favorita la formazione di un ampio e consistente deposito alluvionale in destra idraulica che appare però ancora non stabile del tutto.

Nel tratto di alveo compreso tra la confluenza del Rio Salettola e del Rio Marzolaro, il letto di magra si trova adesso in destra idraulica, dove lambisce e modella tutto il piede del versante di Succiso.

In prossimità del cimitero, dove nel 1954 era evidente una forma convessa, ora si rilevano segni di attività gravitativa che si estende fino in prossimità della strada che delimita la frazione di Succiso di Mezzo, per un fronte di circa 250 m (si tratta del dissesto che ha causato i gravi danni registrati nella frazione rendendo necessario alla fine del 1968 il trasferimento della stessa).

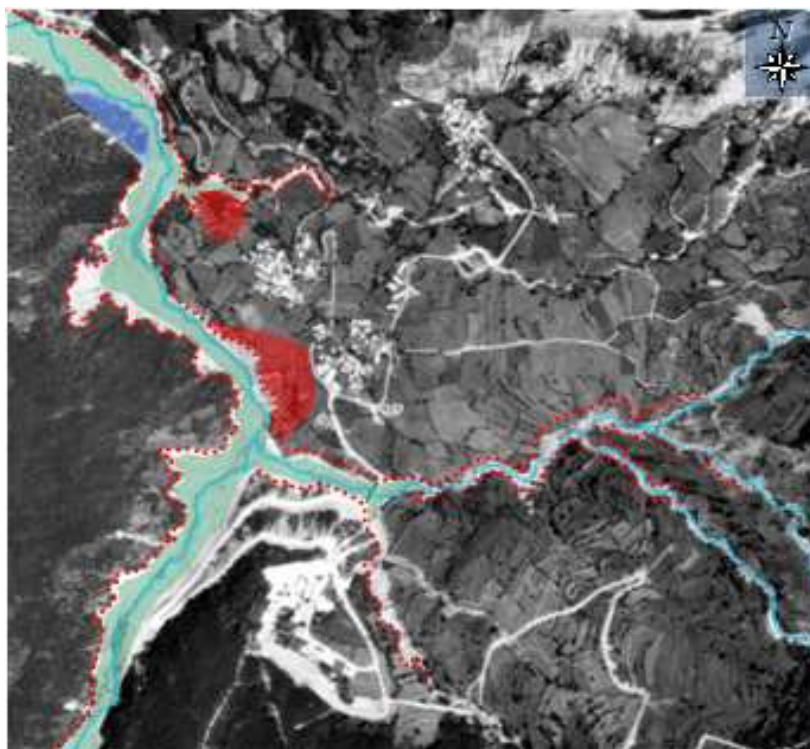


Fig. 5.4: ortofotografia di Succiso riferita al 1973

Le aree in rosso indicano le zone coinvolte da movimento gravitativo, l'area blu un terrazzo antico

Più a valle, prima della confluenza con il Rio Marzolaro, l'ampio deposito posto in destra idraulica (terrazzato e stabilizzato nel Luglio 1954) è stato completamente rimosso a conferma della notevole erosione laterale esercitata dal Torrente Liocca sul piede del versante di Succiso; in sinistra idraulica si è invece sviluppato un ampio e consistente deposito di origine alluvionale.

Rispetto alle foto aeree del 1954 l'alveo del Torrente Liocca, nel tratto in esame, risulta vistosamente allargato fino ad occupare interamente il fondovalle: in alcune sezioni l'alveo presenta anche una larghezza quadrupla rispetto alla larghezza precedente, a scapito del versante di Succiso che è arretrato sensibilmente.

L'elevata dinamica fluviale in corso è anche testimoniata dalla notevole dimensione dei blocchi di arenaria (volume di alcuni m³) rinvenuti nell'alveo del torrente, i quali non verranno più rimobilizzati dalla corrente negli anni successivi.

5.2.2 RIO SALETTOLA

Nel microbacino del Rio Salettola tutti i fossi presentano un'intensa erosione di fondo e segni di estese erosioni di sponda sulle scarpate con sviluppo di movimenti gravitativi che si estendono ai versanti.

Nel tratto che va dal ponte della strada per Varvilla fino alla confluenza con il Torrente Liocca è evidente il sovralluvionamento e l'allargamento dell'alveo rispetto al precedente periodo che, in alcuni tratti, raggiunge una larghezza anche maggiore dello stesso ponte.

In questo tratto i fianchi vallivi sono interessati da evidenti forme erosive che, sotto il cimitero, sono estese a tutta la scarpata.

Nella porzione medio-alta del microbacino (1040 m di quota sul livello del mare), in corrispondenza di una diminuzione di pendenza dell'alveo sono visibili forme di esondazione e deviazioni fluviali a conferma dell'intensità degli eventi di pioggia in questo periodo.

5.2.3 RIO MARZOLARO

Si rilevano significative erosioni di fondo e laterali dalla confluenza con il Torrente Liocca fino poco a monte del ponte sulla strada comunale per la frazione di Succiso Inferiore.

Rispetto al periodo precedente, in questo tratto si registra un allargamento dell'alveo di piena e forme erosive sulle scarpate con conseguenti ripercussioni sulla stabilità dei versanti.

In prossimità della confluenza con il Liocca sono invece visibili gli effetti del movimento gravitativo che ormai coinvolge la frazione di Succiso Inferiore (dissesto che ha causato gravi danni rendendo necessario alla fine del 1968 il trasferimento della frazione).

Dall'esame delle foto aeree non si rilevano elementi geomorfologici che consentano di individuare il dissesto che, secondo i dati di archivio, in questa data ha già cominciato a coinvolgere la frazione di Succiso Superiore.

Anche nel micro bacino del Rio Marzolaro si rilevano gli effetti di esondazioni in prossimità dell'attraversamento della strada comunale che collega le frazioni di Succiso di Mezzo e Succiso Superiore.

5.3 RIPRESA DEL LUGLIO 1978

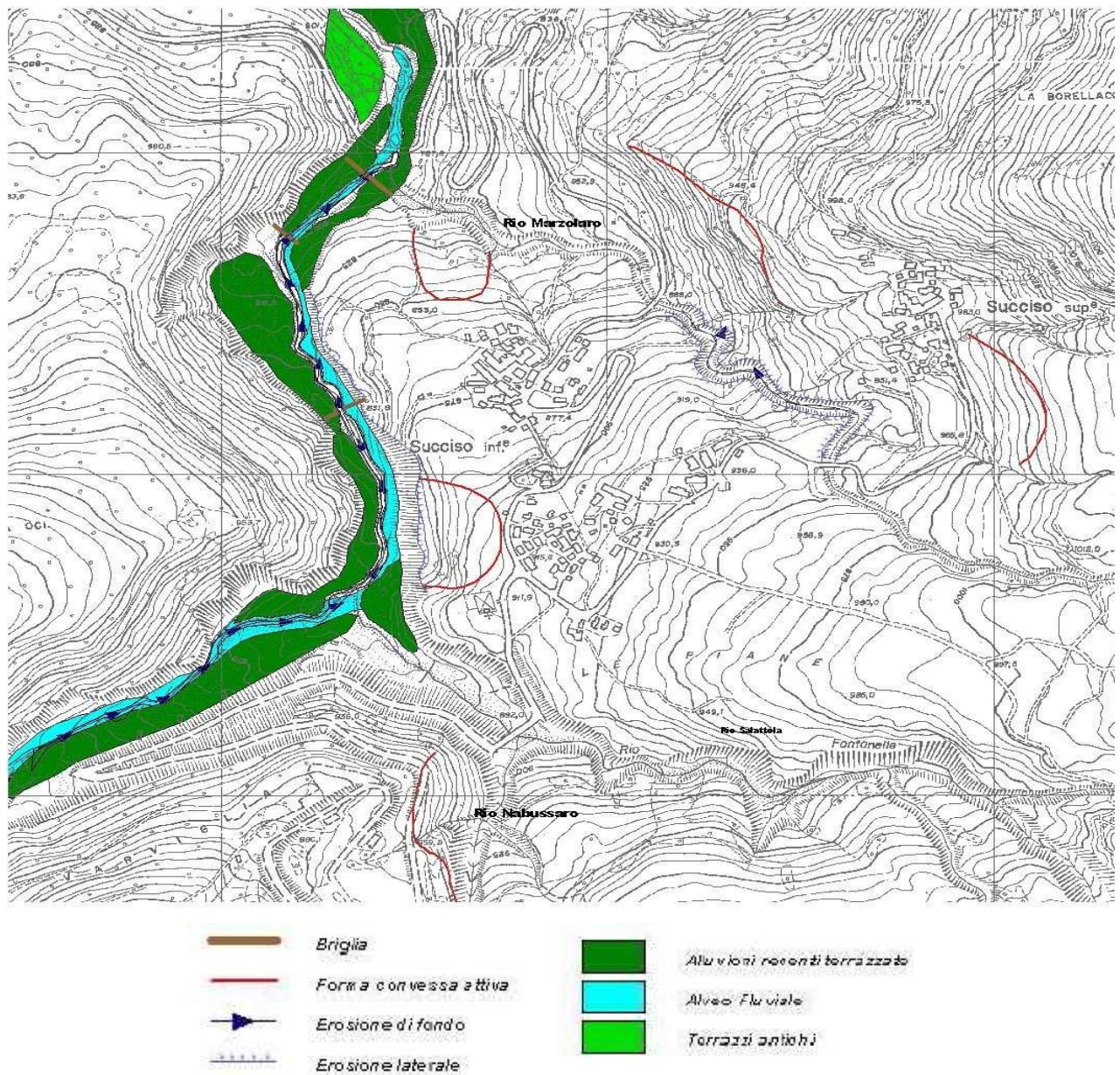


Fig. 5.5: Carta geomorfologica (e relativa legenda) della zona di Succiso riferita al 1978

L'attività geomorfologica mostra una significativa attenuazione dell'intensità dei processi ed una sostanziale inversione dei fenomeni in atto.

Ad una fase di intenso modellamento vallivo conseguente a fenomeni di sovralluvionamento e di intensa erosione laterale, subentra una fase di incisione dei depositi alluvionali accumulati nella precedente fase con conseguente terrazzamento e stabilizzazione dei depositi e dell'alveo (vedi fig. 5.5 di pagina precedente).

5.3.1 TORRENTE LIOCCA

Nel tratto a monte della confluenza con il Rio Salettola, il Torrente Liocca stabilizza il proprio alveo in sinistra idraulica mentre, in destra idraulica, incide e terrazza il deposito alluvionale depositato durante la precedente fase di sovralluvionamento che appare consolidata da vegetazione erbacea e arbustiva.

Più a valle, nel tratto compreso tra la confluenza del Rio Salettola fino a circa 250 m a monte della confluenza con il Rio Marzolaro, l'alveo lambisce ancora il versante di Succiso modellandone il piede mentre, per il restante tratto di valle fino alla confluenza con lo stesso rio, scorre all'interno di depositi alluvionali ormai terrazzati che risultano interessati marginalmente dalla vegetazione pioniera.



Fig. 5.6: orto fotografia di Succiso riferita al 1978

La linea rossa delimita una forma convessa attiva, l'area verde indica una zona alluvionale recentemente terrazzata

La frana presente a valle di Succiso di Mezzo, in prossimità del cimitero, non mostra più segni di attività e le lacerazioni sviluppatesi nel precedente periodo appaiono rimarginate.

5.3.2 RIO SALETTOLA E RIO MARZOLARO

Sul Rio Salettola sono ancora evidenti le tracce dei dissesti riferite al precedente periodo, anche se si nota una tendenza alla stabilizzazione delle scarpate e delle zone interessate da fenomeni di erosione.

Il Rio Nabussaro presenta, all'altezza dell'abitato di Varvilla, evidenze di dissesti ancora in atto.

Esaminando invece il Rio Marzolaro, nel tratto di alveo compreso tra la confluenza con il Torrente Liocca e il ponte della strada per la frazione di Succiso Inferiore, si osserva un'attenuazione dell'attività erosiva con conseguente ripresa della vegetazione.

Nel tratto posto a monte però permangono tracce di localizzate erosioni di fondo e laterale.

5.4 RIPRESA DEL LUGLIO 1988

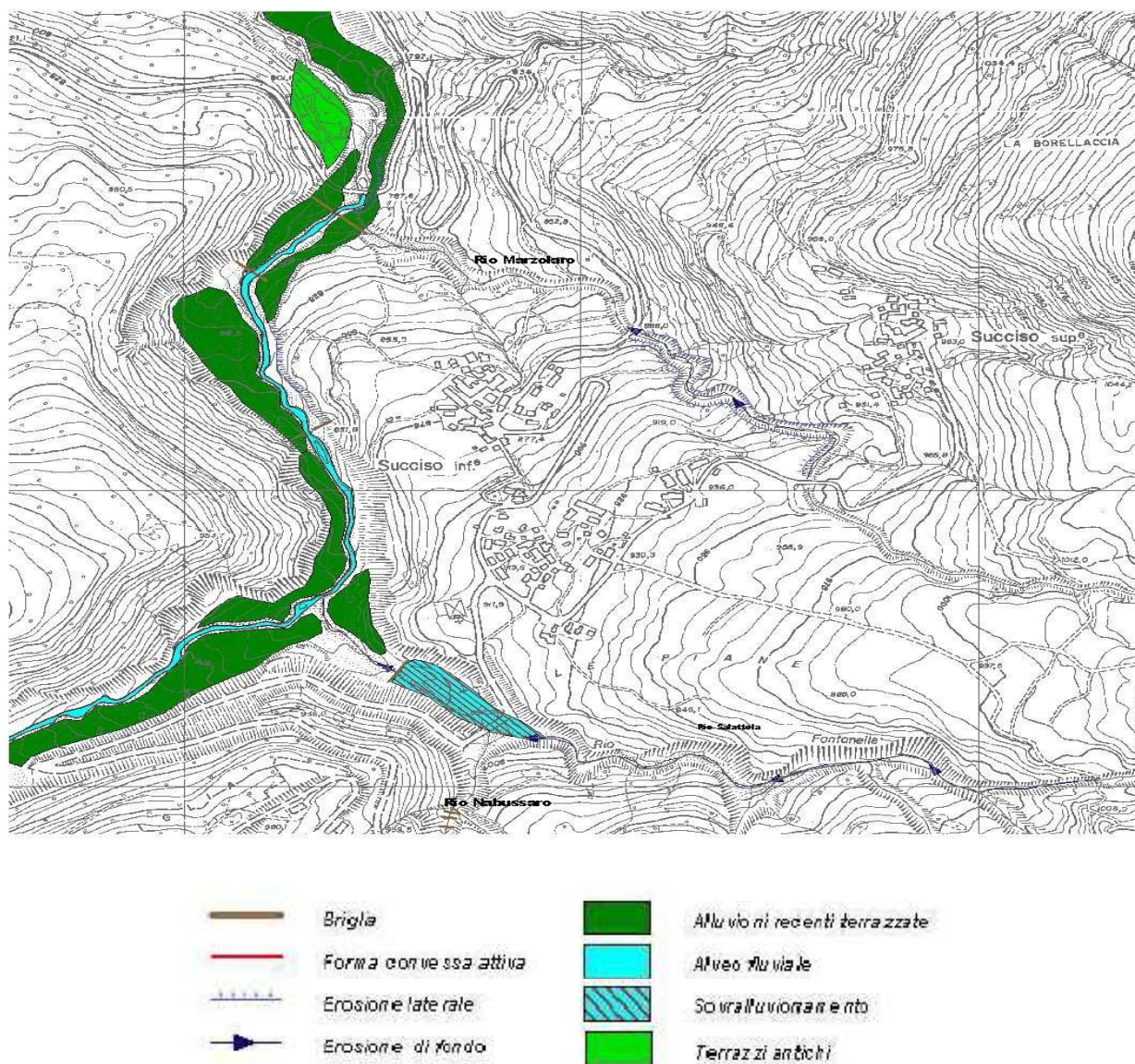


Fig 5.7: Carta geomorfologica (e relativa legenda) di Succiso riferita al 1988

Nella ripresa del Luglio del 1988 (scala 1:30.000 circa) non si notano inversione di tendenza evolutiva nei tre corsi d'acqua principali rispetto alle foto aeree del 1978 (scala 1:15.000 circa). Risulta però evidente che, nei dieci anni trascorsi dalla situazione del Luglio 1978, la fase di abbassamento dell'alveo del Torrente Liocca è ulteriormente proseguita a seguito di erosione verticale con conseguente stabilizzazione dei terrazzi (vedi fig. 5.7 di pagina precedente). Le evidenze del movimento gravitativo che aveva interessato la frazione di Succiso Inferiore (ben visibile nelle foto aeree del 1973) non risultano più visibili per la presenza di una fitta copertura vegetale.

5.4.1 TORRENTE LIOCCA

Il tratto di alveo posto a monte della confluenza con il Rio Salettola risulta ormai stabilmente localizzato in sinistra idraulica ed appare inciso e stabile nel suo nuovo tracciato mentre, in destra idraulica, l'ampio deposito alluvionale (in fase di iniziale terrazzamento nelle foto aeree del 1978) appare ora completamente terrazzato e consolidato da una vegetazione arborea stabile all'interno della quale sono visibili i pennelli, ormai non più interessati dall'attività fluviale.

A valle della confluenza con il Rio Salettola e fino alla briglia lesionata, il letto di magra risulta ormai costantemente centralizzato nel letto di piena tranne durante gli eventi alluvionali estremi, in cui il torrente può arrivare ad occupare tutto il fondo valle modellando ancora i due fianchi vallivi. Modeste erosioni di scarpata si rilevano solamente sotto il cimitero, in corrispondenza della destra idraulica del torrente; il terrazzo posto in sinistra idraulica appare invece completamente stabilizzato e vegetato.



Fig. 5.8: Ortofotografia di Succiso riferita al 1988

Nel tratto posto a valle della briglia distrutta e fin a monte della confluenza con il Rio Marzolaro, il terrazzo presente in sinistra idraulica (anch'esso in via di stabilizzazione nelle riprese del 1978) appare completamente vegetato e privo di forme erosive e deposizionali; sulla scarpata in destra idraulica si rilevano ancora contenute tracce di forme erosive causate da erosione laterale.

In prossimità della confluenza con il Rio Marzolaro i due terrazzi risultano in avanzata fase di stabilizzazione, mentre continua la fase d'incisione d'alveo con significative evidenze nel suo approfondimento, particolarmente marcato in corrispondenza e a valle del ponte della strada provinciale n°15: in questo tratto l'approfondimento massimo operato dal Torrente Liocca è stato stimato superiore ai 10 m, tendendo a ridursi progressivamente verso monte.

5.4.2 RIO SALETTOLA E RIO MARZOLARO

Il rio Salettola presenta ancora una significativa attività erosiva di fondo almeno fino al ponte della strada per Varvilla: a valle del ponte, fino alla briglia, si rileva un forte sovralluvionamento mentre a valle, all'altezza del cimitero, risulta evidente una forte incisione d'alveo.

L'affluente Rio Nabussaro, prospiciente l'abitato di Varvilla, risulta ormai sistemato da una successione di nove briglie mentre i processi geomorfologici prima presenti sulla scarpata sottostante l'abitato, appaiono in fase di lenta regressione rispetto al precedente periodo.

Esaminando invece il Rio Marzolaro, nel tratto compreso tra la confluenza con il Torrente Liocca e il ponte della strada di Succiso Inferiore, non si rilevano forme erosive significative mentre, a monte di questo tratto e fino al ponte della strada per Succiso Superiore, si riscontrano ancora forme erosive probabilmente riconducibili all'erosione laterale e di fondo.

5.5 RIPRESA DEL MAGGIO 2004

Le foto aeree del Maggio 2004 (scala 1:30.000 circa) sembrerebbero testimoniare la quasi totale scomparsa di elementi geomorfologici riferibili a forme di attività in corso (nei capitoli successivi si vedrà invece che i movimenti sono sicuramente ridotti rispetto alla fase parossistica, ma comunque presenti).

In particolare si registra una marcata riduzione degli alvei di piena, l'avvenuto consolidamento delle forme alluvionali e la stabilizzazione e rimarginazione di tutte le forme erosive prodottesi principalmente nel periodo 1954-1978 con conseguente sviluppo della vegetazione arborea: questa situazione è riscontrabile osservando le fig. 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12 di pagina successiva.



Fig. 5.9: Foto aerea di Succiso del 1973

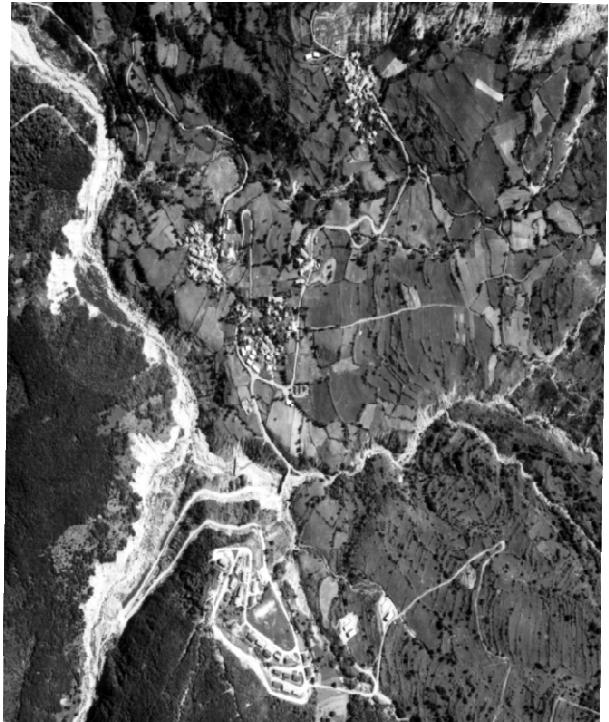


Fig. 5.10: Foto aerea di Succiso del 1978



Fig. 5.11: Foto aerea di Succiso del 1988

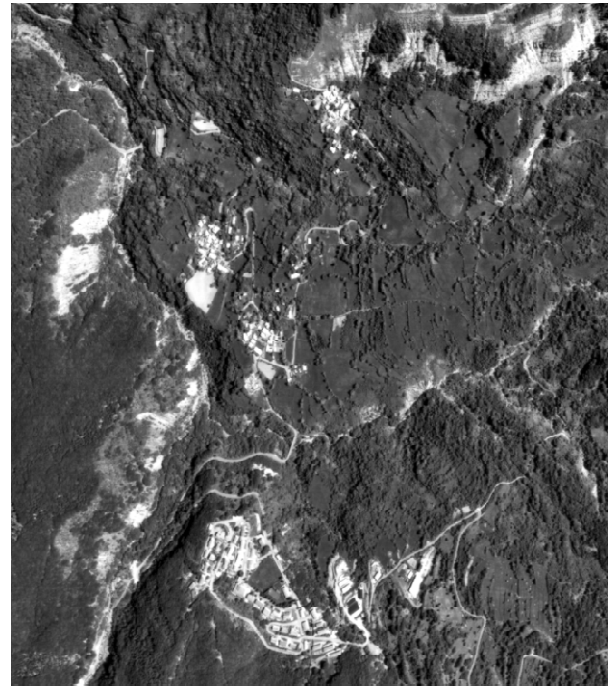


Fig. 5.12 Foto aerea di Succiso del 2004

5.6 INTERPRETAZIONE DEI DATI RICAVATI DALLE FOTO AEREE

L'analisi comparata delle diverse foto aeree ha permesso di confermare che la fase di attività gravitativa parossistica che ha interessato i versanti su cui si collegano le frazioni di Succiso si è protratta dalla metà degli anni '50 fino alla fine degli anni '70, con un massimo di intensità dei fenomeni nel finire degli anni '60.

Le cause di tale attività gravitativa sono da attribuire alla particolare ed intensa dinamica fluviale che ha interessato in quel periodo il Torrente Liocca e che ha fatto seguito alle abbondanti ed intense precipitazioni che hanno caratterizzato l'area a partire dagli anni '40-'50 fino all'inizio degli anni '70.

Infatti tra la fine degli anni '40 ed inizio anni '50 termina un lungo periodo (iniziato a metà dell'800) caratterizzato da clima caldo e si afferma (in tutta Italia) per oltre venti anni un nuovo ciclo climatico freddo caratterizzato sia da una notevole intensificazione dei quantitativi annuali di pioggia, sia dall'intensità delle piogge giornaliere.

Il nuovo regime pluviometrico ha prodotto ripetuti eventi di piena eccezionali che hanno attivato intensi processi alluvionali ed erosivi tale da produrre una profonda modificazione del fondo valle e della geometria dei versanti con conseguente accentuazione della loro pendenza, progressiva attivazione di nuovi dissesti o riattivazione di movimenti gravitativi prima ritenuti inattivi.

Questa fenomenologia, conseguente all'instaurarsi di un breve periodo freddo e piovoso all'inizio degli anni '50, si è ripetuta anche in altre aree dell'Appennino Reggiano con notevoli modificazioni della geometria dei corsi d'acqua e dei versanti: la conferma è rappresentata dal numero elevato di abitati che sono stati dichiarati da consolidare in negli anni '50 e '60.

La fase di profonda trasformazione ed in stabilizzazione del territorio avviatasi a metà degli anni '50, si esaurisce a partire dalla fine degli anni '70 quando si instaura un nuovo ciclo climatico caratterizzato da una decisa riduzione delle quantità complessive delle piogge.

Per quanto riguarda la dimensione e la localizzazione dei dissesti conseguenti a questa prolungata fase di destabilizzazione, dall'esame delle foto aeree possiamo affermare che è stato possibile individuare con certezza due soli dissesti attivi principali che, nella loro fase parossistica, hanno coinvolto la frazione di Succiso Inferiore e di Mezzo: il limite areale di questi due dissesti deve essere considerato riduttivo rispetto all'effettiva area di coinvolgimento che è risultata certamente più ampia, almeno rispetto agli elementi desunti dalla cronaca di quei tempi e dagli archivi.

Occorre però sottolineare che tale esame non ha consentito di osservare elementi utili a delimitare un'area di dissesto nella frazione di Succiso Superiore, la quale è stata certamente coinvolta nei dissesti sulla base dei dati storici.

Lo studio delle foto aeree non ha rilevato (almeno fino all'anno 2004) elementi geomorfologici riconducibili ad una generalizzata attivazione dell'intero versante di Succiso: si può pertanto affermare che il versante di Succiso è stato coinvolto da dissesti localizzati.

L'attribuzione del versante di Succiso ad una frana dipende dalla sua geometria, infatti le caratteristiche geomorfologiche che hanno portato a classificarlo come una frana sono determinate dalla forma prodotta dalle incisioni del Rio Salettola e del Rio Marzolaro.

Indubbiamente si tratta di una forma geometrica riconducibile a quella tipica delle colate che si sviluppano all'interno di bacini idrografici: in questi casi l'accumulo del materiale detritico al termine del canale collettore determina lo sdoppiamento del corso d'acqua in due collettori separati che, nella porzione inferiore del bacino, divergono e disegnano una tipica forma a ventaglio; i due canali di neo-formazione che delimitano la colata, di norma spinti dal progressivo sviluppo del corpo di frana, ne incidono progressivamente i fianchi dando origine a scarpate che, a causa dello scalzamento al piede, evolvono dando origine a frane di scorrimento rotazionale. Pertanto queste forme sono determinate da accumulo di materiale proveniente dal bacino e legate ai processi gravitativi interni al bacino stesso e, potremmo chiamarle "forme positive", ovvero determinate da processi di accumulo.

Evidenze morfologiche simili a queste possono però essere causate anche da incisioni torrentizie di formazioni detritiche o di substrati a componente prevalentemente argillitica: in questi casi la forma è determinata da processi erosivi e si potrà quindi parlare di "forma negativa".

Nel caso specifico tutto il versante di Succiso, sotteso dal Rio Salettola e dal Rio Marzolaro, presenta forme simili a quelle sopra descritte, ma non presenta la configurazione tipica di un bacino che ospita una colata, ovvero manca una chiara delimitazione dell'impluvio nel quale si è sviluppata la colata stessa.

Inoltre, la forma di incisione delle scarpate sottese dai due rii sembra indicare maggiormente la presenza di un substrato più che di un accumulo detritico argilloso di origine gravitativa: alcune recenti informazioni sembrano confermare questa ipotesi.

Di fatto, come riportato nella carta geologica, recenti sopralluoghi hanno portato a riconoscere affioramenti in posto attribuibili alla Formazione delle Argille e Calcari di Canetolo che costituiscono, le quali costituiscono l'intera scarpata destra di lunghi tratti d'alveo del Rio Salettola, mentre affioramenti riconducibili alla Formazione dei Calcari del Groppo del Vescovo caratterizzano l'intera scarpata sinistra di lunghi tratti d'alveo del Rio Marzolaro a monte del ponte della strada per Succiso Inferiore.

I depositi detritici (morene) e le forme di origini glaciale e fluvio-glaciale individuati sul versante di Succiso invece mal si conciliano con una genesi gravitativa.

Sulla base di queste osservazioni si è ormai più propensi a considerare il versante di Succiso una "forma negativa" sviluppatasi su un substrato argillitico piuttosto che una complessiva "forma positiva" di origine gravitativa.

L'esame geomorfologico di questo versante consente in ogni caso di riconoscere la presenza di coperture detritiche del substrato, di origine e spessore variabile, al cui interno in periodi di pioggia intensa e prolungata, possono originarsi movimenti gravitativi lenti determinati dall'incremento delle condizioni di saturazione delle coperture stesse.

5.7 OPERE IDRAULICHE

L'analisi comparata delle foto aeree ha senza dubbio aiutato a capire lo stato delle opere idrauliche realizzate sul Torrente Liocca e i suoi affluenti, nonché valutare la loro efficacia nella stabilizzazione dell'alveo.

In particolare le opere idrauliche in questione sono i pennelli e le briglie.

5.7.1 PENNELLI

I pennelli (chiamati anche traverse vive o sbarramenti vivi) sono costruzioni in legname, pietrame e materiale vivo (fascine, ramaglia), poste in senso trasversale o longitudinale rispetto all'asse del corso d'acqua.

Le costruzioni trasversali alla riva possono avere un'orientazione inclinante, declinante o ad angolo retto rispetto alla direzione del flusso, a seconda dell'effetto che si desidera ottenere.

Queste particolari costruzioni vengono realizzate mediante:

- Formazione di uno scavo o infissione di pali in legno a file singole o doppie (controventati a coppia con filo di ferro);
- Inserimento di ramaglia viva e di talee, intreccio di ramaglia;
- Ricoprimento con materiale inerte (ghiaia, sassi);
- Ripetizione a strati alterni delle due operazioni precedenti;
- Eventuale posizionamento di massi da scogliera di dimensioni adeguate alla portata sia solida che liquida del corso d'acqua, a protezione della struttura.

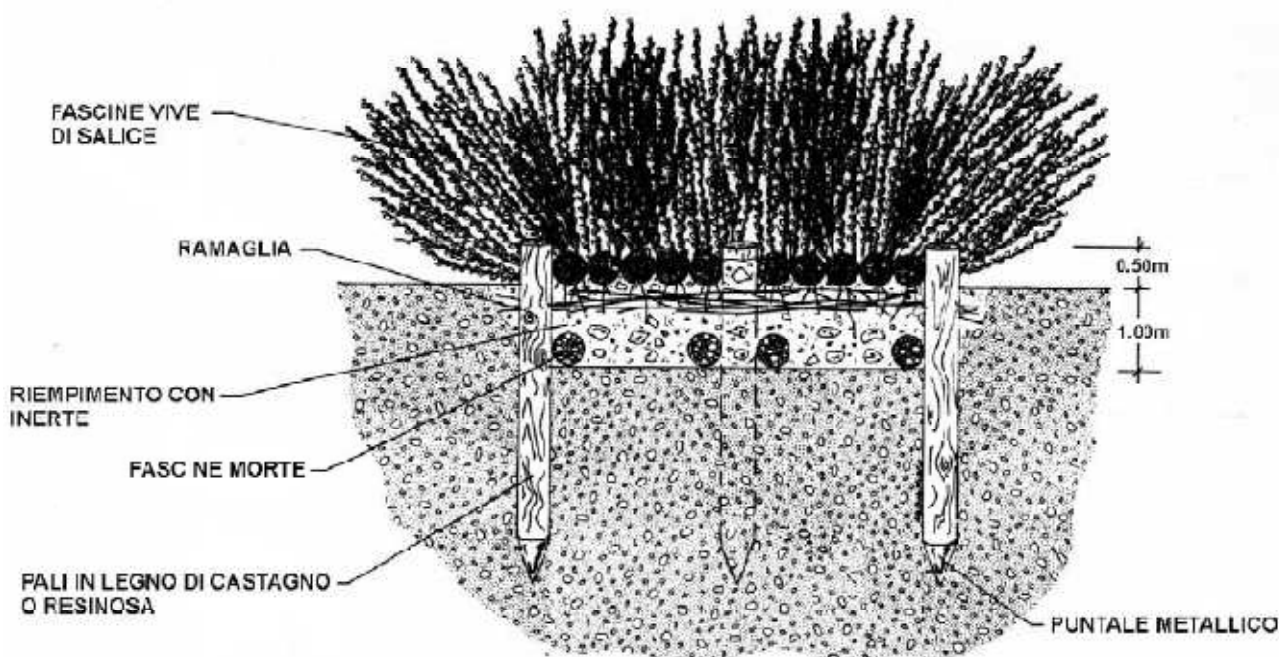


Fig. 5.13: Sezione di un pennello

I pennelli vengono realizzati sui corsi d'acqua nei quali è necessario deviare il flusso di corrente o modificare la sezione dell'alveo.

Inoltre sono anche utilizzati per ricostruire le linee di sponda di fiumi e ruscelli a seconda delle caratteristiche idrauliche del corso d'acqua (sconsigliati nei corsi d'acqua ad energia troppo elevata).

I pennelli vivi diventano quindi parte integrante della sponda e della vegetazione della sponda stessa.

La presenza di ramaglia rallenta la velocità dell'acqua e la rimescola, con conseguente riduzione della velocità del flusso che consente la deposizione di materiale solido; costituiscono inoltre punti di rifugio per la fauna.

A causa delle turbolenze e delle correnti trasversali che si vengono a generare, si possono però avere erosioni in testa e al piede dei repellenti, nonché sulla sponda opposta se non correttamente dimensionati e posizionati.

In caso di corretto dimensionamento, hanno un effetto rinaturalizzante relativamente breve sul corso d'acqua (i primi effetti iniziano a notarsi anche dopo pochi mesi).

Nel caso di Succiso l'effetto rinaturalizzante è stato abbastanza efficace, infatti la ripresa del Luglio del 1973 ha evidenziato che i tre pennelli realizzati in destra idraulica del Torrente Liocca (sotto l'abitato di Varvilla) risultano già annegati nei depositi alluvionali: se ci focalizziamo in questo tratto ed osserviamo le foto aeree del 1973, 1978, 1988 e 2004 (rispettivamente Fig. 5.9, Fig. 5.10, Fig. 5.11 e Fig. 5.12) l'effetto rinaturalizzante risulta evidente.



Fig. 5.14: Ubicazione su ortofoto dei tre pennelli realizzati sul Torrente Liocca

5.7.2 BRIGLIE

In merito alle condizioni delle briglie, le foto aeree hanno evidenziato quanto segue:

- **Ripresa Luglio 1973:** la briglia posta sotto la frazione di Succiso Inferiore risulta tagliata al centro, mentre nell'alveo del Rio Salettola la briglia collocata sotto il cimitero appare integra ma aggirata su entrambe le spalle; la briglia posta sul Rio Marzolaro (a valle del ponte della strada per Succiso Inferiore) appare invece integra.
- **Ripresa del Luglio 1978:** non si notano variazioni in merito alla funzionalità delle briglie presenti nel 1973 e si presume che le due briglie ubicate sul Torrente Liocca (a monte della confluenza con il Rio Marzolaro) abbiano determinato un'accentuazione dell'erosione verticale a valle con conseguente approfondimento dell'alveo del Torrente Liocca e della quota di confluenza del Rio Marzolaro.
- **Ripresa del Luglio 1988:** la briglia posta a valle della confluenza tra il Torrente Liocca e il Rio Salettola risulta lesionata.

Al fine di stabilizzare maggiormente il regime fluviale presente nella zona di Succiso, la Regione Emilia-Romagna, con delibera della Giunta regionale n° 784 del 03/06/2009, ha finanziato la realizzazione di nove briglie lungo il tratto del Rio Marzolaro che interessa la frazione di Succiso Inferiore (il tratto di alveo fluviale interessato dai lavori ha una lunghezza totale di circa 400 m).

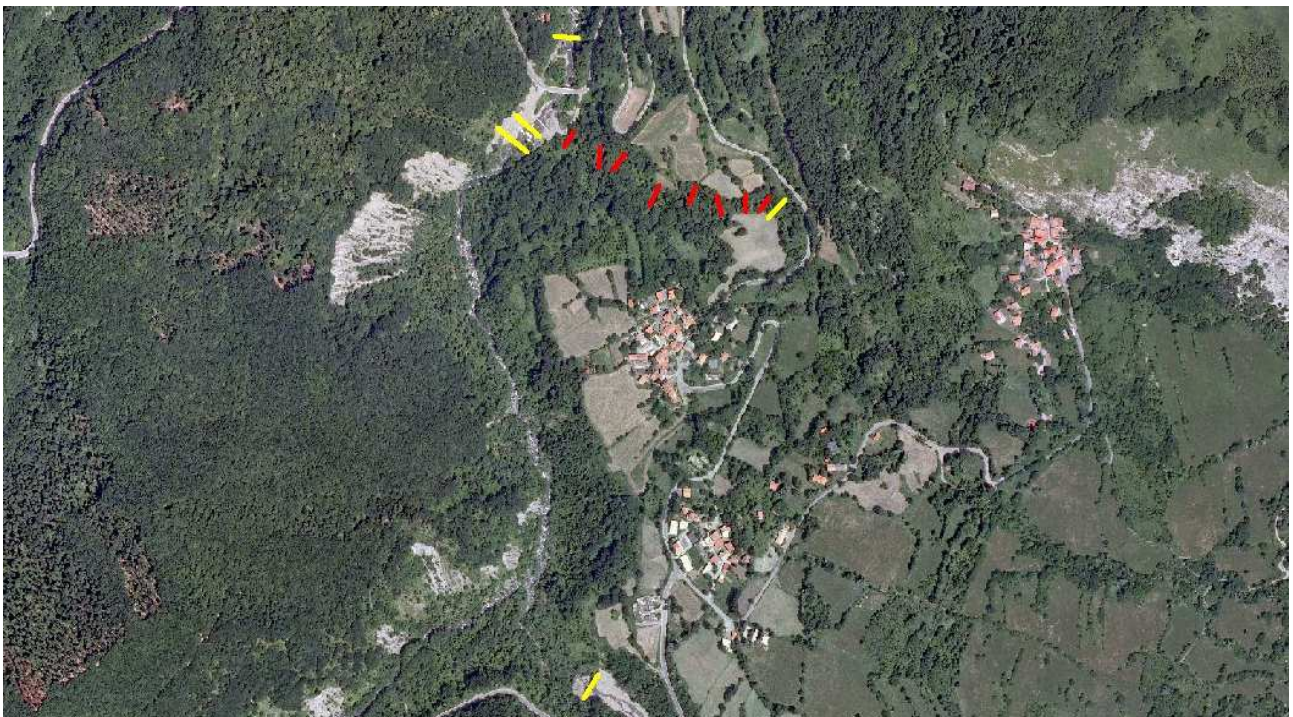


Fig. 5.15: Ubicazione su ortofoto delle briglie

Le briglie realizzate dall'ex Genio Civile a seguito degli eventi negli anni '60 sono rappresentate con linee gialle, mentre le briglie in fase di realizzazione sono rappresentate con linee rosse.

Il segmento del Rio Marzolaro in esame presenta le caratteristiche di un tratto montano con pendenza elevata compresa tra l'8 e il 29%, materiali grossolani che compongono il greto determinando un profilo a "gradinata", erosioni di fondo e laterali a tratti accentuate ed un unico canale di deflusso centrale delle acque con scarse divagazioni laterali della corrente.

Si è optato per la realizzazione di briglie in cemento armato rivestite in pietra arenaria locale con le seguenti caratteristiche dimensionali:

- **lunghezza media:** 15 m
- **altezza in gaveta:** 2,5 m
- **altezza della fondazione:** 1,2 m
- **larghezza fondazione:** 1,6 m

L'area di cantiere (predisposta con recinzioni e segnalazioni di pericolo nonché attrezzate con semplici baracche di cantiere), collocata a valle dell'abitato di Succiso Inferiore, è raggiungibile mediante piste di accesso e utilizzando carraie e strade vicinali esistenti.



Fig. 5.16: Area di cantiere a valle di Succiso Inferiore

Per la realizzazione dei lavori è previsto l'utilizzo di modeste quantità di materiali da costruzione (calcestruzzo, pietrame per rivestimenti e massi ciclopici per rampe) e il riutilizzo in sito dei terreni di risulta derivanti dalle realizzazioni degli scavi; a fine lavori le aree interessate verranno risistemate mediante ripristini morfologici e vegetazionali.



Fig. 5.17: Stato di avanzamento lavori sul tratto in esame del Rio Marzolaro (fotografia scattata il 15/12/2010)

Tutt'ora è in corso un progetto preliminare che prevede la realizzazione di sette briglie lungo il tratto di Torrente Liocca compreso tra le confluenze con il Rio Marzolaro e il Rio Salettola e ulteriori sei briglie lungo un tratto del Rio Salettola.

CAPITOLO 6

STUDI PRECEDENTI E PERIMETRAZIONE

In questo capitolo verranno riportati gli studi precedenti effettuati nella zona di Succiso: per intraprendere un approfondimento dello studio del fenomeno è infatti necessario prendere visione di quanto già esistente, al fine di comprendere a pieno la natura del dissesto nel passato e per poter poi ipotizzare quale sarà la sua evoluzione futura.

Successivamente verrà riportata una relazione generale redatta dal Servizio Tecnico dei Bacini Enza e sinistra Secchia in merito allo stato del dissesto e, in relazione ad essa, la proposta di perimetrazione della zona di Succiso compilata dal servizio stesso.

6.1 STUDI PRECEDENTI

In questo paragrafo si farà riferimento alla carta di sintesi degli elementi geologico applicativi, all'atlante SCAI e alla carta inventario dei dissesti.

6.1.1 CARTA DI SINTESI DEGLI ELEMENTI GEOLOGICO-APPLICATIVI

La carta (scala 1:5000) fornita dal Servizio Tecnico di Bacino indica come frane a forte grado di attività (classificazione sulla base di evidenza superficiali) quattro aree racchiuse nell'antica paleofrana.

Quella più estesa, con una superficie di 0,7 km², interessa in parte l'abitato di Succiso di Mezzo, il cimitero e la strada che collega Succiso a Varvilla (all'interno della stessa ricada anche l'ubicazione del sondaggio SUCC48).

La causa dei dissesti attribuita all'erosione al piede esercitata dal torrente Liocca, in quel tratto fortemente inciso.

Un'altra zona tutt'ora instabile, con un'estensione di circa 0,45 km², è collocata in destra idrografica dell'abitato di Succiso Inferiore e parallelamente ad esso.

Anche in questo caso la rimobilizzazione dei dissesti è dovuta all'azione di erosione al piede operata dal Rio Marzolaro, profondamente inciso: in situazione di rischio sono una briglia posta nell'alveo del rio stesso e la strada che collega Succiso Inferiore a Pieve San Vincenzo, la cui funzionalità è compromessa anche in un'altra area (di dimensioni minori della precedente), situata a N-E rispetto a questa.

Infine si è ritenuta attiva una piccola porzione posta in destra idrografica del Rio Salettola e poco più a Ovest rispetto al ponte che lo attraversa.

Sulla base di dati strumentali, in particolare dalle letture inclinometriche relative al sondaggio SUCC58, è ritenuta a forte grado di attività, seppur senza evidenze superficiali, un'area dell'antica paleofrana di circa 0,47 km² che si sviluppa a N-NW rispetto all'abitato di Succiso Inferiore.

Nella porzione degradante verso l'alveo del Torrente Liocca sono cartografate due sorgenti; sono inoltre segnalati più ristagni d'acqua lungo tutto il versante interessato dalla paleofrana.

In questa carta (Fig. 6.1) sono anche rappresentati i tanti elementi geologico-applicativi di rilevanza, con particolare riferimento alle opere di regimazione idraulica, tra cui spiccano le briglie, di cui alcune distrutte dalle piene ed altre esistenti e funzionanti che hanno lo scopo di diminuire o quantomeno rallentare l'approfondimento degli alvei dei corsi d'acqua, ovvero una delle maggiori cause (se non la maggiore) della riattivazione dei dissesti.

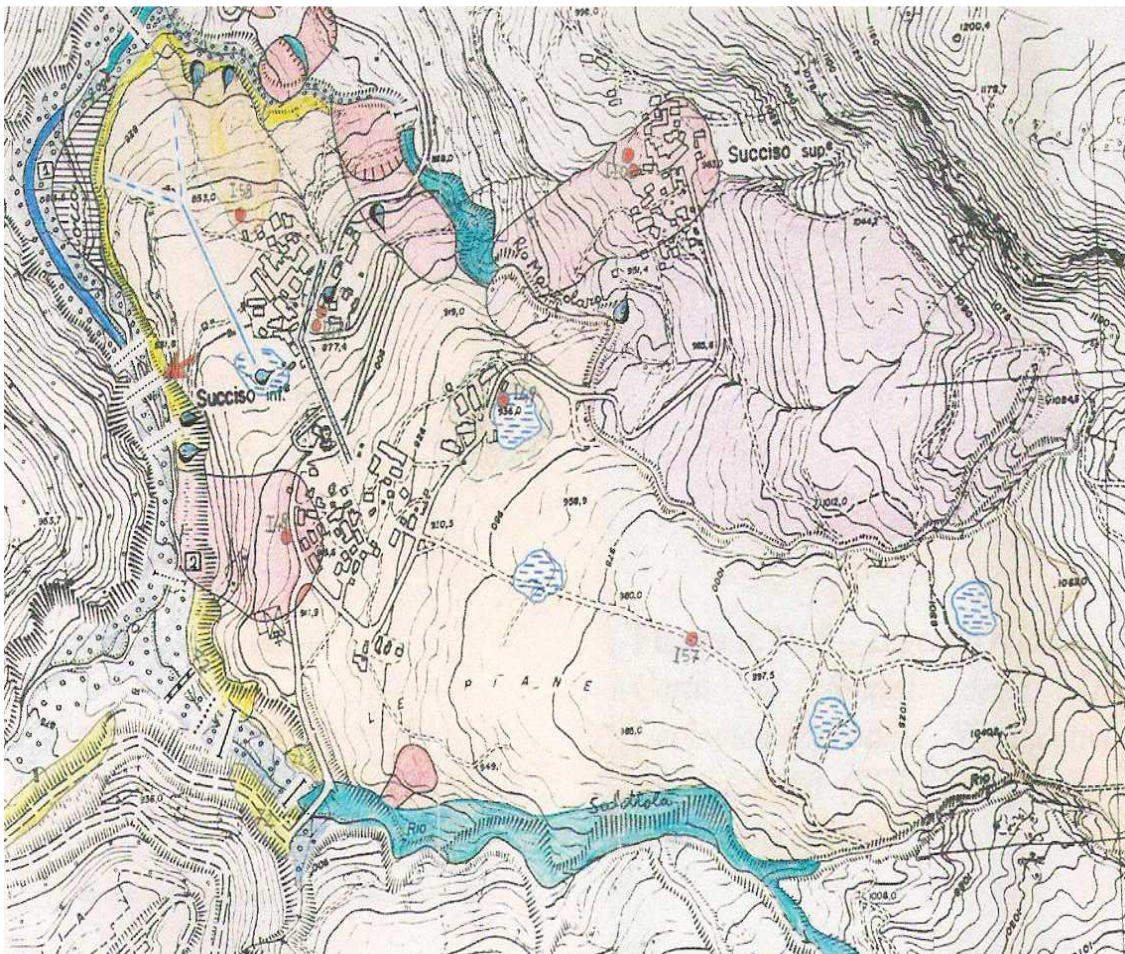


Fig. 6.1: Carta di sintesi degli elementi geologico-applicativi significativi alla scala 1:5000 (STB-RE). Nella pagina successiva si riporta la relativa legenda



substrato geologico affiorante



alluvioni



depositi lacustri



frana a forte grado di attività (classificazione sulla base di evidenze superficiali)



frana a forte grado di attività (classificazione sulla base di dati strumentali)



frana di dubbio grado di attività (ultimi movimenti accertati nel 1972 e dati strumentali equivoci)



frana quiescente (non si ricordano movimenti)



tratti del piede in erosione negli ultimi 15 anni



tratti del piede in vistosa erosione attuale



zone del piede completamente asportate dal Liocca tra il '63 ed il '72



paleoalveo del Liocca (attivo almeno sino al 1963)



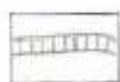
zone acquitrinose



sorgenti/risorgenze



drenaggi superficiali



canaletta artificiale

	canale tombato
	strumentazione geognostica
	pennelli esistenti
	briglie esistenti
	briglie lesionate ma efficienti
	briglia-ponte distrutta tra il 1963 ed il 1972
	briglia distrutta
	ex mulino di Aimo (distrutto tra il 1963 ed il 1967)
	ex mulino di Mochi (distrutto tra il 1963 ed il 1967)

6.1.2 ATLANTE SCAI

Il grave dissesto che ha colpito negli anni '50 – '70 la frazione di Succiso Inferiore è posto in relazione alla riattivazione dell'estesa paleo frana occupante l'intero versante.

Le litologie coinvolte sono la formazione delle Argille e Calcari di Canetolo e le relative coperture di alterazione.

La ricostruzione morfometrica della paleofrana (indicata con il numero 1 nella Fig. 6.2), classificata come uno scorrimento traslativo di detrito, indica:

Tabella 5.1: Caratteristiche morfometriche della paleo frana di Succiso Inferiore (Atlante SCAI)

Lunghezza	1700 m
Larghezza massima	600 m
Larghezza minima	300 m
Area coinvolta	7,6 km ²

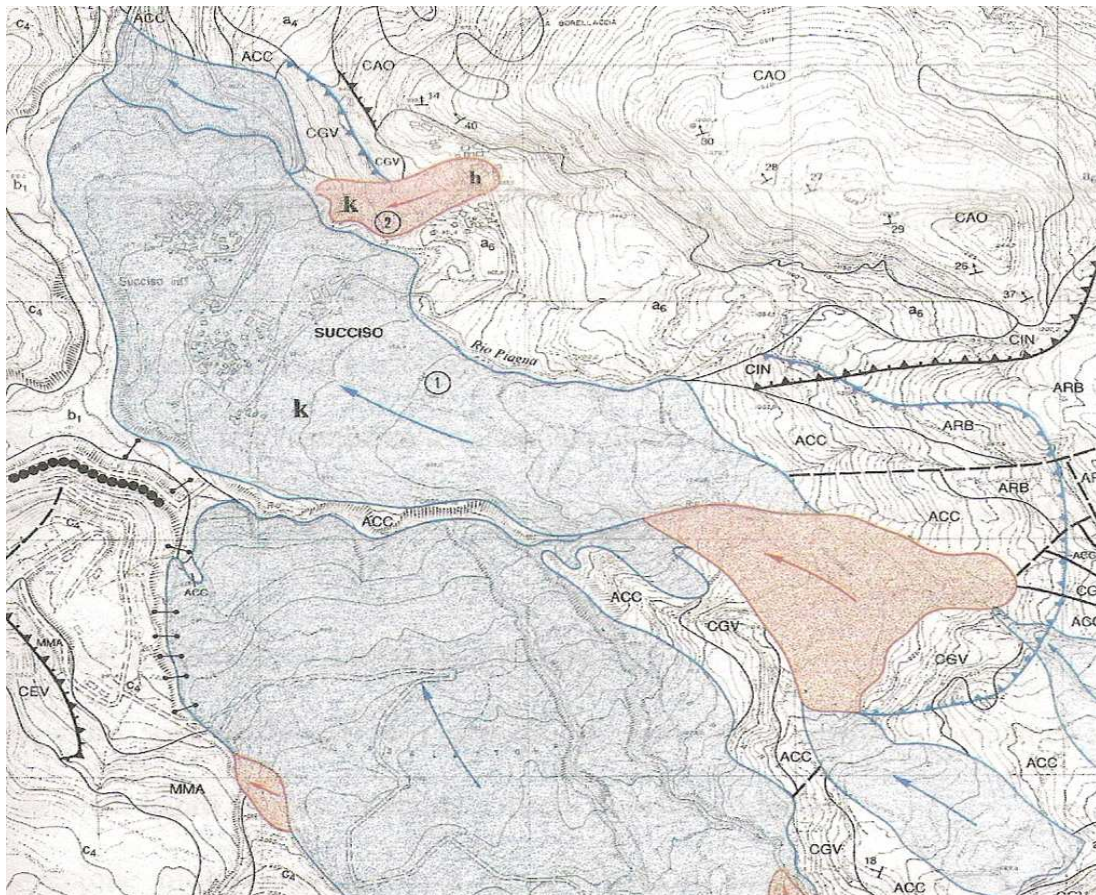


Fig. 6.2: *Rappresentazione bidimensionale della frana di Succiso con differenziazione delle zone ritenute attive (in rosso) e quiescenti (in blu)*

In relazione alle favorevoli condizioni meteorologiche del periodo che va dagli anni '80 fino alla fine degli anni '90, nonché alle opere di consolidamento realizzate negli anni '70 – '80, la paleofrana viene considerata quiescente (in realtà vedremo successivamente che questa affermazione potrebbe essere smentita in relazione agli spostamenti registrati nel periodo 2000 – 2010).

Viene considerato attivo solamente il settore superiore della paleofrana in corrispondenza di un tratto fortemente inciso del Rio Salettola.

La causa principale dell'instabilità è stata infatti attribuita all'abbassamento progressivo del profilo di fondo dell'alveo del Torrente Liocca e dei suoi affluenti, il Rio Salettola e il Rio Marzolaro.

L'abitato di Succiso Superiore è invece situato al di fuori del corpo della paleo frana ed insiste su un manto d'alterazione derivante dalla degradazione del Flysch di Monte Caio sovrastante.

Nella parte centrale il corpo detritico evolve attraverso un movimento gravitativo che si estende dall'abitato fino al sovrastante rio.

La causa del movimento franoso, classificato come complesso per la combinazione di scorrimento rotazionale e traslativo, per gli autori è connesso all'abbondanza di acqua presente nella massa detritica la quale, essendo mal regimata, risulta interessata da elevate pressioni interstiziali.

Come ulteriore fattore di instabilità è indicato il Rio Marzolaro, che in corrispondenza dell'abitato si presenta molto inciso determinando quindi un forte richiamo verso valle delle coperture detritiche.

Nell'atlante SCAI è riportata la seguente ricostruzione morfometrica del corpo di frana ritenuto attivo:

Tabella 5.2: Caratteristiche morfometriche della frana di Succiso Superiore ritenuta attiva (Atlante SCAI)

Lunghezza	175 m
Larghezza massima	50 m
Larghezza minima	-
Area coinvolta	0,8 km ²

6.1.3 CARTA INVENTARIO DEI DISSESTI

In questa carta (Fig. 6.3) sono differenziati i depositi di frana ed i detriti di versante (attivi o quiescenti), i depositi legati al corso d'acqua e quelli di origine glaciale.

Da notare il fatto che l'abitato di Succiso Inferiore è considerato quasi completamente interessato da una frana attiva che ha estensione di circa 2,8 km² (ipotesi che si avvicina a quella successivamente formulata analizzando gli spostamenti del periodo 2000 – 2010).

A N-E rispetto ad esso sono segnalati altri dissesti attivi di superficie ridotta che interessano la strada tra Succiso Inferiore e Miscoso.

La riattivazione dell'estesa paleofrana è indicata, inoltre, in altri tre punti (area interessata di circa 0,15 km² in ogni caso) lungo il Rio Marzolaro ed in particolare a N-W rispetto a Succiso Superiore e poco più a est del centro abitato stesso.

La superficie ritenuta attiva ha un'estensione di circa 0,9 km² ed interessa direttamente una decina di case e la strada che collega Succiso a Varvilla.

Percorrendo verso Ovest il Rio Salettola, in sua destra idrografica, si susseguono altre due piccole aree ritenute attive: la prima poco dopo il ponte sulla strada principale, la seconda in corrispondenza della confluenza nel rio di due suoi affluenti.

Proseguendo per circa 100 m, si ha un'ulteriore riattivazione del dissesto realmente estesa (circa 2,5 km²) che però non interessa infrastrutture importanti, ma solamente una strada secondaria.

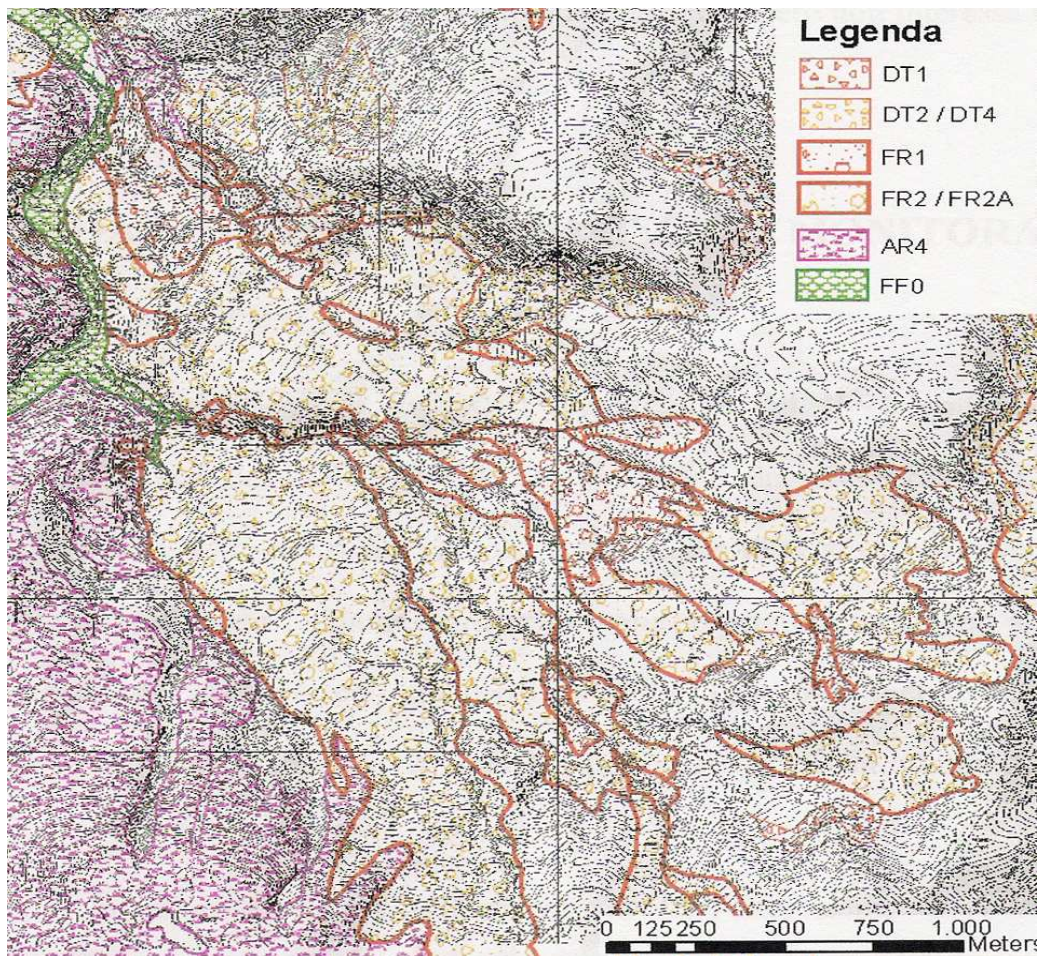


Fig. 6.3: Rappresentazione delle zone ritenute attive indicate con FR1, di quelle quiescenti (FR2/FR2A), dei depositi glaciali in viola e dei depositi connessi al corso d'acqua (Torrente Liocca) in verde (Carta Inventario dei dissesti, 1996)

6.2 RELAZIONE GENERALE SULLO STATO DEL DISSESTO

I dati forniti dalla rete di monitoraggio, letta a partire dall'agosto del 1995 hanno confermato l'assenza di movimenti generalizzati e complessivi sul versante di Succiso ed evidenziato una significativa riduzione di attività dei tre dissesti sviluppati nelle adiacenze del reticolo idraulico locale che hanno comportato il trasferimento delle tre frazioni di Succiso.

Allo scopo di approfondire e accertare in modo inequivocabile, a distanza di oltre trent'anni dagli eventi che portarono all'adozione dei provvedimenti di trasferimento, la condizione dei dissesti che avevano coinvolto le tre frazioni, il Servizio Tecnico dei bacini Enza e sinistra Secchia ha installato anche una serie di piezometri, nonché l'esecuzione di profili di sismica a rifrazione.

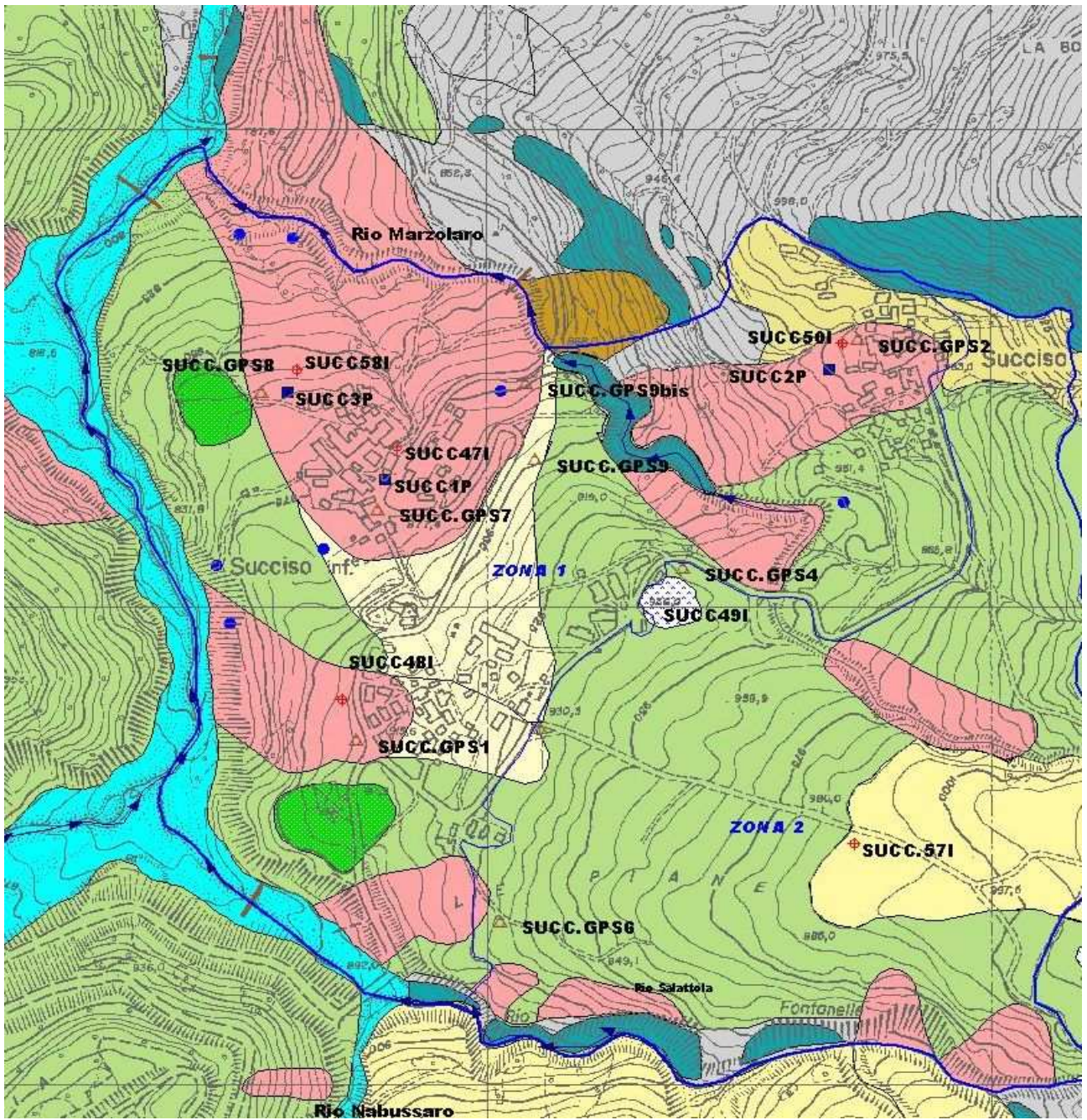
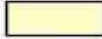





Fig. 6.4: Carta geomorfologia della zona di Succiso con ubicazione degli strumenti di monitoraggio (si riporta la legenda nella pagina successiva)

	Limite di perimetrazione		
	a 1b - Deposito di frana attiva per scivolamento		
	a 1g - Deposito di frana attiva complessa		
	a 2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento che ha interessato l'abitato di Succiso negli anni 50-70		
	a 2d - Deposito di frana quiescente per colamento		
	a 2g - Deposito di frana quiescente complessa		
	a 3 - Deposito di versante s.l.		
	a 6 - Detrito di falda		
	b 1 - Deposito alluvionale in evoluzione		
	c 3 - Deposito morenico		
	Depositi eluvio-colluviali		
	Litologie sub-affioranti		
	Litologie affioranti		
	Zone di ristagno		
	Paleosuperfici glaciali		
	Alveo in forte erosione		
			Inclinometri
			Piezometri
			GPS
			Briglie
			Sorgenti

Nella legenda è presenta la voce afferente al limite di perimetrazione: questo aspetto verrà meglio evidenziato in questo capitolo più avanti.

In particolare si analizza la situazione nel dettaglio delle tre frazioni, nonché la situazione generale presente sul versante di Succiso.

6.2.1 DISSESTO SUCCISO SUPERIORE

Il movimento che coinvolge la frazione di Succiso Superiore pare estendersi fino alla sponda destra del Rio Marzolaro, per una lunghezza complessiva di circa 300 m.

L'inclinometro presente in loco (SUCC50), collocato nell'omonimo foro di sondaggio lungo 25 m, ha individuato un piano di scivolamento netto posto alla profondità di 22-23 m dal piano di campagna, in perfetta armonia con la profondità del substrato desumibile dalla stratigrafia del sondaggio.

In base alla velocità di spostamento misurata in questi anni dallo strumento, la frana può essere classificata come "estremamente lenta" (prima classe nella scala di velocità Cruden e Varnes, 1996) in quanto gli spostamenti registrati si attestano essere inferiori ai 16 mm/anno.

La morfologia del dissesto sembra indicare una dinamica evolutiva condizionata dalla particolare acclività del versante, determinata sicuramente dall'azione di approfondimento svolta dal Rio Marzolaro durante il ciclo erosivo iniziato negli anni '50.

I dati forniti dal piezometro collocato sullo stesso corpo di frana hanno indicato valori della tavola d'acqua pressoché costanti in differenti condizioni meteorologiche, collocabili tra le profondità di 13,6-14,5 m dal piano di campagna: i dati sembrerebbero indicare l'esistenza di un ampio bacino idrogeologico di alimentazione della falda presente nel sottosuolo.

6.2.2 DISSESTO SUCCISO DI MEZZO

Il dissesto che lambisce il cimitero e la frazione di Succiso di Mezzo si estende fino alla sponda destra del Torrente Liocca, per una lunghezza complessiva di circa 200 m.

L'inclinometro presente in loco (SUCC48), collocato nell'omonimo foro di sondaggio lungo 25 m, ha individuato un piano di scivolamento netto, relativamente poco profondo, posto alla profondità di 12-13 m dal piano di campagna: questo dato è coerente con la stratigrafia del sondaggio e con la profondità del substrato di natura prettamente argillitica, riferibile alla formazione delle Argille e Calcari di Canetolo nonché alle indicazioni fornite dai profili sismici.

In base alla velocità di spostamento misurata in questi anni dallo strumento (circa 45 mm/anno), la frana può essere classificata come "molto lenta" (seconda classe nella scala di velocità di Cruden e Varnes, 1996).

L'area in dissesto si colloca in corrispondenza dell'estesa scarpata costituente il piede del versante di Succiso; tale scarpata si presenta in condizioni di elevata acclività in conseguenza, come evidenziato in precedenza, del modellamento e delle modifiche della geometria del versante prodotte dall'erosione laterale e verticale esercitata dal Torrente Liocca durante il ciclo erosivo iniziato negli anni '50.

Lungo tale scarpata si osservano inoltre venute d'acqua, le quali testimoniano la presenza sul versante di una falda freatica alimentata da monte.

6.2.3 DISSESTO SUCCISO INFERIORE

Il dissesto che interessa la frazione di Succiso Inferiore risulta sotteso dal tratto vallivo del Rio Marzolaro fino alla sua confluenza nel Torrente Liocca e si estende per una lunghezza complessiva di circa 300 m.

Per il monitoraggio del movimento gravitativo sono stati collocati due tubi inclino metrici, ovvero SUCC47 e SUCC58, rispettivamente a monte e a valle della frazione.

Il SUCC47, collocato nell'omonimo foro di sondaggio lungo 40 m, ha individuato un piano di scivolamento netto piuttosto profondo, infatti si presume sia posto ad una profondità di 33-34 m dal piano di campagna.

Il sondaggio SUCC58, collocato nell'omonimo foro di sondaggio lungo 41 m, ha individuato un piano di scivolamento netto posto alla profondità di 19 m dal piano di campagna; lo stesso tubo inclinometrico ha individuato un secondo piano di scivolamento alla profondità di 28 m dal piano di campagna, dove sono state registrate velocità di spostamento orizzontale estremamente modeste. I dati dei tubi inclinometrici sono sostanzialmente coerenti con la stratigrafia dei relativi sondaggi.

In base alla velocità di spostamento registrata dagli strumenti (inferiore ai 16 mm/anno), la frana può essere classificata come "estremamente lenta" (prima classe nella scala di velocità Cruden-Varnes).

Sullo stesso corpo di frana sono stati collocati anche due piezometri che hanno fornito, pur in differenti condizioni meteorologiche, valori sempre molto elevati della tavola d'acqua presente nel sottosuolo, coincidente con il piano campagna nei periodi più piovosi e caratterizzata da modeste oscillazioni stagionali.

Questi dati, unitamente alle caratteristiche geologiche e alla stratigrafia dell'area interessata dai sondaggi, indicano da un lato la presenza nel sottosuolo di una falda freatica libera in grado di mantenere il versante in condizioni di costante ed elevata saturazione e dall'altro, l'esistenza di un ampio bacino idrogeologico di alimentazione della stessa.

Come nel caso precedente, la conferma di una cospicua circolazione idrica nel sottosuolo è data dalla presenza di alcune sorgenti pressoché perenni a valle della frazione.

Anche in questo caso il versante, specialmente a valle della frazione, si presenta in condizioni di elevata acclività in conseguenza, come già evidenziato, dell'azione di approfondimento esercitata dal Rio Marzolaro durante il ciclo erosivo iniziato negli anni '50.

6.2.4 DISSESTI DEL VERSANTE DI SUCCISO

La rete di monitoraggio inclinometrico comprende anche i tubi inclinometrici SUCC49 e SUCC57, collocati a monte di Succiso di Mezzo per controllare i movimenti dell'intero versante di Succiso: tali tubi, profondi rispettivamente 36 e 43 m, dall'agosto del 1995 fino ad oggi, non hanno fornito dati che possano essere riconducibili a frane.

Come visto nei precedenti capitoli, a completamento della rete di monitoraggio geotecnico predisposta per il controllo dell'evoluzione del versante su cui si colloca l'abitato di Succiso, è stata installata anche una rete di capisaldi per l'esecuzione di letture GPS: le misure effettuate hanno confermato l'entità degli spostamenti misurati in testa ai tubi inclinometrici nello stesso intervallo temporale.

I dati forniti dalle indagini geognostiche realizzate nell'anno 1995 e dalla rete di monitoraggio attivata nel mese di agosto dello stesso anno confermano quindi quanto evidenziato dalle foto aeree e dai rilievi di campagna circa le condizioni di modesta attività che ormai da tempo caratterizzano i dissesti che avevano a suo tempo coinvolto in maniera grave le frazioni di Succiso.

In effetti anche attraverso i rilievi di campagna non si osservano più da molti anni evidenze geomorfologiche riconducibili ad attività importanti di questi dissesti a conferma che i movimenti residuali ancora in atto sono di modesta entità.

Tutti gli studi realizzati hanno quindi permesso di accertare che i fenomeni di in stabilizzazione dell'area di Succiso hanno subito un progressivo e significativo ridimensionamento a partire dalla fine degli anni '70, in conseguenza della discreta stabilizzazione del profilo di fondo del reticolo idraulico locale determinata dai lavori di regimazione idraulica avviati dall'ex Genio Civile regionale (prevalentemente nel Torrente Liocca), nonché del miglioramento dei fattori climatici che hanno fatto seguito al periodo di elevata piovosità che ha caratterizzato l'intera area a partire dagli anni '40-'50 fino all'inizio degli anni '70.

Il monitoraggio geotecnico ha permesso anche di escludere la presenza di movimenti complessivi del versante di Succiso almeno dall'agosto del 1995 ad oggi.

L'assenza di movimenti complessivi del versante, accertata storicamente dai documenti di archivio e, in seguito agli anni '50 dalle osservazioni dirette, fornisce ulteriori conferme a sostegno dell'ipotesi che il versante di Succiso non corrisponda ad un'antica frana di colata.

In ogni caso, anche nell'ipotesi di una genesi gravitativa dell'intero versante, considerato il fatto che non sono mai stati registrati fino ad oggi movimenti complessivi su tale pendice, è possibile sicuramente affermare che l'eventuale frana antica di Succiso debba essere considerata ormai stabilizzata.

6.3 PROPOSTA DI PERIMETRAZIONE

In relazione alle mutate condizioni di assetto generale dell'area, il comune di Ramiseto, con nota n° 2612 del 5 ottobre 2006, ha avanzato alla Regione Emilia-Romagna la richiesta di perimetrazione dell'abitato di Succiso ai sensi dell'articolo 25 della legge regionale n° 7 del 14/04/2004.

Il Servizio Tecnico dei bacini Enza e sinistra Secchia, ora Servizio Tecnico degli Affluenti del Po, ha in merito realizzato uno studio che ha permesso da un lato di escludere eventi riferibili a complessiva e generalizzata in stabilizzazione del versante di Succiso e, dall'altro, di confermare l'esistenza di condizioni di contenuta attività che ormai da oltre trent'anni caratterizza i dissesti locali che coinvolgono le frazioni di Succiso Inferiore, di Mezzo e Superiore.

Lo studio ha inoltre permesso di accertare che tali dissesti si sono manifestati durante gli anni '50 e hanno subito una fase di intensa attività per almeno vent'anni a seguito di profonde modifiche del fondo valle e contestuale accentuazione della pendenza dei versanti provocate da intensi processi alluvionali ed erosivi che in quegli anni hanno interessato il reticolo idraulico della zona.

Questo consente anche di affermare che la possibilità di una significativa riattivazione dei dissesti è strettamente ed esclusivamente legata alla possibilità di una nuova fase di grave in stabilizzazione idraulica che, allo stato attuale, potrebbe essere affrontata con risorse e conoscenze assolutamente superiori rispetto a quelle disponibili all'inizio degli anni '50.

Lo studio è stato infine rivolto all'individuazione delle cause che tuttora mantengono attivi gli stessi dissesti: questo ha permesso di accertare che anche l'attuale dinamica è da mettere in relazione con l'eccessiva pendenza dei versanti e con le condizioni di elevata saturazione che li caratterizza. Considerato lo stato di questi dissesti, le cause della loro attività e le loro caratteristiche geomorfologiche, si ritiene pertanto che, allo stato attuale, sussistano le condizioni per ottenere il loro consolidamento.

La scelta delle opere di consolidamento deve perciò conseguire dal tipo di azioni che si ritengono più efficaci per ridurre l'influenza delle cause destabilizzanti: in relazione alla cause individuate si ritengono senz'altro utili ed efficaci gli interventi mirati al ripristino di un nuovo profilo di equilibrio dei corsi d'acqua, al fine di eliminare i tratti di alveo in erosione e conferire un piede più stabile ai versanti, nonché gli interventi volti alla riduzione definitiva ed irreversibile dei livelli attuali di saturazione dei versanti medesimi.

Per il raggiungimento di questi obiettivi risulta necessaria l'esecuzione di interventi di regimazione idraulica negli alvei dei corsi d'acqua e l'esecuzione di interventi di drenaggio sui versanti.

A tale scopo sono stati eseguiti i rilievi del profilo degli alvei del Torrente Liocca e dei Rii Salettola e Marzolaro in un adeguato intorno dell'area interessata.

Il rilievo ha permesso di constatare che alcuni tratti d'alveo dei sopracitati corsi d'acqua sono ancora caratterizzati da eccessiva pendenza e da locali fenomeni erosivi sia di fondo che di sponda, a conferma che l'intervento di regimazione idraulica realizzato a partire dagli anni '60 non può essere considerato completato, ma richiede invece l'esecuzione di nuove opere.

Sulla base di valutazioni idrauliche (caratteristiche del trasporto solido di fondo, valori della pendenza dei tratti d'alveo in equilibrio, ecc.), da approfondire nella fase esecutiva della progettazione dei lavori che interesseranno Succiso, e geologiche, sono state individuate le pendenze in grado di dare equilibrio e stabilizzazione al profilo di fondo degli alvei interessati; sono stati inoltre individuati i tratti di alveo soggetti ad erosione laterale.

Su questa base è stato possibile individuare, in linea di massima, l'insieme delle opere idrauliche necessarie a conferire l'equilibrio di progetto ai suddetti corsi d'acqua.

Per l'individuazione delle opere necessarie a realizzare il drenaggio dei versanti si è tenuto conto della geometria dei dissesti e dei primi risultati di verifiche di stabilità che hanno indicato la necessità di ricorrere ad opere di tipo specialistico in grado di assicurare il drenaggio di corpi di frana profondi: si tratta di moderne tecniche d'intervento, largamente sperimentate ed utilizzate con successo negli ultimi anni dal Servizio Tecnico di Bacino di Reggio Emilia per il consolidamento di dissesti ancora più complessi ed estesi di quelli tuttora attivi in località Succiso.

Per le ragioni sopracitate e vista la richiesta avanzata dal comune di Ramiseto, il Servizio Tecnico di Bacino di Reggio Emilia, in riferimento alle disposizioni contenute nella legge regionale n° 7/04 (articolo 25), ha provveduto a redigere la perimetrazione dell'abitato di Succiso ai sensi della Legge 267/98, come Area a rischio idrogeologico molto elevato (PS267).

Per quanto riguarda la valutazione delle condizioni di rischio a cui è sottoposto il territorio, è stata effettuata la procedura di verifica descritta nel paragrafo 5.2 dell'elaborato 2 del PAI (Atlante dei rischi idraulici ed idrogeologici - inventario dei centri abitati montani esposti a pericolo) che ha portato all'attribuzione dell'area in esame come classe di rischio corrispondente alla R3 (parte superiore del versante di Succiso) ed R4 (parte inferiore del versante di Succiso, laddove sono presenti i dissesti che hanno portato in passato all'assunzione dei provvedimenti di trasferimento).

L'area a rischio idrogeologico molto elevato di Succiso è stata quindi perimetrata secondo i criteri di zonizzazione fissati dalle "Norme per le aree a rischio idrogeologico molto elevato (R3 ed R4)" contenute nel Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) adottato con delibera del Comitato Istituzionale n° 18 del 26/04/01.

La perimetrazione, realizzata su base C.T.R. (Carta Tematica Regionale) in scala 1:5000 è corredata di carta geologica, carta geomorfologica di dettaglio (vedi Fig. 6.4), nonché di carte geomorfologiche desunte dall'analisi delle foto aeree utilizzate e delle "Norme di Attenuazione" che definiscono le limitazioni d'uso del suolo.

La perimetrazione non si limita al solo ambito del centro abitato ma tiene conto del quadro evolutivo generale dei versanti e della distribuzione areale dei dissesti.

I limiti di perimetrazione sono stati fissati seguendo, dove possibile, elementi morfologici chiaramente individuabili sul territorio, quali impluvi e viabilità rurale (laddove presente).

In particolare il limite di perimetrazione coincide ad ovest con l'alveo del Torrente Liocca, poi percorre verso est l'alveo del Rio Salettola fino alla quota di 1000 metri sul livello del mare, dove incontra una strada carraia che viene seguita per un lungo tratto in direzione nord fino a comprendere la frazione di Succiso Superiore.

Successivamente il limite piega verso ovest e va a coincidere con l'alveo del Rio Marzolaro dall'altezza del ponte della strada comunale fino a chiudersi nuovamente nell'alveo del Torrente Liocca: in quest'ultimo tratto si è ritenuto opportuno escludere dalla perimetrazione i dissesti presenti in destra idraulica del Rio Marzolaro in quanto sostanzialmente ininfluenti sulla sicurezza delle frazioni di Succiso Inferiore e Superiore.

In particolare la perimetrazione individua due zone (Zona 1 e Zona 2) per le quali è esclusa la possibilità di interventi di nuova edificabilità (Fig. 6.5 di pagina successiva).

Limitandosi alla Zona 1, in considerazione delle condizioni di rischio esistenti e connesse alla presenza dei dissesti che avevano portato a suo tempo alla scelta del trasferimento, viene mantenuto ai soli fini cautelativi e in via transitoria, in accordo con il comune di Ramiseto, il divieto di qualsiasi forma di utilizzo abitativo ed impiego delle unità immobiliari e dei ricoveri temporanei presenti nell'area.

Tale disposizione potrà in ogni caso essere progressivamente rivista e modificata a seguito dei previsti lavori di consolidamento già avviati e della futura verifica dell'efficacia dei suddetti lavori tramite controllo diretto sul territorio, nonché attraverso le informazioni derivanti dalla rete di monitoraggio geotecnico già operante, secondo le procedure di revisione espressamente previste nelle norme PAI.

Nella Zona 1, in ogni caso, sono consentiti gli interventi di manutenzione ordinaria e alcuni interventi di manutenzione straordinaria degli edifici esistenti allo scopo di consentire la tenuta in sicurezza e la conservazione degli immobili stessi, affinché possano essere immediatamente utilizzabili al momento del superamento della suddetta disposizione.

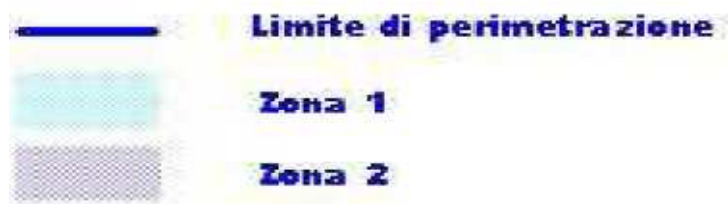
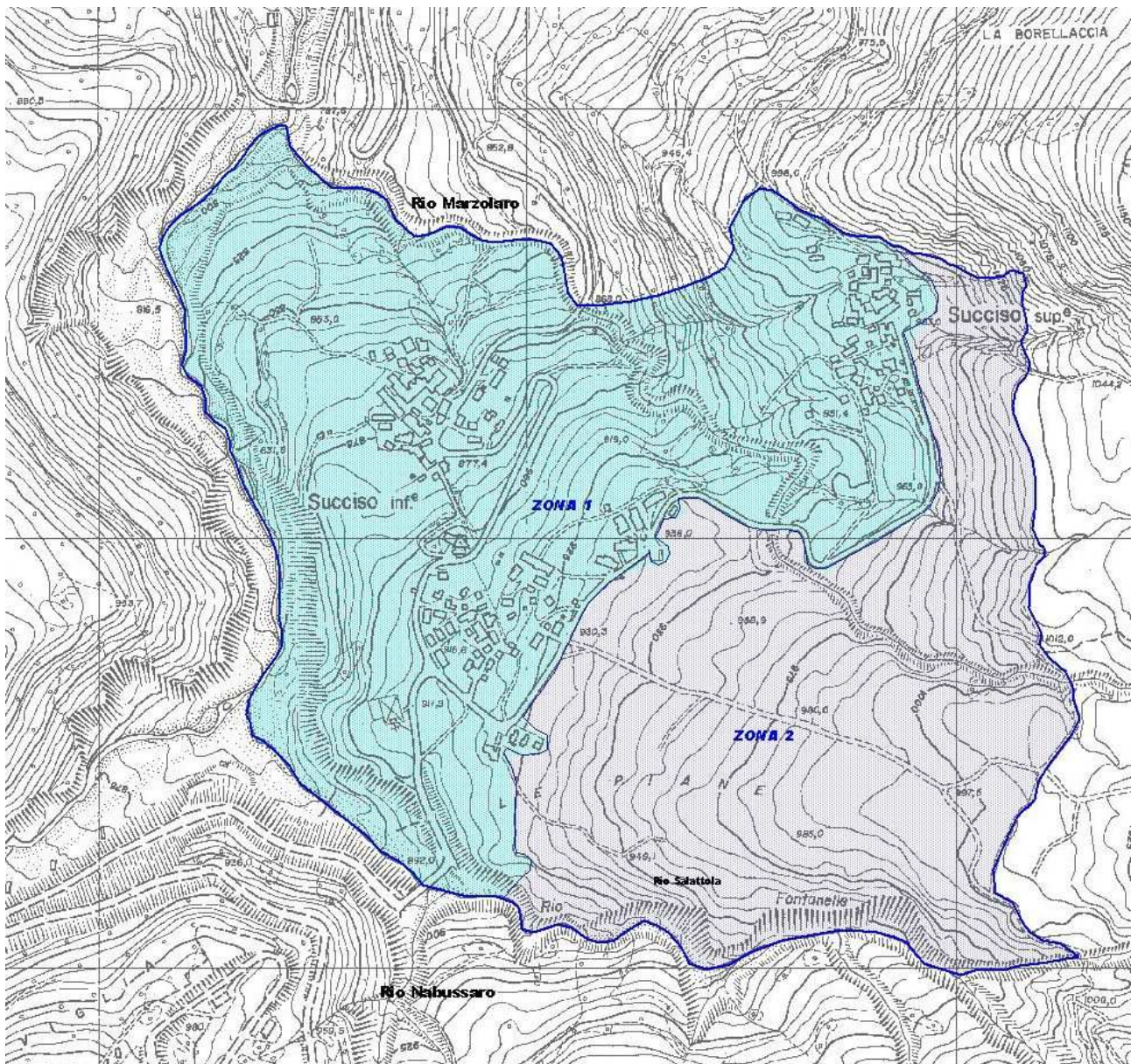


Fig. 6.5: Carta delle perimetrazione e zonizzazione di Succiso con relativa legenda

CAPITOLO 7

MONITORAGGIO TOPOGRAFICO E ANALISI DEI DATI PS

In questo capitolo verrà descritto ed analizzato il sistema di monitoraggio topografico presente sul versante di Succiso.

In particolare prenderemo in esame i dati del sistema di monitoraggio GPS e i dati PS del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A) presenti nella banca dati del Portale Cartografico Nazionale (PCN) per stabilire se ci sono riscontri tra le due tipologie di dato e i dati ottenuti da sistemi di monitoraggio geotecnico al fine di comprendere meglio la natura dei fenomeni franosi che riguardano il versante di Succiso.

7.1 DESCRIZIONE DELLA RETE DI MONITORAGGIO

Nel sito in esame è stato messo in funzione un sistema di monitoraggio topografico in acquisizione continua.

Una rete di questo tipo prevede la realizzazione di alcuni punti di controllo ritenuti stabili rispetto al fenomeno da controllare e un certo numero di punti controllati nell'area del fenomeno di interesse. Le precisioni più elevate si raggiungono se si utilizza strumentazione di massima accuratezza, se si scelgono correttamente i siti rilevanti per il fenomeno monitorato e se viene realizzata un'accurata monumentazione dei siti e una corretta procedura di elaborazione e analisi dei dati.

Il rilievo topografico è stato effettuato tramite stazione totale munita di prismi: la stazione totale è il modello TCA2003 della famiglia Leica System 2000, mentre i prismi sono del tipo circolare GPR1.



Fig. 7.1: Modello stazione totale TCA2003



Fig. 7.2: Prisma

La TCA2003 è una stazione totale ad elevata precisione utilizzata sia nel monitoraggio ambientale sia in quello strutturale; è fornita del dispositivo di collimazione automatica di precisione (ATR) attraverso il quale l'operatore punta il cannocchiale sul punto di collimazione in modo approssimativo e la stazione totale guida autonomamente lo strumento sul centro del prisma. Inoltre è dotata del dispositivo di inseguimento automatico del prisma (modalità LOCK), che consente allo strumento, dopo la prima misura, di inseguire il prisma autonomamente e di registrarne i valori misurati.

Le precisioni nominali, indicate attraverso la deviazione standard, sono riassunte nella seguente tabella:

Tabella 7.1: Precisione nominale TCA2003 (Leica Geosystem, 2007)

Distanza	1 mm + 1 ppm
Angoli azimutali	0.5" (0.15 mgon)
Angoli zenitali	0.5" (0.15 mgon)

La misura della distanza ha inoltre una portata massima, con strumento munito di prisma, di 2500 m.

Da evidenziare il fatto che questi valori sono solamente nominali e pertanto difficilmente raggiungibili; inoltre sono fortemente influenzati dalle condizioni atmosferiche.

Il sistema, oltre ad essere munito di strumentazione meccanica (TCA2003 e GPS) installata nel sito, comprende anche un sistema di controllo e gestione della strumentazione robotizzata e un sistema di comunicazione remoto per la gestione dei dati forniti dal sistema di monitoraggio continuo.

In un monitoraggio continuo diventa infatti fondamentale il problema della trasmissione dei dati: le misure compiute dalla TCA2003 vengono archiviate sul disco fisso del PC installato sul sito e vengono trasmesse tramite modem GSM ad un PC remoto posto presso l'Università di Modena e Reggio Emilia per la fase di elaborazione e analisi dei risultati.

Lo scarico dei dati può essere fatto manualmente oppure può essere impostata una funzione automatica di scarico dati all'intervallo di tempo desiderato.

Nel sito monitorato deve essere presente un sistema di archiviazione dei dati con una capienza molto elevata, dato che un sistema di monitoraggio continuo implica l'archiviazione di una grande quantità di dati.

Il controllo e la gestione della strumentazione viene eseguito da un PC collocato in un armadietto posto nelle vicinanze della stazione robotizzata e del dispositivo di comunicazione remoto per la gestione dei dati forniti dal sistema.

All'interno dell'armadietto risiede la master unit dove alloggia il PC che gestisce tutto il sistema; il pc è di tipo industriale, ed è dotato di diverse porte di comunicazione e può gestire più sensori contemporaneamente.

Per far fronte a condizioni ambientali non favorevoli ed estremamente variabili, il PC possiede una serie di caratteristiche che lo rendono adatto al monitoraggio in continuo come:

- elevata robustezza dei materiali di costruzione;
- operatività in un intervallo di temperatura elevato (da -10°C a +50°C);
- quattro porte seriali per poter comunicare con diversi strumenti topografici;
- quattro porte usb per le chiavi di attivazione dei software installati.

Il PC è allacciato alla linea elettrica convenzionale con corrente da 220V e sono presenti i sistemi di protezione per la sicurezza elettrica come:

- controllore del livello di batteria (configurato in modo che l'alimentazione si interrompe al di sotto della soglia di carica del 10%);
- dispositivo di autoripristino;
- impianto di messa a terra.

Sempre all'interno della master unit è stato previsto uno switch box, ovvero un dispositivo che permette l'accensione e lo spegnimento manuale della macchina.

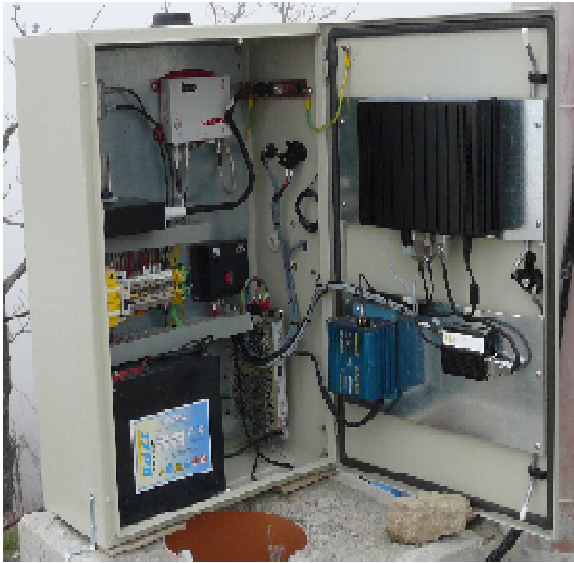


Fig. 7.3: Master unit

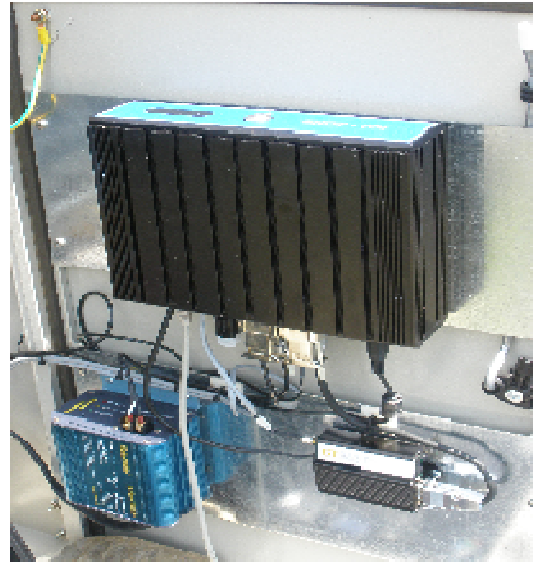


Fig. 7.4: pc industriale e modem

All'interno della master unit è installato, come dispositivo di connessione remota, il modem GSM: il modem funziona attraverso una scheda telefonica SIM a traffico dati, che può ricevere chiamate sia da cellulare che da telefono fisso.

Come sistema di comunicazione è stata scelta la rete GSM perché, pur essendo più lenta rispetto alle reti GPRS o UMTS, risulta essere più sicura.

Per potersi collegare al PC sul sito è necessario collegare un portatile, dotato di software per il controllo remoto, con un cavo di rete oppure connettere uno schermo, una tastiera e un mouse direttamente al PC.

All'interno del PC industriale della master unit è installato il software "Leica GeoMoS", il quale gestisce il funzionamento della TCA2003: attraverso questo software viene impostata la configurazione del sistema di monitoraggio e vengono programmate le misure.

I rilievi effettuati sono salvati all'interno di un database di dati grezzi, senza alcun calcolo.

Una volta scaricati i dati in remoto, vengono svolti i calcoli mediante il software System Anywhere: un computer predisposto, con cadenza settimanale, scarica il database attraverso il collegamento via modem GSM, svolgendo l'elaborazione e l'analisi dei dati.

Lo stesso PC si collega in remoto tramite il software "PC-Anywhere", che gestisce la connessione di rete Succiso: è possibile intervenire direttamente sul sistema tramite questo software, anche se la visualizzazione risulta molto lenta.

La connessione remota viene utilizzata spesso per un controllo del corretto funzionamento del sistema, ma le operazioni di manutenzione sono quasi sempre svolte sul sito, attraverso apposite procedure.

La configurazione della rete di monitoraggio è stata fatta attraverso software "Leica GeoMoS". Dal modulo configurazione si accede alla finestra "point editor", dove vengono inseriti i punti da misurare e dove è possibile visualizzare un elenco con tutti i prismi collimati.

I punti possono poi essere suddivisi su diversi profili, ognuno caratterizzato da un valore diverso della finestra di ricerca del cannocchiale, in modo da suddividerli in funzione delle entità di movimento attese.

Nella finestra "point group editor" vengono inseriti i settaggi del ciclo di misura (timer di acquisizione, misure dritte e capovolte, start time, end time) e vengono selezionati i prismi che la TCA2003 deve cercare durante ogni ciclo.

Nella finestra "sensor setup" sono elencati i sensori strumentali attivi ed appare un elenco di tutti i prismi rilevati: da questa informazione è possibile ottenere una prima indicazione sullo stato dei prismi dato che, per ogni punto, viene fornita la data e le coordinate dell'ultima acquisizione.

Nel modulo "messages" appaiono invece una serie di informazioni sul rilievo effettuato.

I messaggi più frequenti e il loro significato sono i seguenti:

- "point not found": la TCA2003 non riesce ad effettuare la misura sul prisma e il punto risulta non trovato.
È possibile dire alla stazione di riprovare un certo numero di volte se si pensa che la traiettoria del laser possa essere ostruita temporaneamente da un ostacolo.
- "point blunder check": avviso che serve per evitare che un punto sia scambiato per un altro. Si imposta una "blunder tolerance" e il sistema manda un avviso se due misure dello stesso punto differiscono per una quantità superiore a quella selezionata (spesso la soglia è impostata sui 10 metri).
- "out of tolerance": per essere sicuri che la misura sia effettivamente quella corretta viene impostata una tolleranza; se questa viene superata, il sistema avvisa con un messaggio. Se il messaggio viene fornito spesso, vuol dire che la macchina non è settata bene e deve essere mandata ad un centro di manutenzione.

7.2 PLANIMETRIA E CARATTERISTICHE DELLA RETE

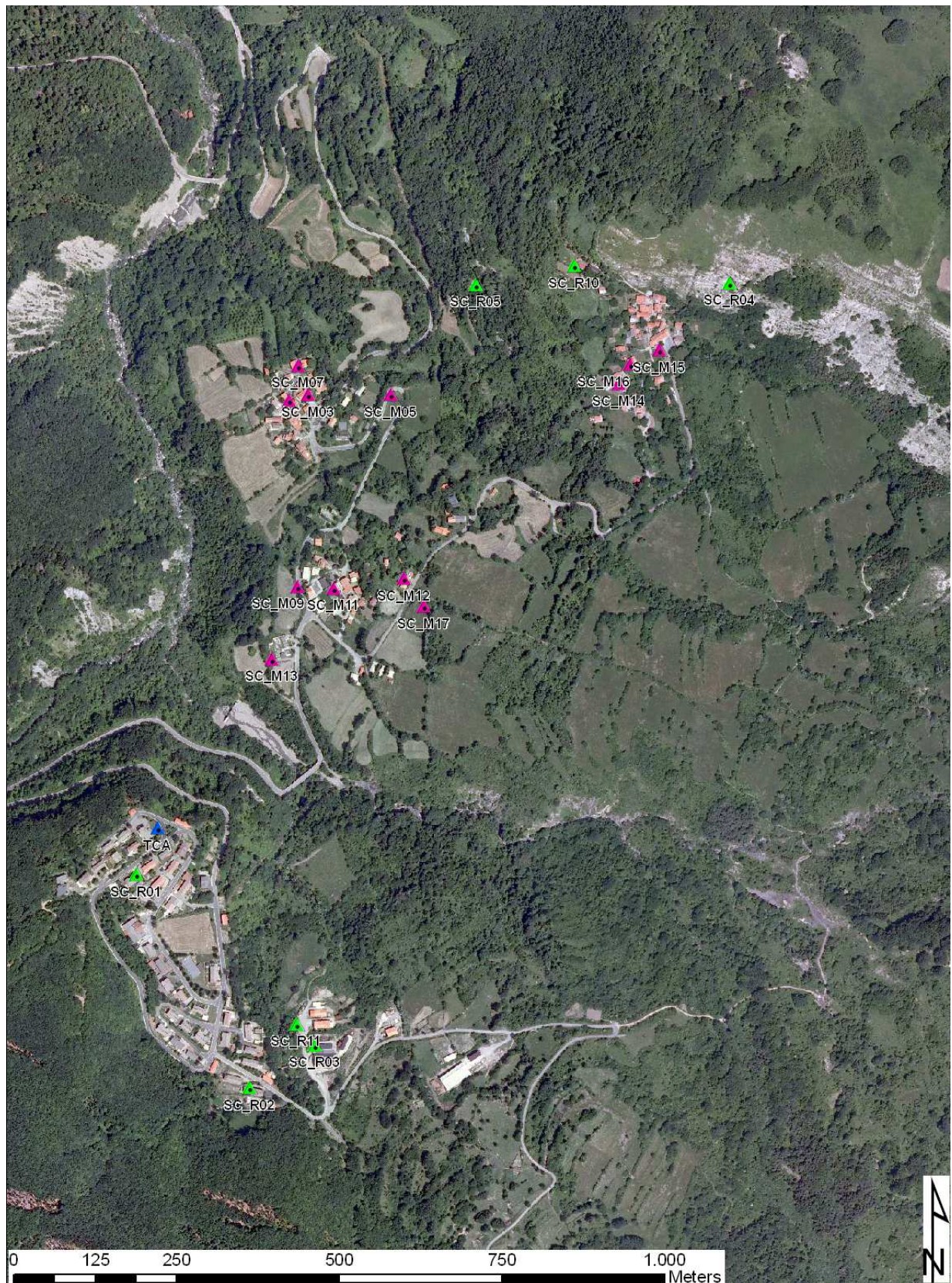


Fig. 7.5: Rete di monitoraggio su Ortofoto 2008.

I prismi con codice da SC_R01 a SC_R11 sono prismi di riferimento (posizionati in punti stabili), mentre i prismi con codice da SC_M1 a SC_M16 sono prismi di misura; la TCA rappresenta invece la posizione della stazione totale.

Ogni giorno la stazione robotica Leica TCA2003 effettua misure sui prismi di riferimento e sui prismi da controllare all'interno della frana: viene completato un ciclo ogni due ore, quindi ogni giorno si hanno a disposizione dodici misure per ogni singolo prisma ed è possibile seguire e studiare l'evoluzione quotidiana della frana.

Lo scarico dei dati avviene da ufficio tramite connessione internet schedulata ogni 12 ore nel software System Anywhere.

Per il controllo della stazione viene utilizzato un Master unit remoto tramite dyndsn e desktop remoto.

Per quanto riguarda le impostazioni di calcolo-correzione dei dati, il post-processing viene eseguito mediante il Database Management, impostando:

- Eliminazione cicli di misura con meno di 2 riferimenti disponibili nel ciclo;
- Metodo di calcolo "orientamento" e calcolo ppm sulle distanze utilizzando i riferimenti SC_R01, SC_R02, SC_R04, SC_R05, SC_R10, disponibili nello specifico ciclo di misura. Sono stati esclusi SC_R03 ed SC_R11 in quanto mostrano comportamento anomalo nel tempo (come vedremo successivamente).

La graficizzazione dati invece viene effettuata utilizzando il Software Analysis, con aggiornamento automatico dei grafici di distanza corretta in Succiso Alto, Succiso di Mezzo, Succiso Basso e dei prismi di riferimento: questo comporta che i grafici che vedremo successivamente e i relativi spostamenti, risentono in modo significativo del rapporto tra direzione di puntamento e direzione di spostamento.

In linea teorica infatti, un movimento anche consistente ortogonale alla linea di puntamento produce solo limitate variazioni delle distanze.

Per far fronte a questo inconveniente sono stati elaborati i valori di coordinate, piuttosto che quelli di distanza, ovvero è stato fatto un post-processing tramite esportazione a foglio di lavoro (excel) delle coordinate corrette con calcolo e graficizzazione di spostamento piano-altimetrico.

7.3 DATI E RISULTATI

I dati analizzati provengono da una serie di report periodici sull'andamento degli spostamenti dell'area di studio: essi sono stati più frequenti nel periodo invernale e primaverile (più piovosi e pertanto critici) e meno frequenti in quello estivo.

Nell'analisi dei dati si farà riferimento al report disponibile più recente, ovvero quello redatto in data 23/12/2010.

Dopo alcune considerazioni sulla stabilità della stazione robotica, si prenderanno in considerazione i grafici relativi agli spostamenti misurati nelle frazioni di Succiso Superiore, Succiso di Mezzo e Succiso Inferiore: a questi verranno affiancati successivamente quelli ottenuti dal post-processing delle coordinate corrette dei riferimenti.

7.3.1 CONTROLLO DELLA STABILITÀ DELLA STAZIONE DI MISURA

La stazione robotica Leica TCA2003 è localizzata nel piazzale antistante il Bar di Varvilla (Succiso Nuovo).



Fig. 7.6: Localizzazione su ortofoto 2008 della stazione robotica TCA 2003 (TCA)

Vista la natura in parte di riporto del materiale costituente il piazzale, la monumentazione del pilastrino è stata realizzata per mezzo di micropalo di lunghezza di oltre 10 m; la TCA2003 si trova alloggiata entro casetta prefabbricata di legno.

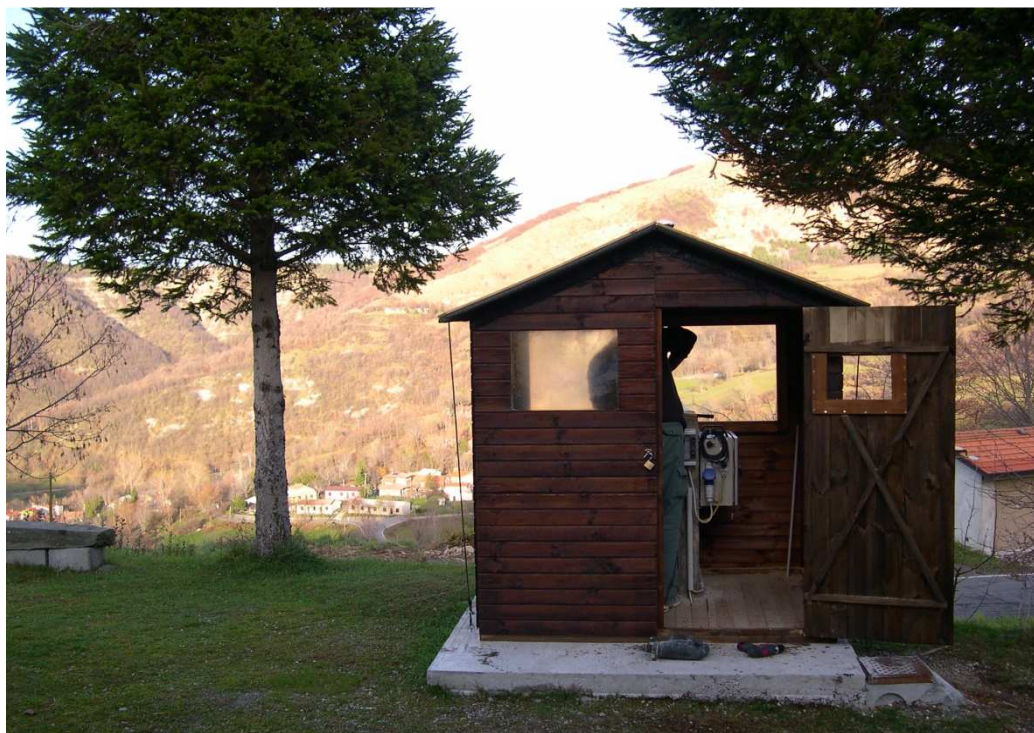


Fig. 7.7: Alloggiamento stazione robotica TCA 2003

Nonostante tali accorgimenti, il grafico di Tilt trasversale e longitudinale mostra che, a partire dal mese di maggio 2010, al cessare delle piogge, si sono risentite oscillazioni di significativa entità.

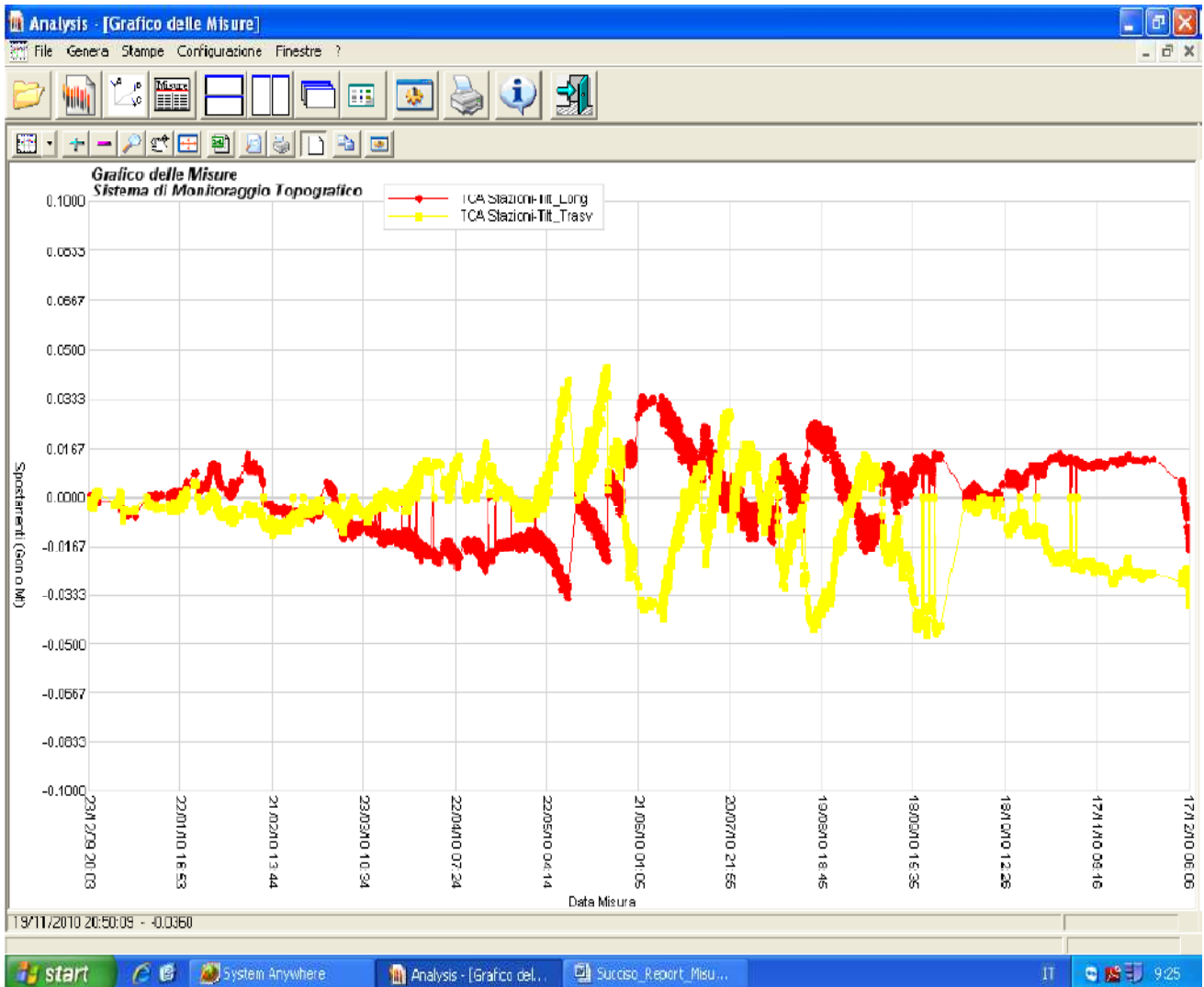


Fig. 7.8: Grafico di Tilt trasversale e longitudinale della TCA 2003

La soglia oltre la quale lo strumento cessa di operare è fissata a 0.05 mgon: tale soglia è stata superata una sola volta in data 29/05/2010.

A seguito di intervento in sito per la rimessa in bolla del sistema, eseguito nel mese di Maggio, le oscillazioni sono perdurate (senza però divenire compromettenti per il sistema) ed un ulteriore intervento manuale è stato effettuato il 15/06/2010 e nel mese di Settembre: da tale momento, è andato delineandosi un trend di oscillazioni (positive e negative), sia in direzione trasversale che longitudinale, che configura pressoché due sinusoidi a fase alternata.

Ciò rende incerta l'interpretazione delle cause e meccanismi che inducono tale trend.

Va rilevato che l'ampiezza di oscillazione si è ridotta dalla fine del mese di Settembre, quando sono ricominciate piogge significative: tutto questo lascia supporre che in qualche modo tale fenomeno sia da imputare a fenomeni di ritiro del terreno di fondazione, che si risentono sul micropalo.

Questa ipotesi è attendibile data la tendenza rigonfiante e contraente dei terreni prevalentemente argillosi presenti nell'area.

Va comunque ribadito che lo strumento TCA2003 è dotato di compensatore interno, ovvero le misure eseguite nei vari cicli di rilievo sono in teoria automaticamente compensate in funzione del valore di tilt.

Ciononostante, ogni necessaria operazione di rimessa in bolla, comporta inevitabilmente la variazione (seppur limitata in entità) della posizione di centro del sistema di monitoraggio: tale questione ha un effetto su dati e valori di spostamento che si può stimare di limitata entità, indicativamente inferiore al cm.

Va infine sottolineato che i dati misurati risentono in qualche misura anche dell'effetto della temperatura/umidità dell'aria nel corso dell'anno, che può portare a scostamenti nell'ordine di 1 cm. Essi sono stati in larga parte ridotti attraverso le operazioni di post-elaborazione del dato, fissando le coordinate dei riferimenti e calcolando le ppm sulle distanze: al momento attuale le misure riportate nei grafici a seguire possono comunque essere affette da un errore stimabile in linea di massima nell'ordine di 1 – 2 cm.

7.3.2 SUCCISO SUPERIORE



Fig 7.9: Dettaglio della posizione dei prismi in località Succiso Superiore (il vettore spostamento è puramente indicativo e non ha lunghezza proporzionale al movimento)

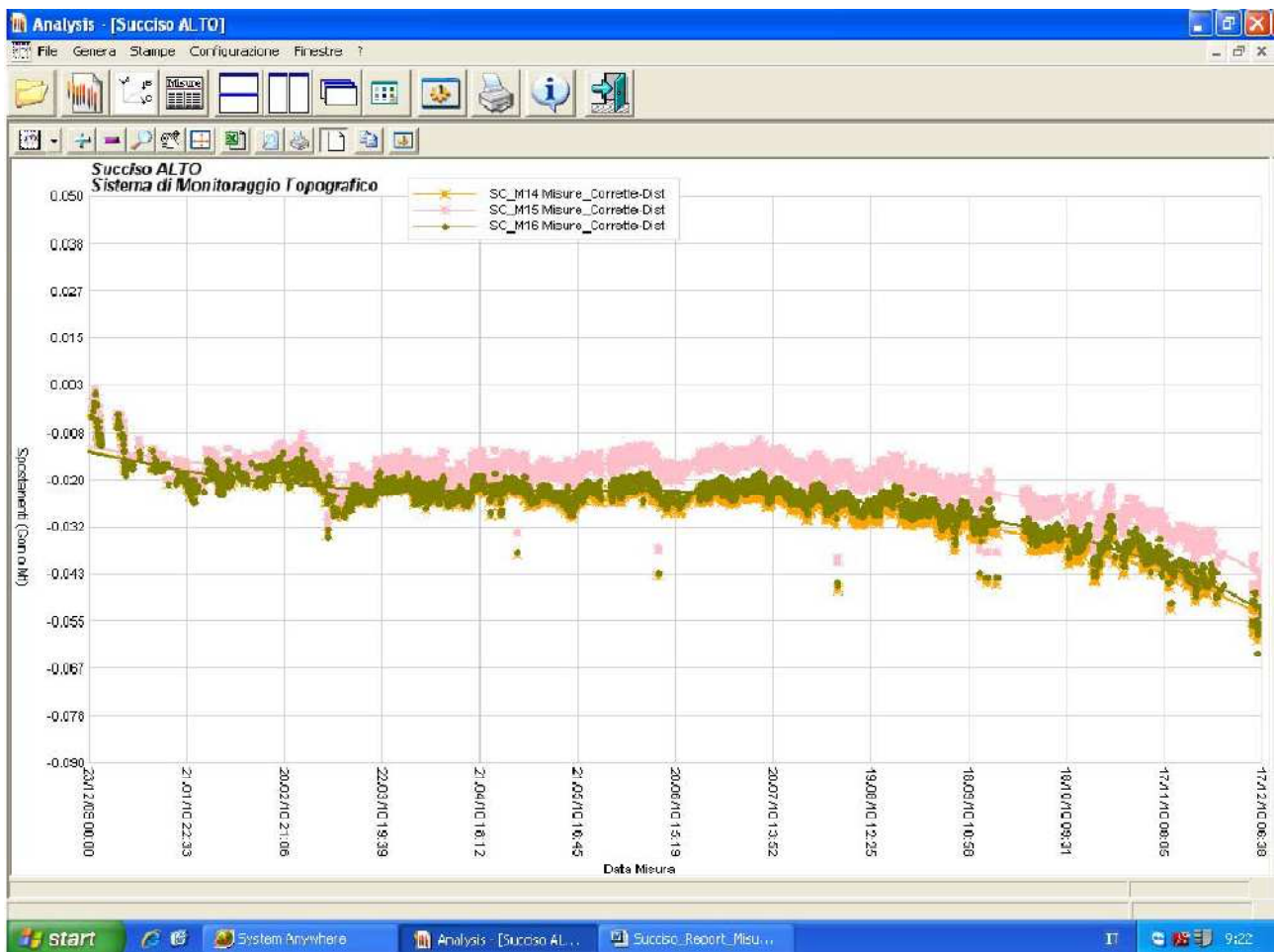


Fig. 7.10: Grafico spostamento in distanza inclinata dei prismi in località Succiso Superiore

Il valore in avvicinamento è del tutto compatibile con la locale direzione di monte-valle, che corrisponde grossomodo alla direzione di puntamento della TCA (vedi direzione vettore spostamento di fig. 7.9): considerando però un errore nell'ordine di 1-2 cm, potrebbero essere valori non effettivamente indicativi di reale movimento.

7.3.3 SUCCISO DI MEZZO



Fig 7.11: Dettaglio della posizione dei prismi in località Succiso di Mezzo (il vettore spostamento è puramente indicativo e non ha lunghezza proporzionale al movimento)

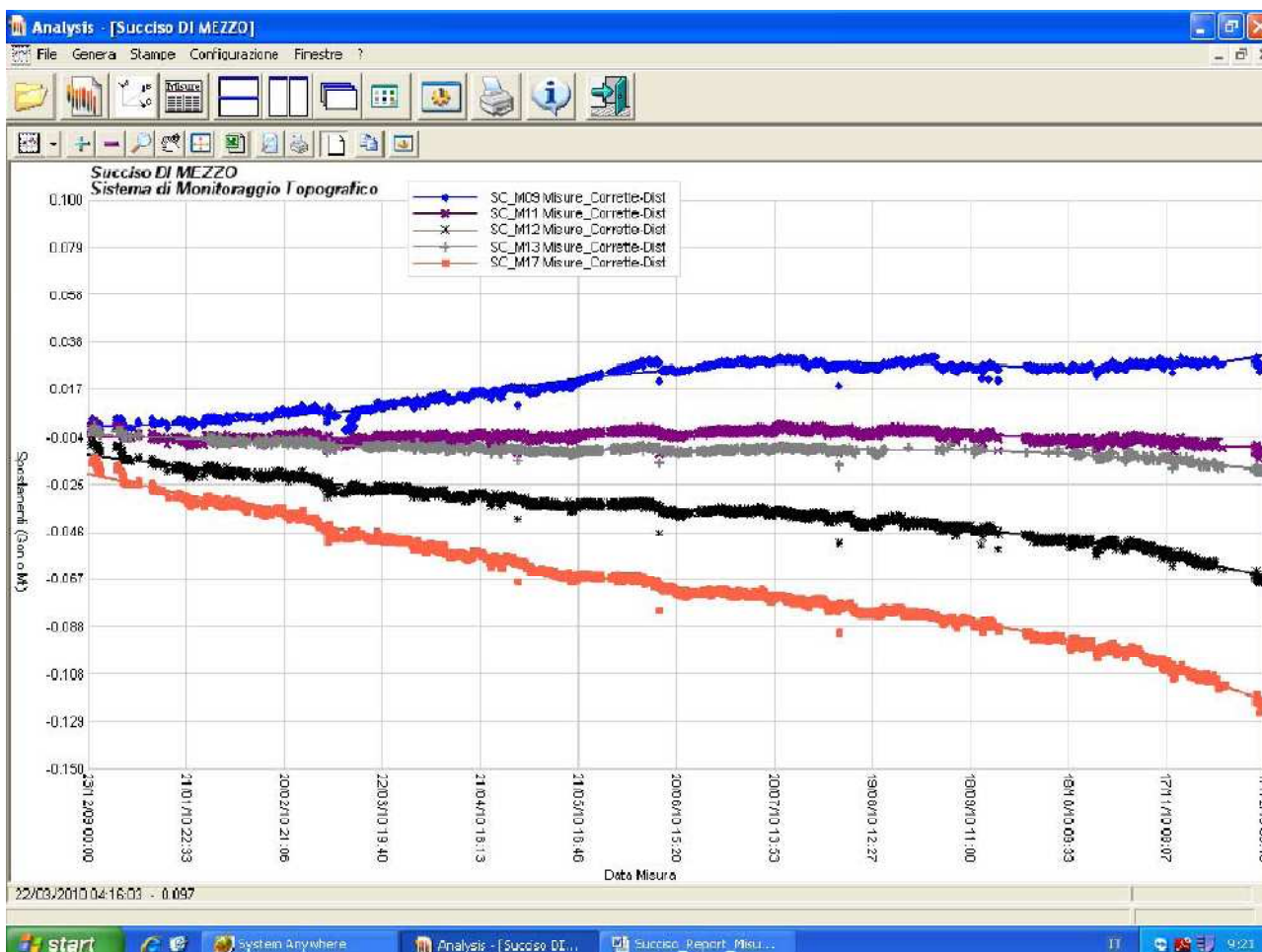


Fig. 7.12: Grafico spostamento in distanza inclinata dei prismi in località Succiso di Mezzo

Il valore in avvicinamento oppure in allontanamento va interpretato in funzione della posizione del prisma rispetto la linea di mira della TCA (vedi fig. 7.11).

L'ordine di grandezza dello spostamento raggiunge i 6 cm: considerando un errore nell'ordine di 1-2 cm, si può interpretare senz'altro come effettivo movimento quello dei prismi 09, 12 e 17, mentre l' 11 e 13 potrebbero non essere effettivamente in movimento. Da evidenziare il fatto che l'interruzione delle curve è dovuta alla rimessa in bolla della stazione totale.

7.3.4 SUCCISO INFERIORE



Fig 7.13: Dettaglio della posizione dei prismi in località Succiso Inferiore (il vettore spostamento è puramente indicativo e non ha lunghezza proporzionale al movimento)

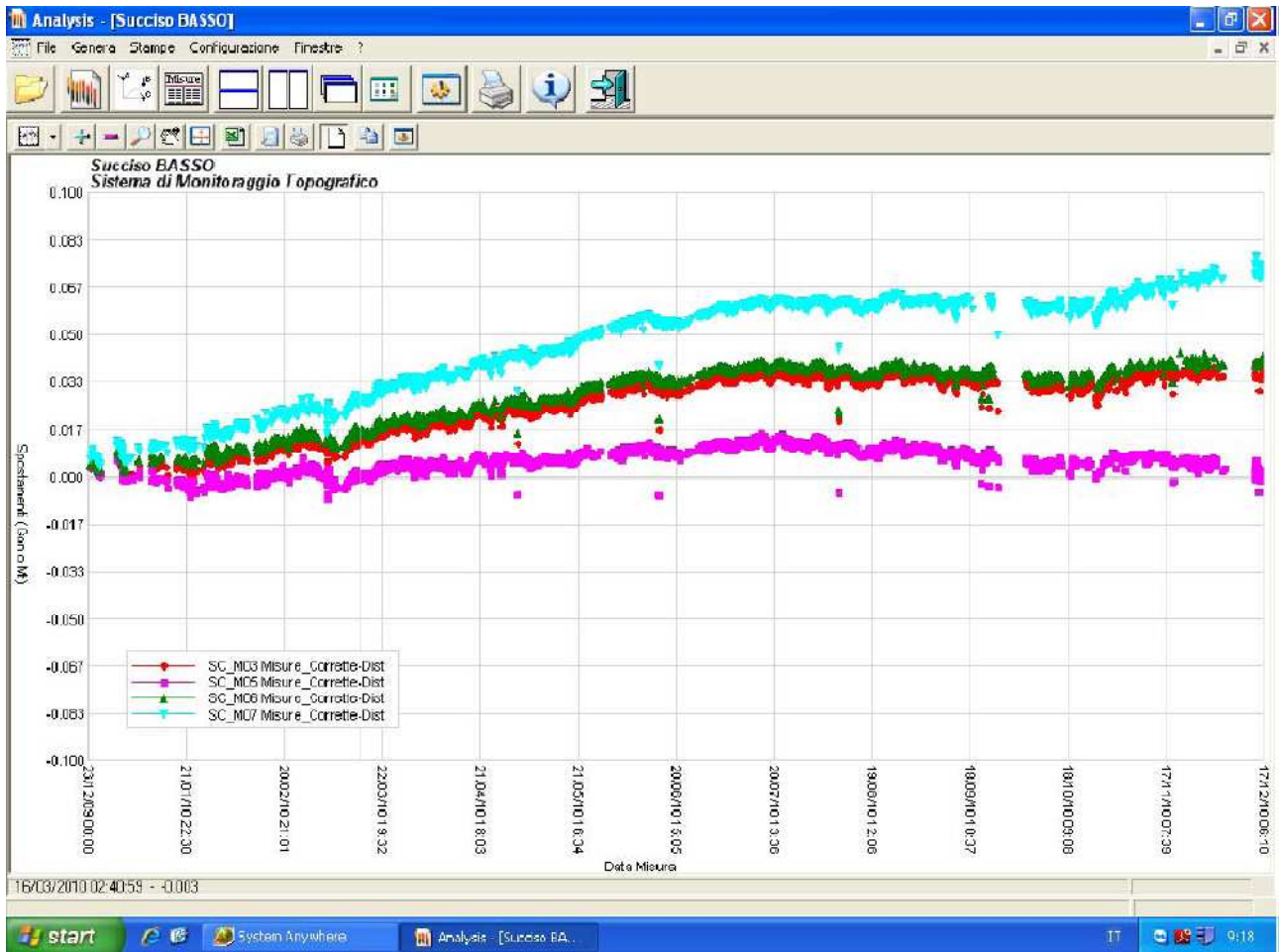


Fig. 7.14: Grafico spostamento in distanza inclinata dei prismi in località Succiso Basso

Considerando un errore nell'ordine di 1-2 cm, si può interpretare come effettivo movimento quello dei prismi 3, 6 e 7; il prisma 5 potrebbe non essere invece in reale movimento, oppure avere una componente principale di spostamento ortogonale alla linea di puntamento.

7.3.5 SPOSTAMENTO IN DISTANZA INCLINATA DEI PRISMI DI RIFERIMENTO

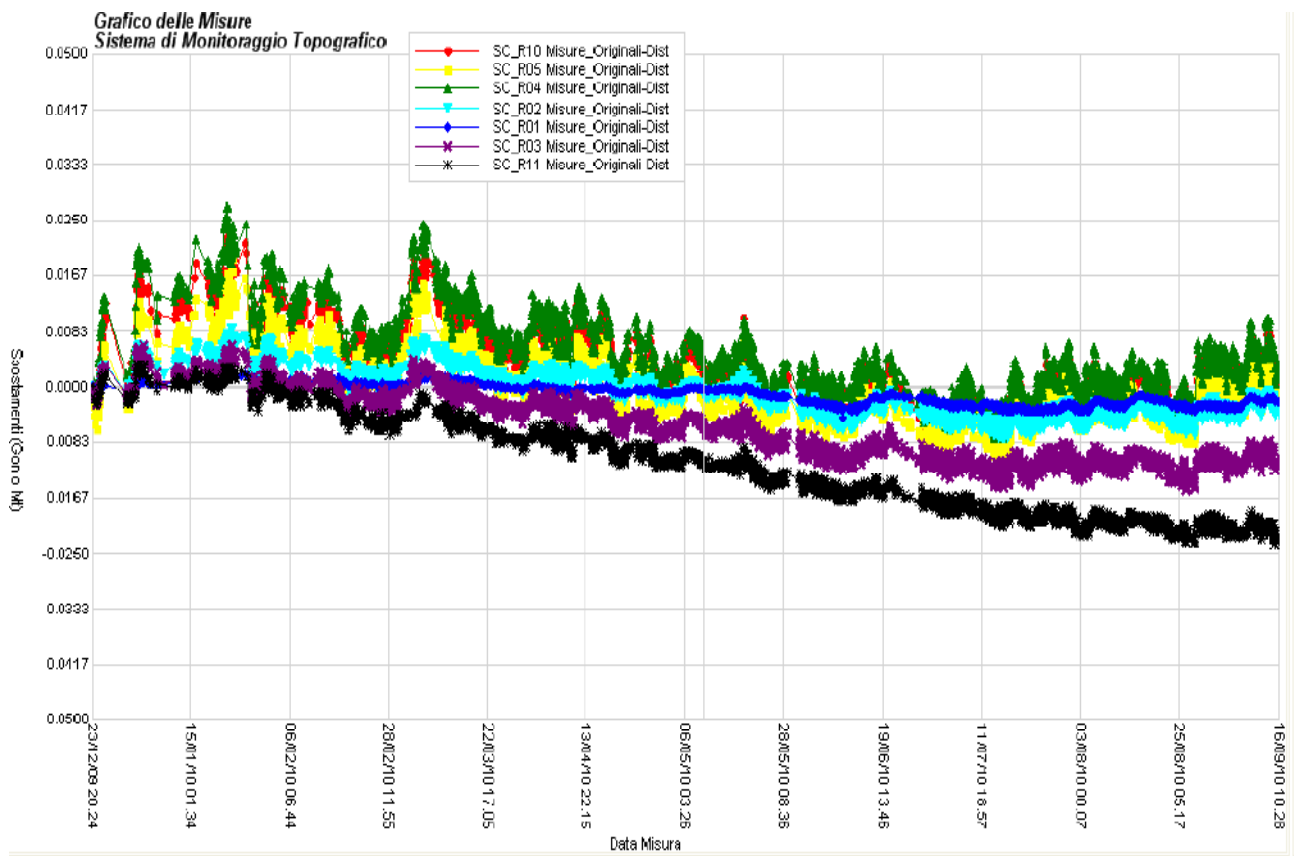


Fig. 7.15: Grafico spostamento in distanza inclinata dei prismi di riferimento

Come accennato in precedenza, i metodi di calcolo hanno utilizzato i riferimenti SC_R01, SC_R02, SC_R04, SC_R05, SC_R10.

Sono stati invece esclusi i riferimenti SC_R03 ed SC_R11 in quanto mostrano comportamento anomalo nel tempo.

7.4 POST-PROCESSING

Nei precedenti paragrafi sono stati esaminati i grafici degli spostamenti in distanza inclinata inerenti alle frazioni di Succiso Superiore, Succiso di Mezzo e Succiso Inferiore.

Come accennato in precedenza i grafici, data la metodologia di calcolo, risentono in modo significativo del rapporto tra direzione di puntamento e direzione di spostamento (anche un consistente movimento ortogonale alla linea di puntamento produce solo limitate variazioni delle distanze).

Per tale motivo si è ritenuto opportuno elaborare i valori di coordinate, piuttosto che quelli di distanza.

A monte del post-processing è presente un'attenta analisi del comportamento e della variabilità delle coordinate dei prismi di riferimento, la quale ha escluso i riferimenti che tutt'ora hanno un andamento variabile nel tempo, ovvero mostrano evidenze di spostamento.

Il tutto è stato fatto per poter correggere in modo efficace gli errori sulle coordinate stesse e valutare con sicurezza gli eventuali spostamenti plano-altimetrici presenti sul versante di Succiso.

Dopo l'analisi della variabilità delle misure sulle coordinate dei prismi di riferimento, verranno mostrati i risultati ottenuti nel post-processing prima con il metodo di calcolo ad orientamento e successivamente con quello su stazione libera.

7.4.1 VARIABILITÀ DELLE COORDINATE DEI PRISMI DI RIFERIMENTO

Esaminando i dati sulle coordinate reali dei prismi di riferimento ottenuti mediante misure GPS, si è riscontrata una certa variabilità stagionale dei dati specialmente tra inverno ed estate.

Questa forte variabilità si presume sia dovuta ai diversi regimi pluviometrici e dei cicli di temperatura che intercorrono tra le due stagioni, in quanto modificano rispettivamente la concentrazione di vapore acqueo e della densità dell'aria.

Infatti quando il segnale emesso dai satelliti della costellazione del Global Positioning System (GPS) si propaga attraverso l'atmosfera, la rifrazione troposferica produce un ritardo nell'arrivo del segnale al ricevitore GPS, il quale può essere decomposto in una parte che non contiene acqua (dry), e una parte che la contiene (wet).

La parte che contiene acqua è associata al contenuto di vapore acqueo nella colonna atmosferica in corrispondenza del ricevitore GPS: la rifrazione dovuta ad una certa concentrazione di vapore acqueo causa un errore indesiderato nella localizzazione del ricevitore GPS che è comunque compensato (per ottenere precisioni più spinte è necessario utilizzare programmi di calcolo più complessi).

A prescindere dalla variabilità stagionale dei dati, si è riscontrata una forte variabilità nelle coordinate (Est, Nord, Quota) dei prismi di riferimento SC_R11 ed SC_R3: per questo motivo sono stati esclusi anche dalle operazioni di post-processing (in accordo con le misure di distanza inclinata).

I dati sulle coordinate reali dei prismi di riferimento provengono da misure effettuate tra il mese di Novembre 2009 e Dicembre 2010.

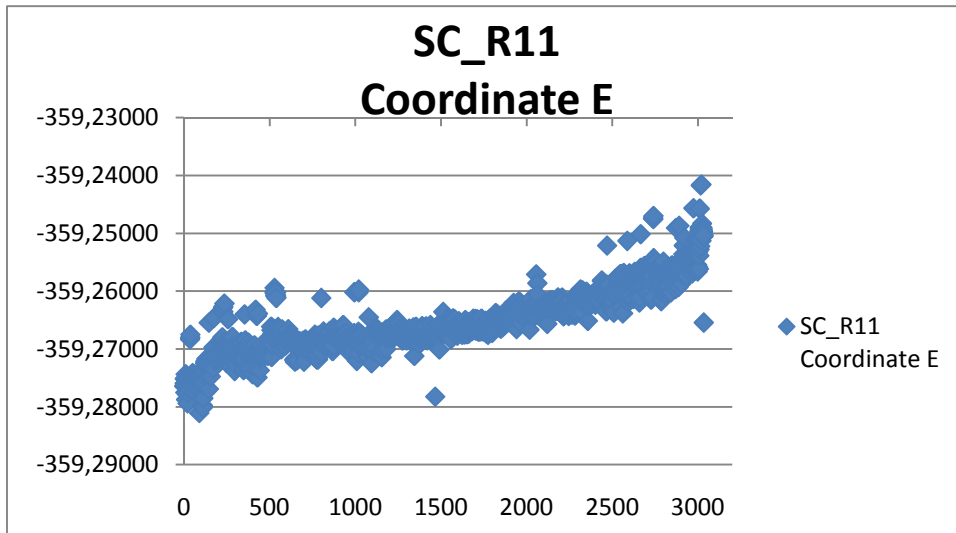


Fig. 7.16: Andamento coordinata Est del prisma SC_R11

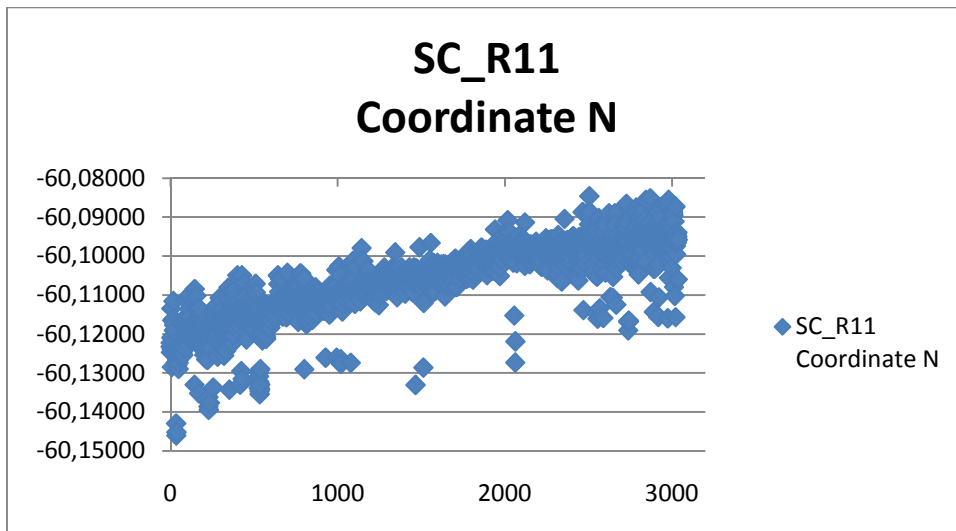


Fig. 7.17: Andamento coordinata Nord del prisma SC_R11

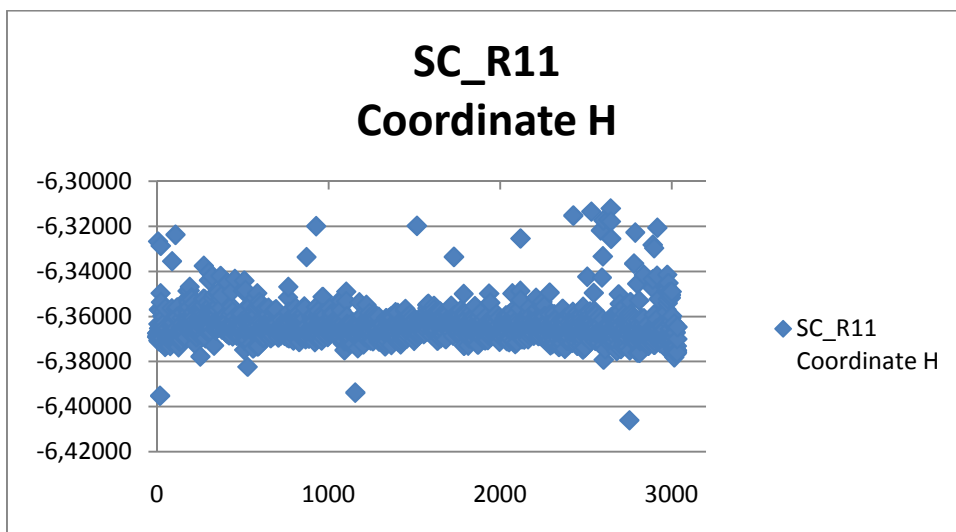


Fig. 7.18: Andamento quota del prisma SC_R11

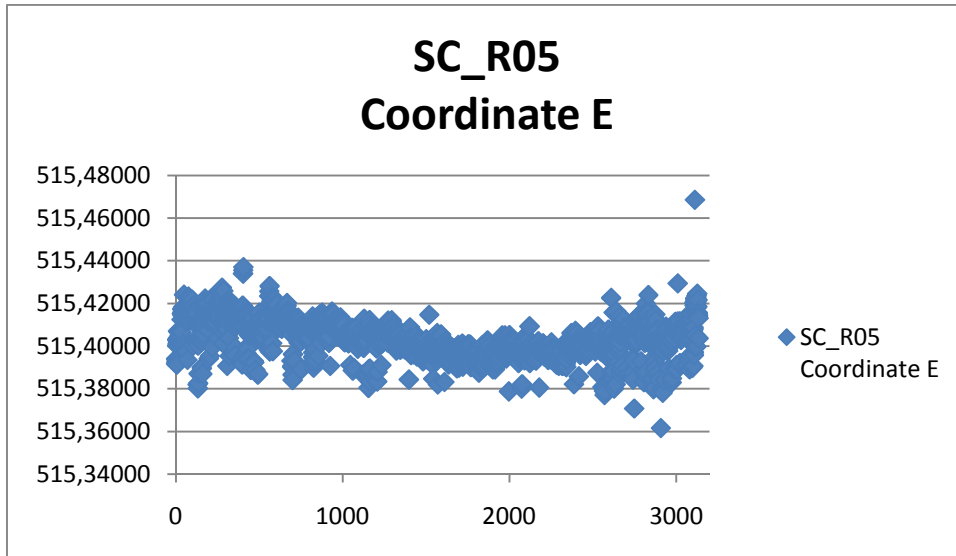


Fig. 7.19: Andamento coordinata Est del prisma SC_R05

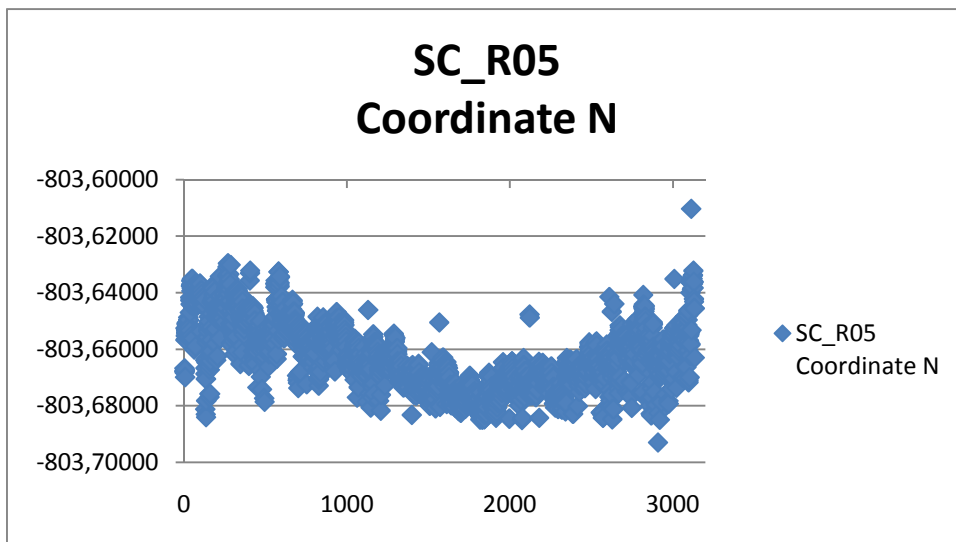


Fig. 7.20: Andamento coordinata Nord del prisma SC_R05

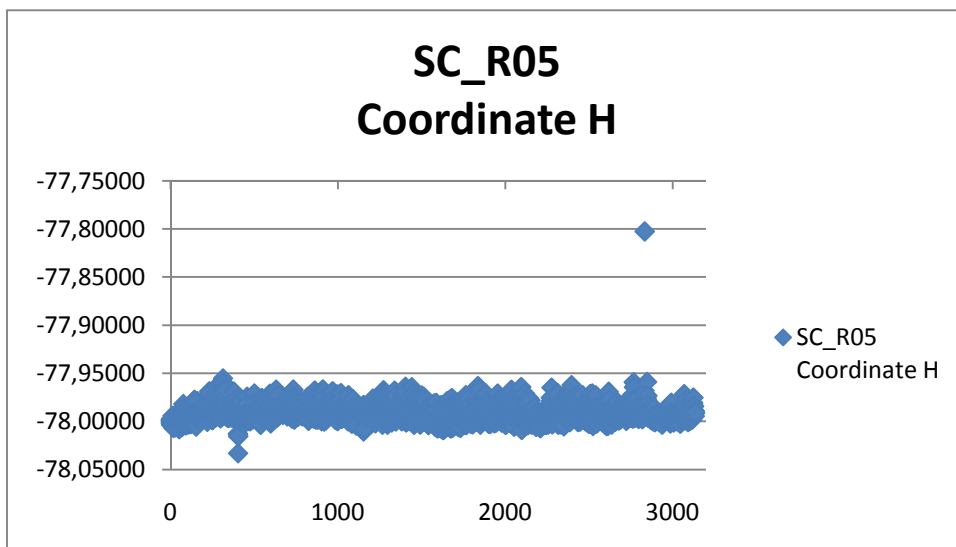


Fig. 7.21: Andamento quota del prisma SC_R05

Come è possibile notare dai grafici, i dati sulle coordinate del prisma di riferimento SC_R11 presentano una forte variabilità (soprattutto nelle coordinate Est e Nord).

L'andamento di questa variazione di coordinate, rispetto ad un prisma di riferimento considerato nelle operazioni di calcolo e post-processing (ad esempio SC_R05) è alquanto diversa.

Ad esempio si consideri l'andamento della coordinata Nord dei prismi di riferimento SC_R11 ed SC_R05 (rispettivamente fig. 7.17 e fig. 7.19): la coordinata del prisma SC_R11 ha una tendenza a variare rispetto ai valori di coordinate registrate l'anno precedente, mentre la coordinata del prisma di riferimento SC_R05 presenta un andamento ciclico legato, come citato in precedenza, ai diversi regimi pluviometrici e ai cicli di temperatura che intercorrono tra la stagione estiva e quella invernale.

Lo stesso andamento ciclico è riscontrabile anche in alcune coordinate dei prismi di riferimento considerati nelle operazioni di calcolo e graficizzazione delle misure di distanze inclinate e, successivamente, nel post-processing.

7.4.2 POST-PROCESSING CON CALCOLO AD ORIENTAMENTO

Avendo a disposizione le misure sulle coordinate reali dei prismi di riferimento è stato possibile esportarle in un foglio di calcolo elettronico (Microsoft Excel) e ricavare la media delle misure per ogni coordinata (Est, Nord e quota).

Successivamente le medie delle coordinate afferenti ad ogni prisma di riferimento sono state inserite nel software Database Management (filtra i dati apportandone alcune correzioni).

Nella voce "metodo di calcolo" è stata selezionata la metodologia ad "orientamento": la stazione totale (considerata fissa) fa il calcolo delle ppm sulle distanze in base alle media delle coordinate dei prismi di riferimento precedentemente inserite.

Dopo l'elaborazione, si è passati alla graficizzazione dei dati restituiti dal Database Management mediante l'utilizzo del software Analysis: i grafici sugli spostamenti relativi alle frazioni di Succiso Superiore, Succiso di Mezzo e Succiso Inferiore sono stati confrontati con quelli ottenuti mediante la misura diretta delle distanze inclinate dei prismi di riferimento eseguiti dalla stazione totale, al fine di cogliere le analogie e le differenze (se presenti) per poter meglio comprendere se la zona in esame è soggetta ad effettivi spostamenti.

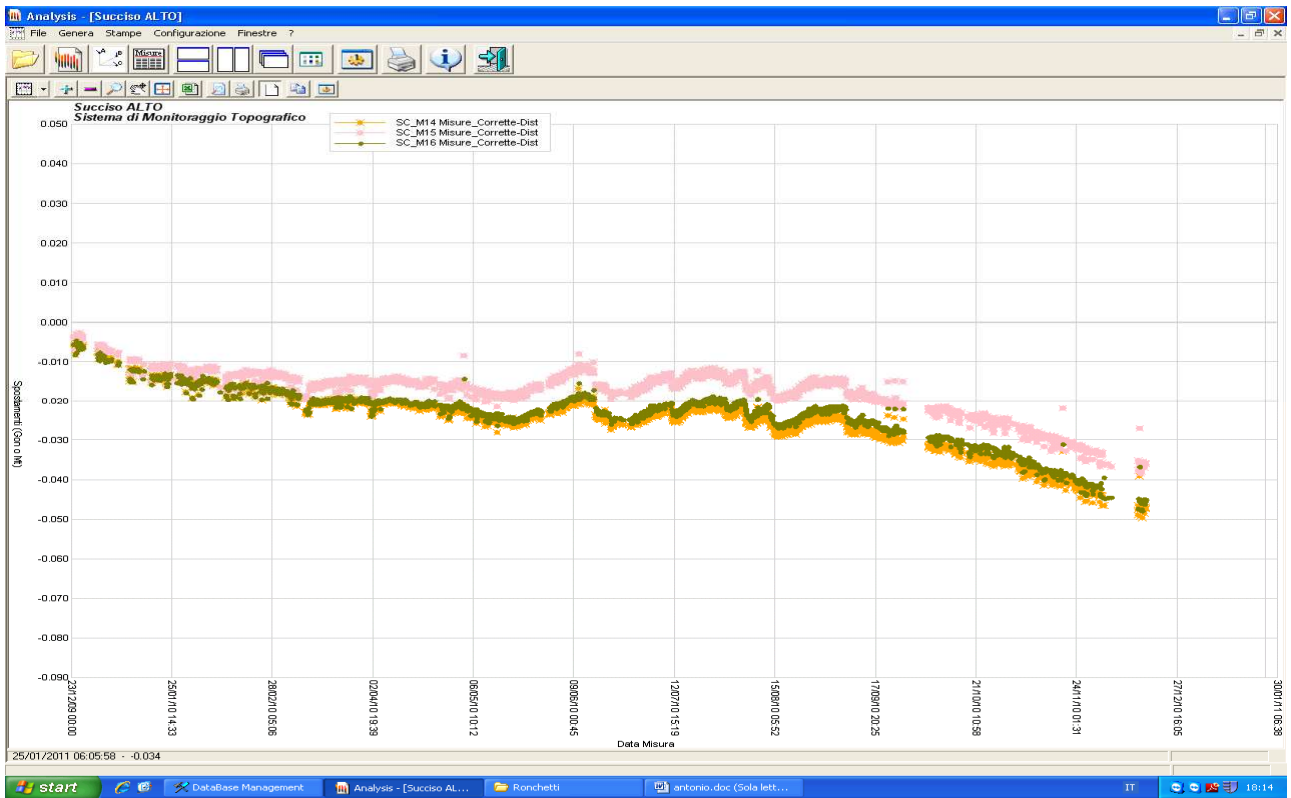


Fig. 7.22: Grafico degli spostamenti in post-processing relativi a Succiso Superiore

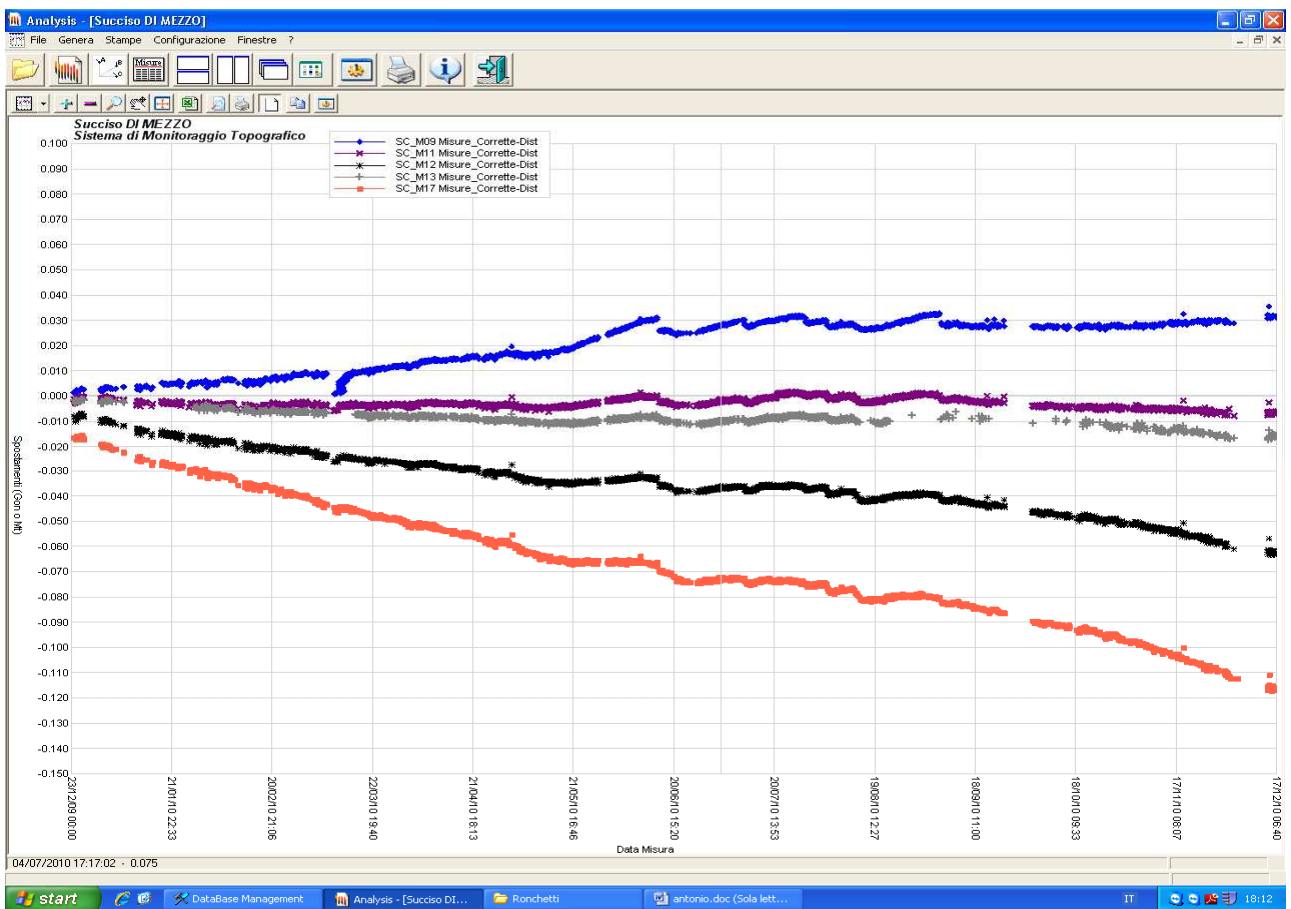


Fig. 7.23: Grafico degli spostamenti in post-processing relativi a Succiso di Mezzo

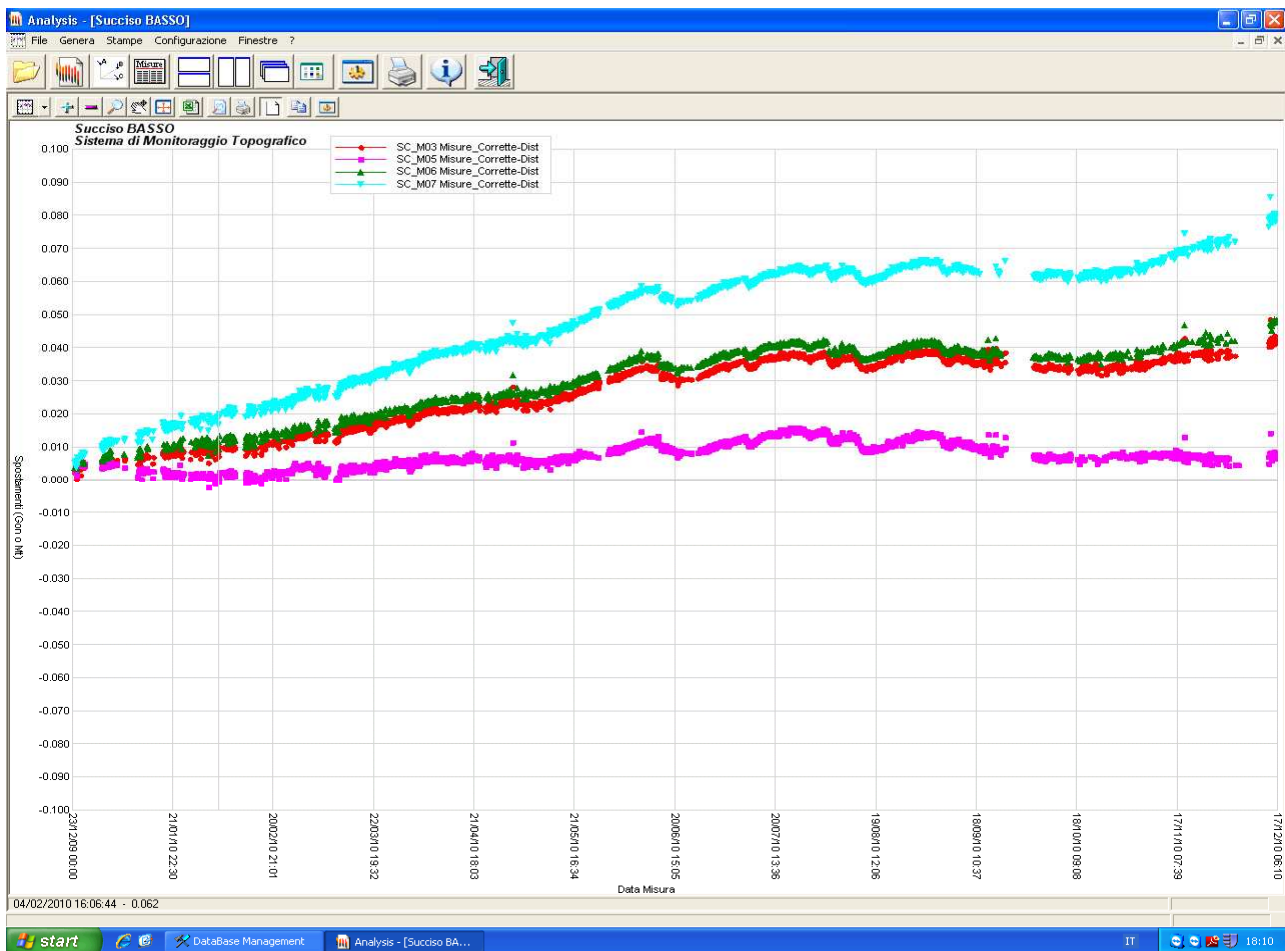


Fig. 7.24: Grafico degli spostamenti in post-processing relativi a Succiso Inferiore

Dal confronto tra i grafici degli spostamenti ottenuti in post-processing con quelli ottenuti mediante misura della distanza inclinata, si deduce che:

- Per la frazione di Succiso Superiore si ha una minore dispersione, soprattutto per i prismi SC_M14 ed SC_M15 (le curve hanno un andamento più lineare). Anche in questo caso i valori in avvicinamento degli spostamenti potrebbero essere valori non effettivamente indicativi di reale movimento o comunque di entità minore rispetto a quelli registrati nelle frazioni di Succiso di Mezzo e Succiso Inferiore.
- Per la frazione di Succiso di Mezzo si ha una dispersione minore (in realtà non così marcata come per la frazione di Succiso Superiore) e nessuno scostamento significativo per quel che concerne l'entità degli spostamenti. Anche in questo caso l'ordine di grandezza dello spostamento raggiunge i 6 cm, il che fa pensare ad un effettivo movimento dei prismi SC_M09, SC_M12 ed SC_M17; i prismi SC_M11 ed SC_M13 potrebbero invece non essere effettivamente in movimento.
- Per la frazione di Succiso Inferiore si ha una dispersione minore che riguarda tutte le curve, mentre l'entità degli spostamenti rimane invariata; si potrebbe quindi interpretare come effettivo movimento quello dei prismi SC_M03, SC_M06 ed SC_M07 (il prisma SC_M05 potrebbe non essere invece in reale movimento).

7.4.3 POST-PROCESSING CON CALCOLO SU STAZIONE LIBERA

In questo caso nella voce “metodo di calcolo” del software Database Management è stata selezionata la metodologia “stazione libera”: la stazione totale (considerata non fissa) fa il calcolo delle ppm sulle distanze in base alle media delle coordinate dei prismi di riferimento precedentemente inserite.

La procedura precedente all’inserimento della voce “metodo di calcolo” è del tutto analoga al metodo a orientamento visto nel precedente paragrafo.

Anche in questo caso, dopo l’elaborazione, si è passati alla graficizzazione dei dati restituiti dal Database Management mediante l’utilizzo del software Analysis.

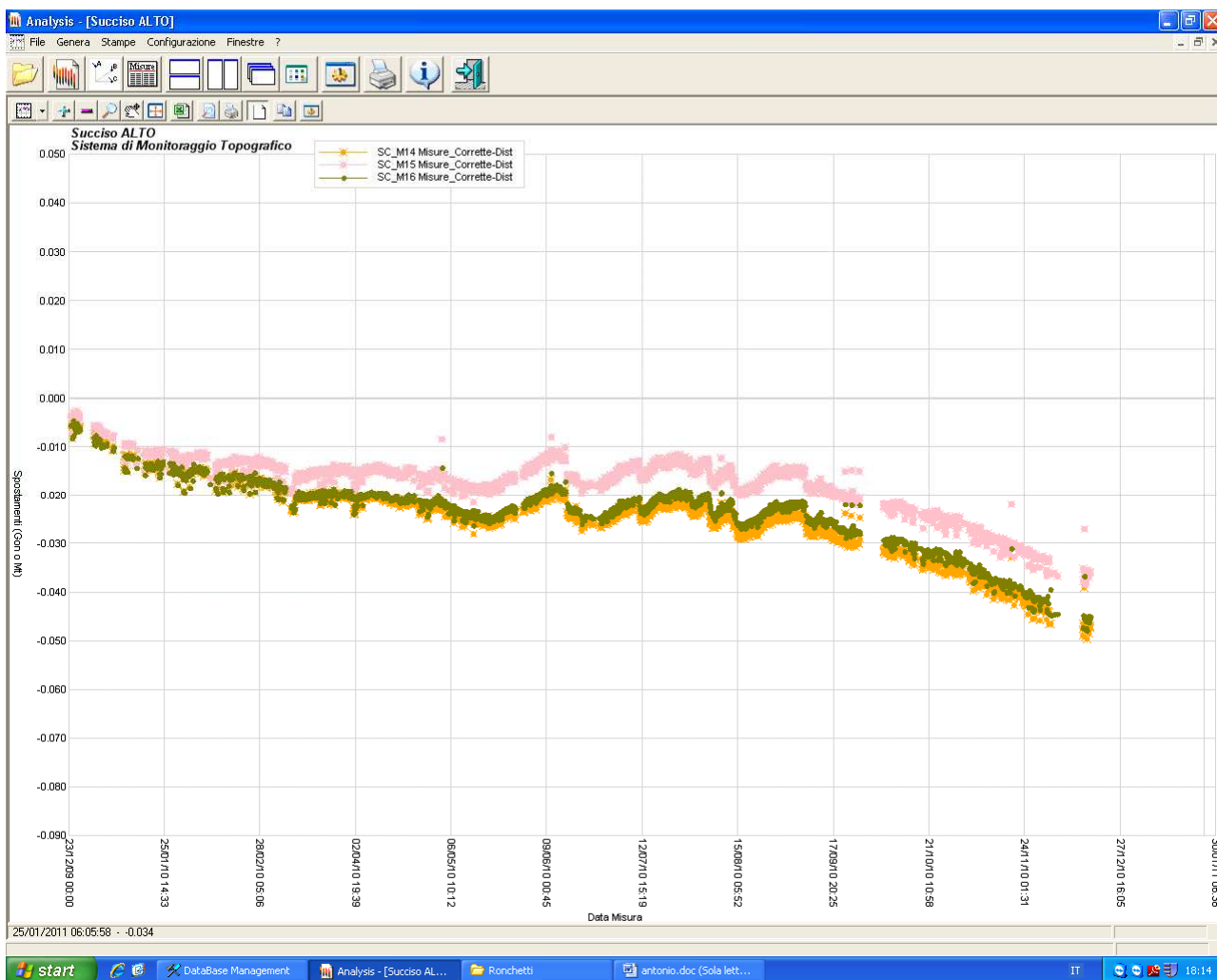


Fig. 7.25: Grafico degli spostamenti in post-processing relativi a Succiso Superiore

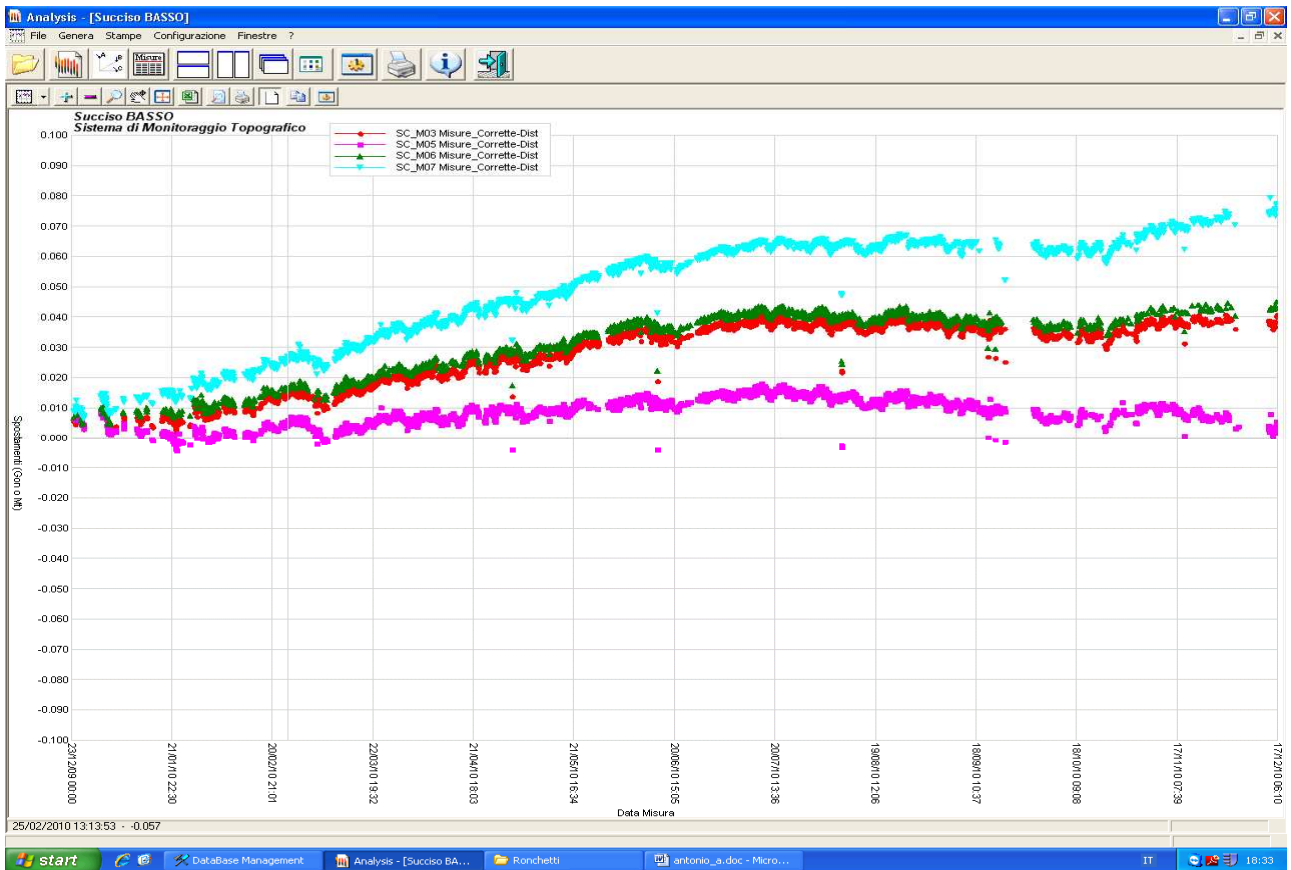


Fig. 7.26: Grafico degli spostamenti in post-processing relativi a Succiso di Mezzo

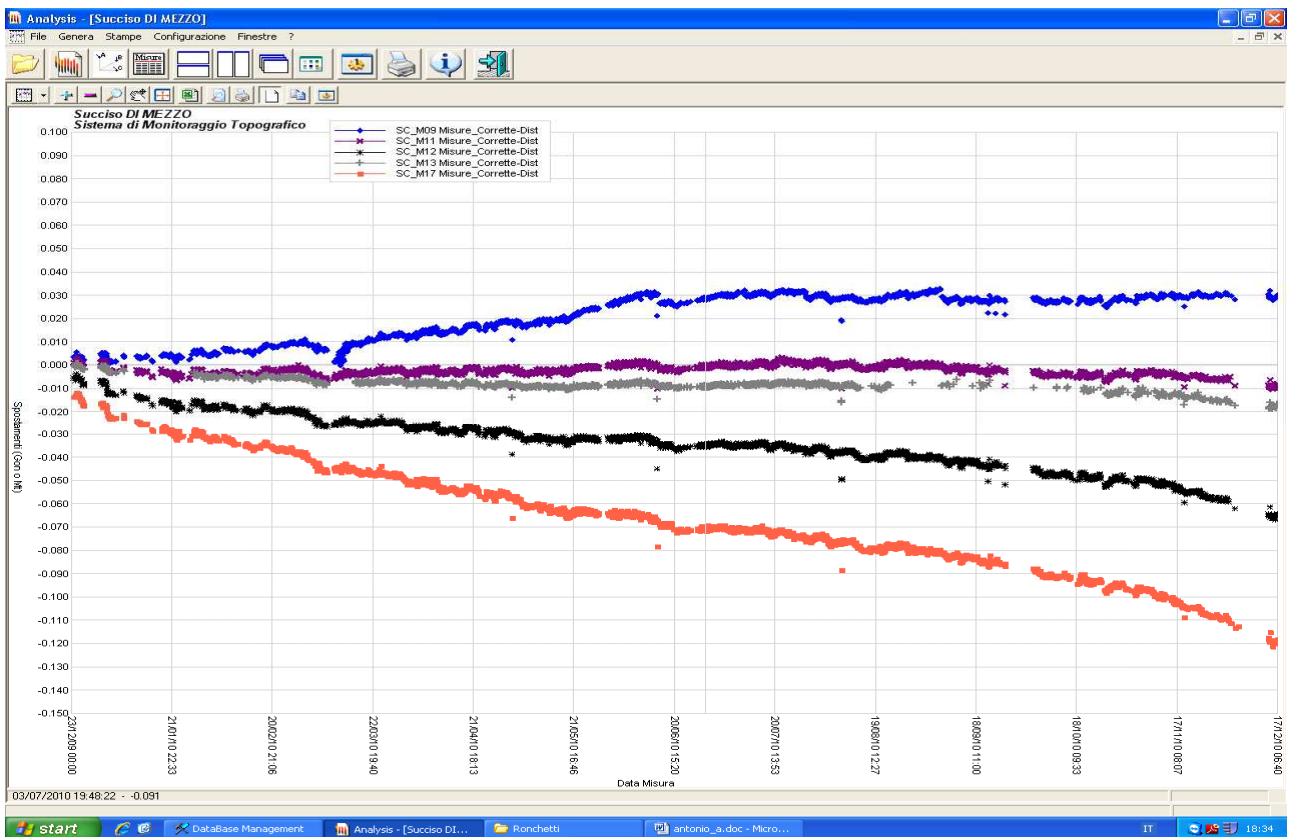


Fig. 7.27: Grafico degli spostamenti in post-processing relativi a Succiso Inferiore

Dal confronto tra i grafici degli spostamenti ottenuti in post-processing con quelli ottenuti mediante misura della distanza inclinata, si deduce che:

- Per la frazione di Succiso Superiore si ha una dispersione minore (soprattutto nel caso dei prismi SC_M14 ed SC_M16) ed una riduzione dell'entità degli spostamenti di circa 0,01 gon: considerati anche gli errori di misura, i prismi SC_M14 ed SC_M16 fanno registrare uno spostamento di almeno 3 cm.
- Per la frazione di Succiso di Mezzo si ha un andamento delle curve meno lineare e nessuno scostamento significativo per quel che riguarda l'entità degli spostamenti. Anche in questo caso, così come nel metodo ad orientamento e nella misura delle distanze inclinate, l'ordine di grandezza dello spostamento raggiunge i 6 cm, per cui si potrebbe ritenere valida l'ipotesi di un effettivo movimento dei prismi SC_M09, SC_M12 ed SC_M17.
- Per la frazione di Succiso Inferiore non si individuano scostamenti significativi sia nella dispersione che nell'entità degli spostamenti.

7.5 IL PIANO STRAORDINARIO DI TELERILEVAMENTO AMBIENTALE

Il Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A), ai sensi della legge 179 del 31 luglio 2002 art. 27, è un Accordo di Programma tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), Presidenza del Consiglio dei Ministri (Dipartimento della Protezione Civile e Ministero della Difesa) d'intesa con le Regioni e le Province Autonome che ha l'obiettivo di generare e rendere disponibili e condivisibili, all'intero comparto della Pubblica Amministrazione, le informazioni territoriali indispensabili per la creazione di elaborati ad alto valore aggiunto.

I dati saranno ottenuti da processi di telerilevamento, ovvero dall'acquisizione a distanza di dati riguardanti il territorio e l'ambiente.

L'obiettivo del Piano Straordinario è quello di avviare, per la prima volta, la costituzione di una base dati rappresentativa del territorio nazionale, con particolare riguardo alla sua configurazione e al suo rapporto con l'ambiente, da ottenersi tramite l'utilizzo delle tecnologie più evolute (piattaforme satellitari e aeromobili).

In particolare, il progetto prevede la acquisizione, da parte del Ministero, di dati prodotti da Telerilevamento con tecnica Laser-scanning LiDAR (da piattaforma aerea) e con tecnica interferometrica (da piattaforma satellitare) e la conseguente catalogazione di tali dati nella banca dati del Portale Cartografico Nazionale (PCN).

Le basi dati realizzate rappresenteranno un valido contributo alle attività di governo del territorio, supportando in particolare le attività di topografia, cartografia e fotogrammetria numerica,

modellistica tridimensionale, Sistemi Informativi Territoriali e i Sistemi Informativi di Supporto alle decisioni.

L'obiettivo primario del PST-A è quello di realizzare, il più rapidamente possibile, una base dati per il supporto ai processi decisionali in tutte le aree soggette al rischio del dissesto idrogeologico ed a favorire la condivisione di "data set" delle metodologie e dei risultati.

Assume quindi valore strategico per il PST-A il proposito di realizzare e rendere fruibile il più vasto "data set" riferiti al territorio, da acquisire sia tramite un piano mirato di telerilevamento evoluto, sia integrandolo con i "data set" già realizzati o in corso di realizzazione da parte delle Pubbliche Amministrazioni Centrali o Locali.

7.5.1 MAPPE DI MISURE DI ACCELERAZIONI DERIVATE

Nel progetto sono state effettuate elaborazioni di dati satellitari SAR ERS ed ENVISAT su intervalli temporali disgiunti: nel caso dei dati ERS il periodo elaborato va dal 1992 al 2000, mentre nel caso dei dati ENVISAT dal 2003 al 2008 (Fig. 7.28, Fig. 7.29).

Le due serie di dati sono dunque separate da un intervallo di circa quattro anni.

Allo scopo di avere una migliore discriminazione delle aree del territorio italiano soggette a movimenti anomali, ritenuta importante per la determinazione del rischio idrogeologico, si è deciso di elaborare delle "misure di accelerazioni derivate".

Dalle velocità medie ottenute dalle elaborazioni di dati ERS ed ENVISAT, sono state individuate le aree presenti in entrambe le serie di dati e con la stessa geometria: ERS ascendente con ENVISAT ascendente, ERS discendente con ENVISAT discendente.

All'interno di queste aree sono stati effettuati dei confronti tra le velocità stimate nell'intervallo di tempo 1992-2000 con dati ERS e quelle stimate nell'intervallo temporale 2003-2008 con dati ENVISAT: il risultato di questi confronti è un indice della variazione delle velocità stimate nei due intervalli di tempo.

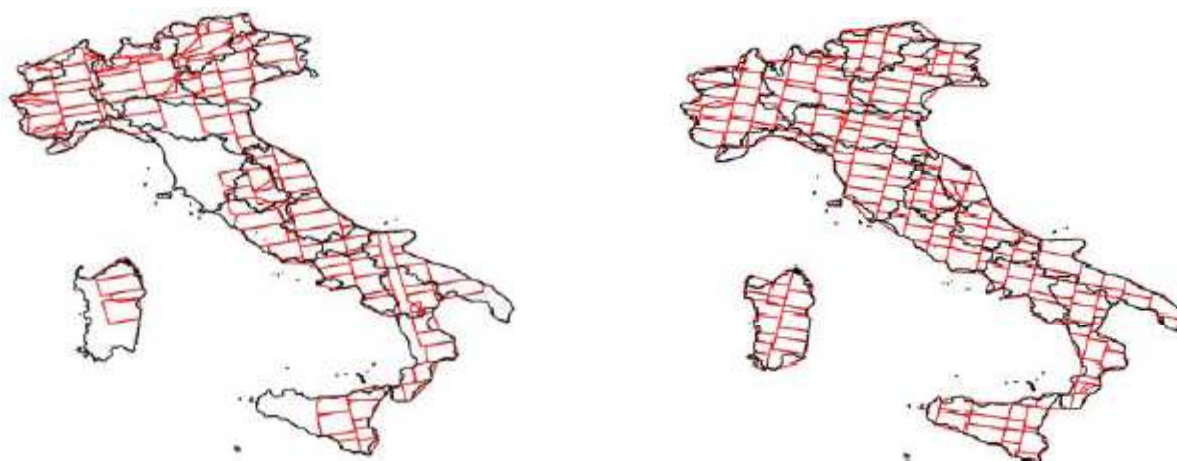


Fig. 7.28: Copertura ottenuta dall'elaborazione di dati satellitari SAR ERS ascendente (a sinistra) e discendente (a destra)

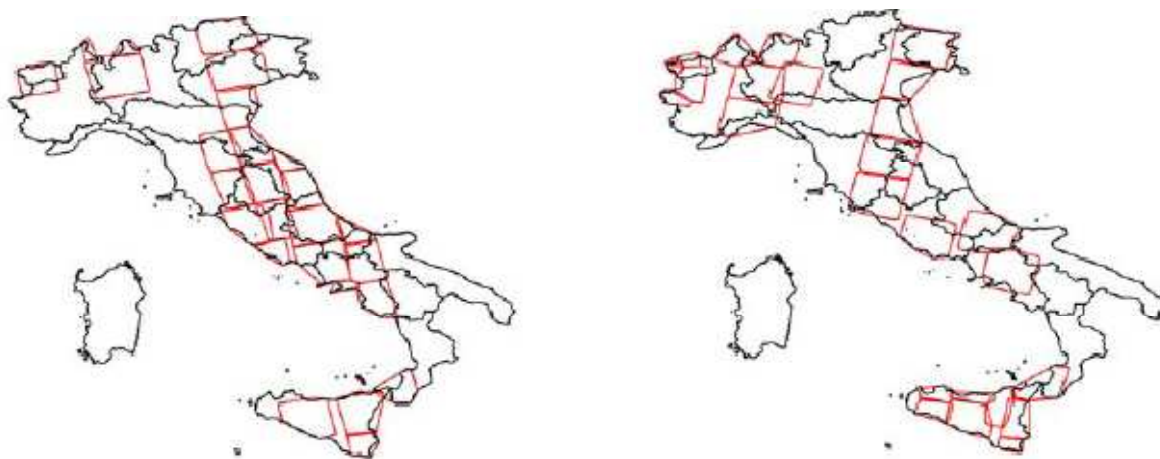


Fig. 7.29: Copertura ottenuta dall'elaborazione dei dati satellitari ENVISAT ascendente (a sinistra) e discendente (a destra)

Purtroppo nella zona di Succiso non sono disponibili mappe di accelerazioni derivate, in quanto sulla zona stessa è presente una copertura caratterizzata solamente dai dati SAR ERS discendente (vedi fig. 7.28 a destra).

Per tale motivo i dati provenienti dal monitoraggio topografico saranno confrontati con i dati satellitari PSIn-SAR in modalità discendente.

7.5.2 DATI PSIn-SAR

Lo scopo del SAR é fornire immagini elettromagnetiche (a frequenze comprese tra 500MHz e 10GHZ) della superficie terrestre con risoluzione spaziale di qualche metro.

La prima piattaforma che avesse fornito dati SAR per uso civile era il satellite americano SEASAT (lanciato nel 1979 e spento dopo solo 78 giorni) operante alla frequenza di circa 1GHZ e con banda di circa 20MHz.

Nel maggio 1991 veniva lanciato il primo SAR europeo a bordo del satellite ERS-1 (frequenza centrale di circa 5GHZ e banda di poco inferiore ai 20MHz), mentre nel 1995 veniva lanciato il secondo satellite europeo ERS-2, gemello di ERS-1: i due satelliti vennero posti sulla stessa orbita in modo da poter operare sulla stessa zona a distanza di un giorno.

Con questa disposizione (TANDEM) dei satelliti sono stati acquisiti ripetutamente dati di tutta la superficie terrestre che oggi costituiscono una base di dati unica al mondo e che consente di generare DEM di vaste zone della superficie terrestre.

Il radar ad apertura sintetica (SAR) é uno strumento costituito da un radar di tipo convenzionale montato su una piattaforma mobile (un satellite nel caso dei dati SAR ERS).

L'antenna del radar è puntata verso terra ortogonalmente alla direzione di moto della piattaforma con un angolo compreso tra 20 e 80 gradi rispetto alla direzione di Nadir.

I vantaggi del SAR rispetto ai consueti sistemi ottici sono legati alla capacità di operare di notte e in presenza di nuvole (ci sono aree della terra di cui non esistono immagini ottiche da satellite a causa della copertura nuvolosa perenne).

Il SAR può inoltre fornire immagini coerenti: l'immagine contiene sia l'informazione d'intensità (legata alla riflettività degli oggetti) che l'informazione di fase (legata alla distanza tra bersaglio e radar).

Infatti quando si effettua una combinazione interferometrica tra due immagini, si ottiene un sottoprodotto che viene detto coerenza interferometrica: è una misura di quanto il bersaglio ha mantenuto costante la propria riflettività tra la prima e la seconda delle due immagini, ovvero quanto il bersaglio ha mantenuto le proprie caratteristiche nel tempo trascorso tra l'acquisizione delle due immagini.

La coerenza del sistema SAR consente alcune applicazioni di grande interesse pratico, ma è causa del cosiddetto fenomeno di ``speckle`` visibile come una variazione casuale dell'intensità dell'immagine (lo stesso effetto di granulosità che si nota puntando un laser su una parete non perfettamente liscia): la qualità del dato risente della rugosità del terreno (effetti più evidenti sul radar montato nell'ERS1).

La rugosità della superficie è infatti il fattore dominante nel determinare la luminosità di un pixel dell'immagine radar: più una superficie è rugosa, più essa diffonde e di conseguenza sarà maggiore l'energia elettromagnetica rinviata al sensore.

Le due dimensioni spaziali dell'immagine SAR sono legate alla distanza degli oggetti dal sensore (*slant range*) e alla posizione della piattaforma lungo la direzione di moto (*azimuth*): a causa di questa rappresentazione l'immagine SAR è affetta da deformazioni geometriche (effetti più evidenti sul radar montato nell'ERS2).

Grazie al Politecnico di Milano, che ha sviluppato e brevettato l'algoritmo **PSInSAR** nel **1999**, è nata una seconda generazione di tecniche interferometriche, conosciute come Persistent Scatterer Interferometry (PSI).

Le tecniche PSI rappresentano una significativa evoluzione rispetto all'interferometria convenzionale.

In particolare, la tecnica **PSInSAR** sfrutta tutte le acquisizioni disponibili su una stessa area di interesse per individuare quei bersagli a terra (i Permanent Scatterers o PS), che mantengono inalterate nel tempo le proprie caratteristiche elettromagnetiche: per ciascuno di essi è possibile così ricostruire le velocità medie e la serie storica di spostamento nell'intervallo di tempo analizzato, con precisione millimetrica.

I **PS** corrispondono tipicamente a edifici, rocce esposte e altri rilevati.

La densità dei punti di misura dipende dalla tipologia di area d'interesse e di terreno: il tessuto urbano ad esempio presenta densità solitamente elevate di punti di misura (>100 PS/km²).

A questa tecnica sono associate una serie di problematiche dovute alle deformazioni prospettiche, infatti la modalità di acquisizione del satellite, non perpendicolare al suolo ma inclinato di un angolo di vista θ , da origine a delle deformazioni prospettiche che impediscono al radar la visibilità di alcune aree.

In particolare le deformazioni prospettiche consistono in:

- **Layover:** si verifica quando la pendenza del terreno è maggiore dell'angolo θ ; questo produce una forte distorsione dell'immagine che impedisce la corretta interpretazione del segnale ed ogni analisi quantitativa.

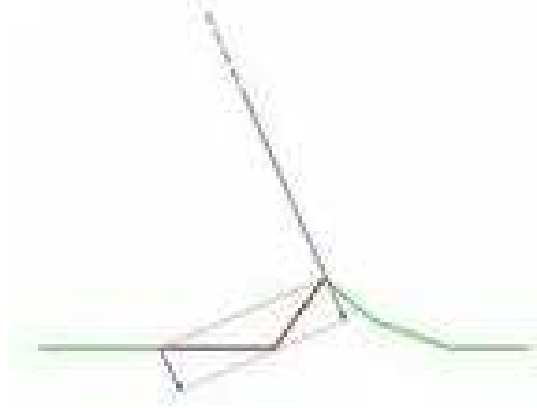


Fig. 7.28: Schematizzazione dell'effetto layover

- **Shadowing:** si verifica quando alcune zone non possono essere illuminate dall'impulso radar perché schermate da altri oggetti; si producono quindi nell'immagine aree molto scure (in ombra).

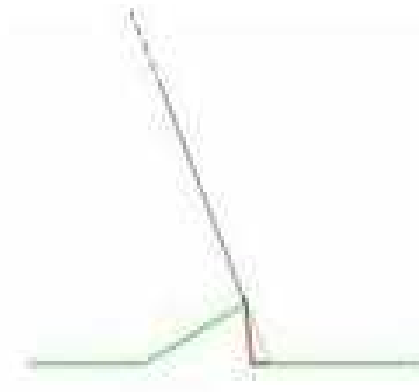


Fig. 7.29: Schematizzazione dell'effetto shadowing

I dati PSIn-Sar che riguardano la situazione di Succiso sono stati visualizzati tramite il Software ArcGis.

Dopo la visualizzazione in ArcGis dei dati radar da satellite, è stata eseguita una classificazione sullo shapefile al fine di comprendere l'area interessata dai maggiori spostamenti.

I PS sono stati classificati in dieci classi, a seconda della velocità media annua registrata nel 2000 (ultimi dati disponibili).

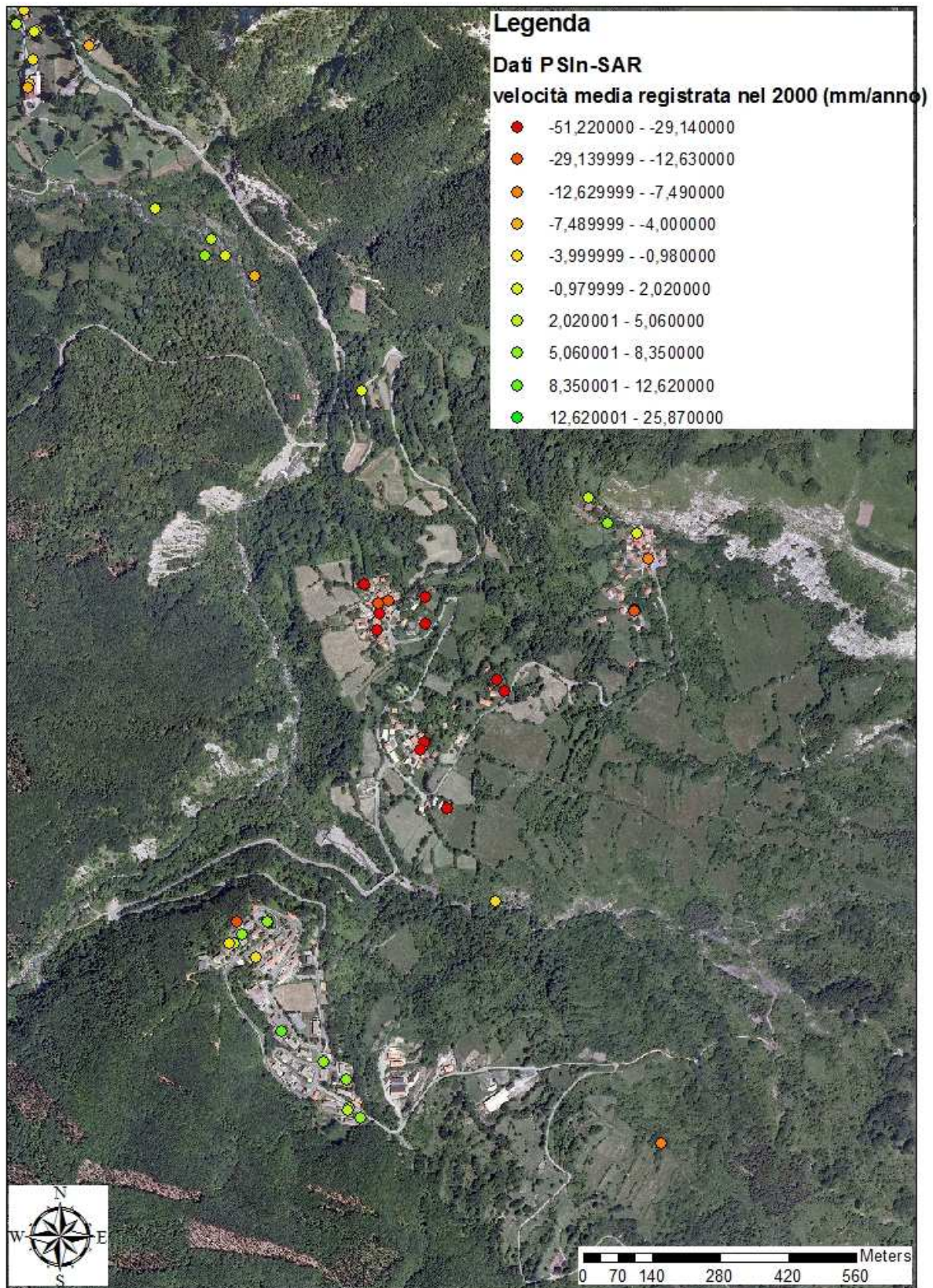


Fig. 7.30: Ubicazione su ortofoto dei punti in cui sono state effettuate misure radar da satellite

Dall'analisi è emerso che buona parte del versante di Succiso, soprattutto la porzione di versante che interessa Succiso di Mezzo e Succiso Inferiore, è caratterizzata da spostamenti non trascurabili, con velocità media di 40-45 mm/anno, corrispondente alla classe di velocità "lenta" (Cruden – Varnes, 1996): il tutto a conferma che il versante di Succiso non è effettivamente quiescente.

Osservando infatti la fig. 7.30, si nota che una consistente quantità di PS presenta valori di velocità elevati, mentre i primi PS in cui sono presenti valori di velocità moderati sono situati nella frazione di Succiso Superiore: questo potrebbe far pensare ad una riattivazione parziale della paleofrana.

Per capire l'entità degli spostamenti registrati dal sistema radar satellitare, sono stati estratti i dati presenti nello shapefile ed esportati in Microsoft Excel al fine di ricavare, per ogni punto in cui è stata effettuata la misura, la serie temporale rappresentata con un grafico a dispersione.

In particolare sono stati considerati i dati di velocità di spostamento sui punti situati nelle vicinanze della sezione su cui verrà fatta la verifica tramite il software Plaxis (i criteri di scelta della sezione verranno spiegati nel capitolo 9).

Nello shapefile i PS in questione sono chiamati A62S4, A2ZE1, A2ZIS, A2Z2T e A20DA.

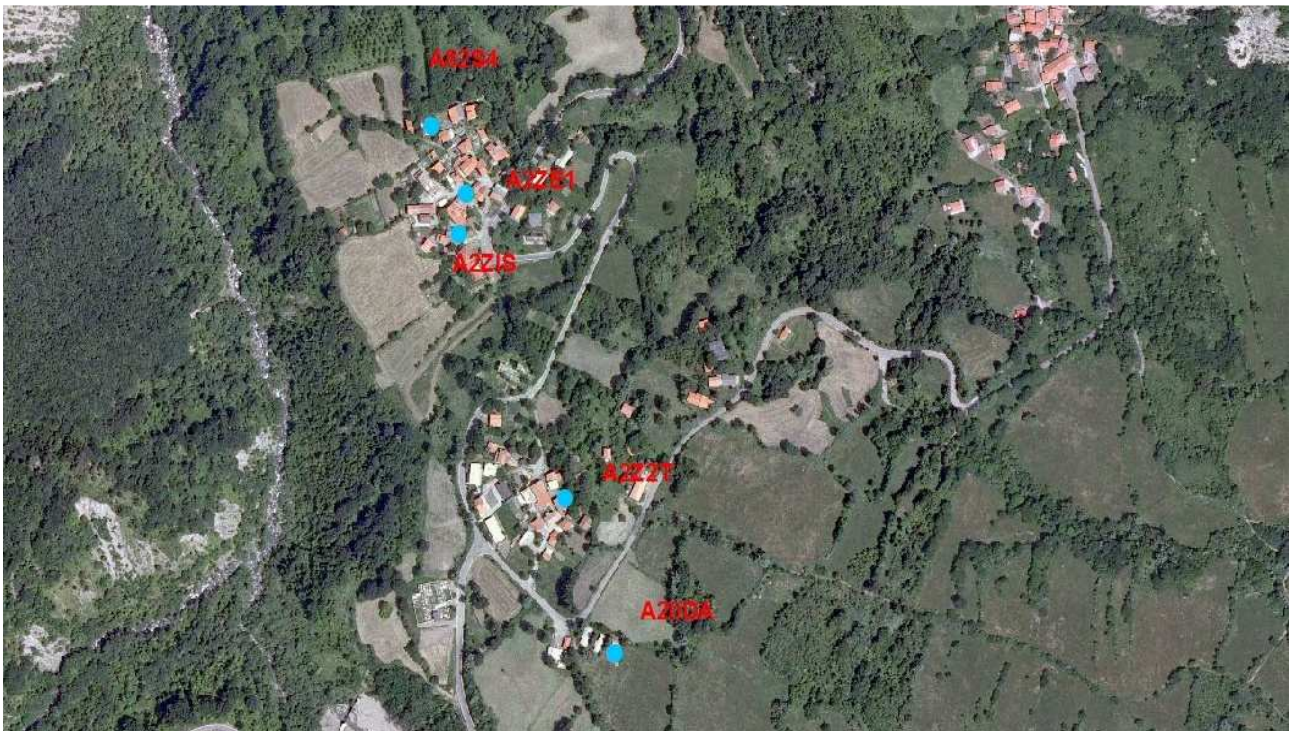


Fig. 7.31: Ubicazione su ortofoto dei PS di misura considerati

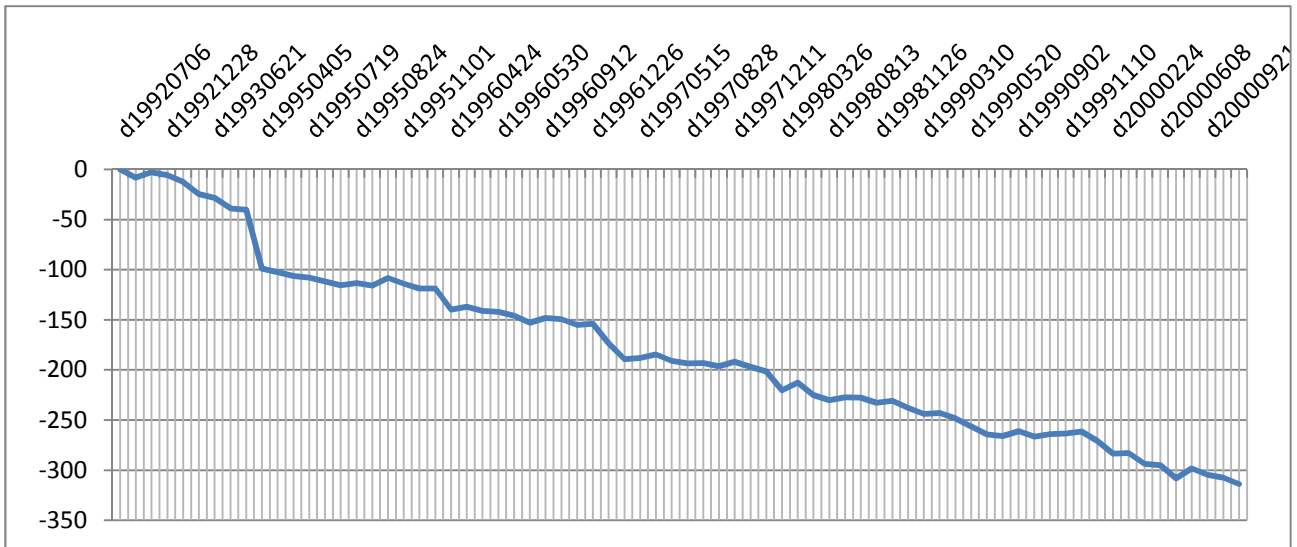


Fig. 7.32: Spostamento del PS A62S4.

Sull'asse delle ascisse sono presenti le date in cui sono state effettuate le misure, mentre su quello delle ordinate è riportato lo spostamento in mm (lo stesso vale per i diagrammi successivi).

Come si nota in fig. 7.32, il PS A62S4 (situato nella frazione di Succiso Inferiore) ha subito uno spostamento di 290 mm in otto anni (periodo di monitoraggio 1992-2000): si può pertanto dedurre uno spostamento medio di circa 3,6 cm/anno.

Lo spostamento è compatibile con quello registrato sul prisma M07 (5 cm).

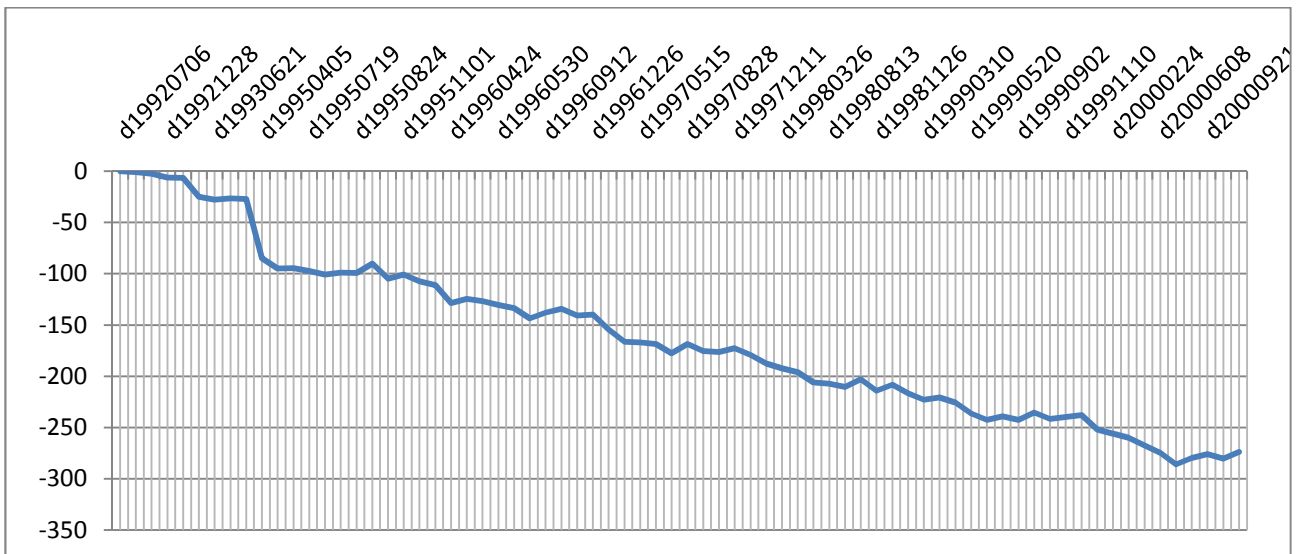


Fig. 7.33: Spostamento del PS A2ZE1

Il PS A2ZE1 (situato nella frazione di Succiso Inferiore) nel periodo compreso tra l'anno 1992 e il 2000 ha subito uno spostamento di 280 mm: si deduce uno spostamento medio di 3,5 cm/anno.

Al netto di eventuali errori di misura, lo spostamento è compatibile con gli ordini di grandezza degli spostamenti registrati sui prismi M03 ed M06 (1 cm).

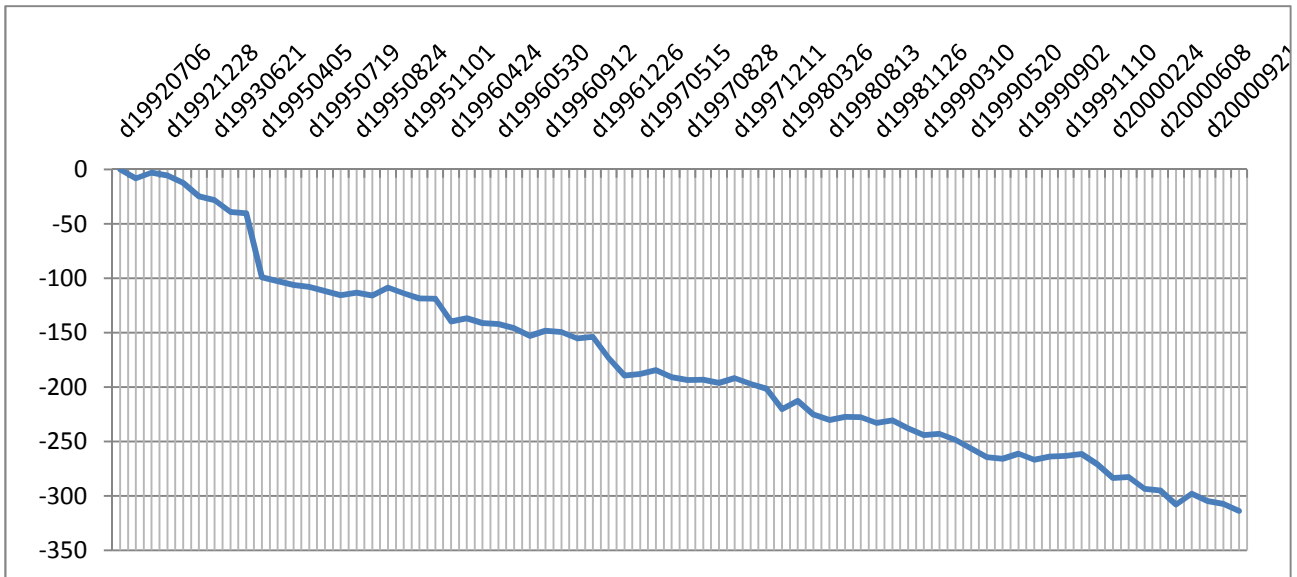


Fig. 7.34: Spostamento del PS A2ZIS

Il PS A2ZIS (situato anch'esso nella frazione di Succiso Inferiore) ha fatto registrare uno spostamento di 320 mm, per cui lo spostamento medio si attesta sui 4 cm/anno.

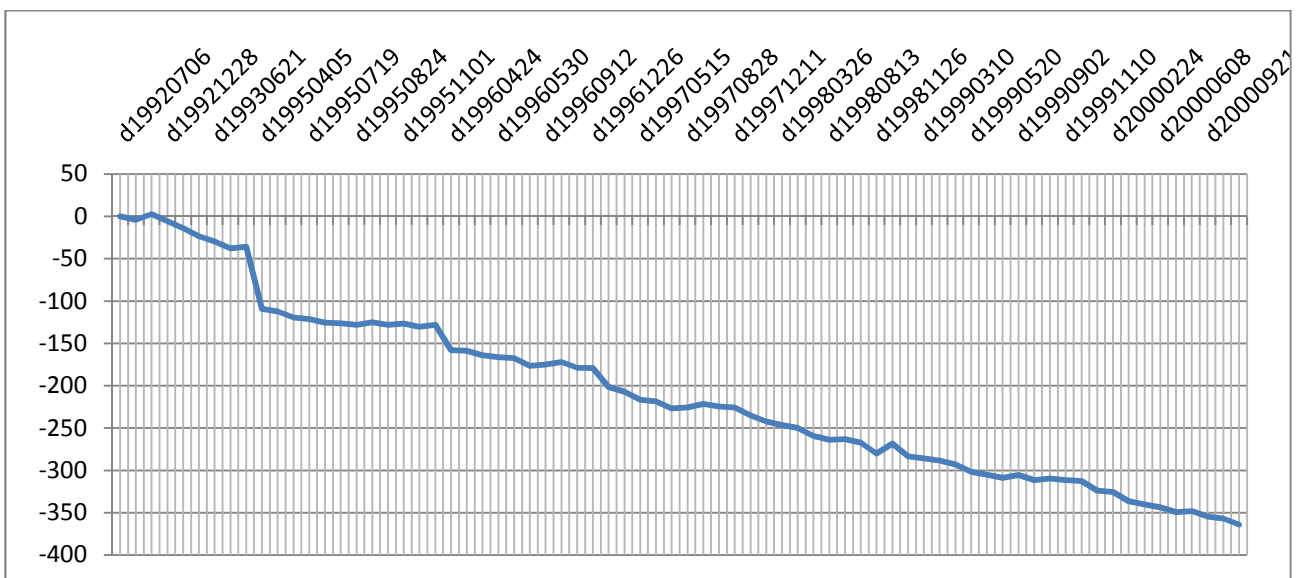


Fig. 7.34: Spostamento del PS A2Z2T

Il PS A2Z2T (situato nella frazione di Succiso di Mezzo) è uno dei PS che ha subito i maggiori spostamenti; lo spostamento registrato si aggira sui 370 mm, con una media di 4,6 cm/anno circa. Il dato è concorde con quello registrato sui prismi M12 (4 cm) ed M17 (9 cm).

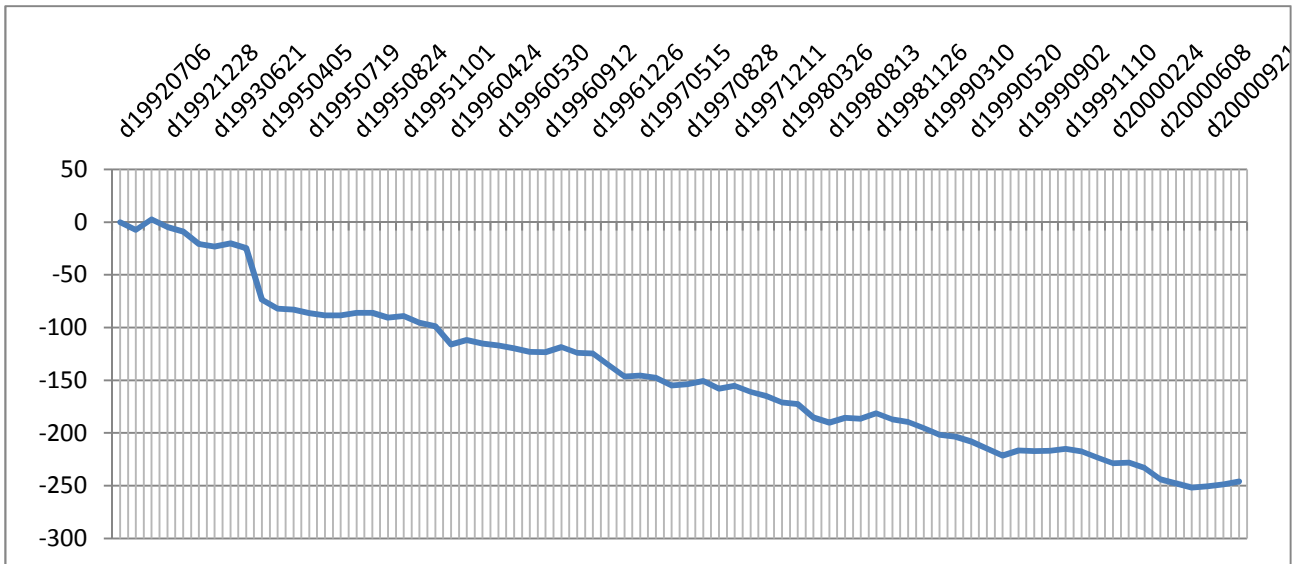


Fig. 7.35: Spostamento del PS A20DA

Sul PS A20DA (situato anch'esso nella frazione di Succiso di Mezzo) è stato infine registrato uno spostamento di 245 mm, da cui si deduce uno spostamento medio di circa 3 cm/anno.

CAPITOLO 8

INDAGINI GEOGNOSTICHE- MONITORAGGIO INCLINOMETRICO

I sondaggi geognostici permettono di ricostruire il profilo stratigrafico e conoscere le caratteristiche meccaniche del terreno in esame: all'interno dei fori creati dai sondaggi si possono successivamente inserire tubi inclinometrici al fine di predisporre un sistema di monitoraggio inclinometrico degli spostamenti.

Per avere maggiori informazioni sulla litologia e sulla stratigrafia del sottosuolo della zona di Succiso è stata inoltre eseguita un'indagine geofisica con la tecnica della sismica a rifrazione.

8.1 MODALITÀ DI ESECUZIONE SONDAGGIO PER TUBO INCLINOMETRICO

La perforazione in cui sarà installato il tubo inclinometrico dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- diametro sufficiente all'inserimento del tubo inclinometrico (vi deve essere spazio sufficiente anche per l'inserimento del tubetto di iniezione);
- deviazione globale dalla verticale <1,5%.

I rivestimenti di perforazione, se presenti, dovranno essere estratti solo a trazione e non a rotazione per non indurre effetti di torsione sul tubo inclinometrico.

Prima dell'installazione dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciamenti dovuti al trasporto;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non devono avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento delle sonde di misura;
- l'efficienza del tubo per l'iniezione della miscela di cementazione da applicare all'esterno della colonna inclinometrica;
- la composizione della miscela di cementazione che sarà costituita da acqua, cemento e bentonite (rapporto 100-30-5 parti in peso);
- il tipo e la scadenza del collante da utilizzare e l'efficienza della morsa di sostegno della sonda.

Precedentemente o contemporaneamente all'esecuzione del sondaggio i vari segmenti di tubo devono essere assemblati secondo la seguente procedura:

- collegare due tubi inclinometrici tramite l'apposito manicotto; il collegamento viene eseguito grazie alle 4 guide di tubo e manicotto, che devono coincidere.
Sulla testa del tubo che viene infilato nel manicotto deve essere spalmato uno strato di colla o silicone; successivamente si fissano i manicotti con quattro rivetti siliconati, ponendo attenzione affinché le due facce dei due spezzoni di tubi siano perfettamente combacianti.
- sigillare con nastro adesivo la giunzione dei due tubi così uniti al fine d'impedire l'entrata di boiaccia all'interno della colonna inclinometrica.
- collegare la canna d'iniezione al tubo di fondo foro (chiuso con l'apposito tappo) tramite robusti legacci realizzati con nastro adesivo o fascette tenditrici.
Lo sfiato della cannetta dovrà essere posizionato ad almeno 50 cm di distanza dal tappo di fondo del tubo inclinometrico e la canna stessa dovrà essere incisa nel suo primo tratto tramite taglierino in due – tre punti equidistanti tra loro circa 20 cm.
- infilare le prime due tubazioni all'interno del foro e mantenerle sospese a bocca pozzo per poi prendere un terzo tubo e collegarlo agli altri due seguendo le indicazioni appena menzionate e proseguire in questa maniera con gli altri segmenti fino a fondo foro.
- se la lunghezza della colonna inclinometrica supera i 30 m, si provvederà ad accoppiare due tubi d'iniezione, uno partente dal foro ed uno circa da metà lunghezza.
Se nel foro c'è presenza d'acqua, anche i tubi verranno riempiti d'acqua pulita, in modo da non forzare durante la discesa della colonna, evitando l'effetto galleggiamento della colonna di tubi (per favorire il centraggio della colonna nel foro si potranno utilizzare distanziatori in gomma o materiale simile).
- al termine del posizionamento si procede alla cementazione a bassa pressione (2-3 atm) tramite la cannetta d'iniezione, con miscela cementizia leggermente espansiva (acqua, cemento e bentonite).
L'iniezione viene eseguita attraverso la cannetta più profonda sino a circa metà altezza, quindi per colonne inclinometriche con altezze maggiori di 30 m, attraverso la cannetta di metà lunghezza, sino all'avvenuto spurgo a boccaforo; alla fine della cementazione il tubo sarà protetto con adeguato pozzetto (in calcestruzzo, HPVC o ghisa) e chiuso con coperchio carrabile in ghisa.
- dopo la presa del cemento utilizzato per il riempimento, verranno inserite o la sonda rimovibile per testare lo scorrimento lungo la guida prima di inserire la vera sonda.



Fig. 8.1: Sondaggio a carotaggio continuo

Nel caso di Succiso per la realizzazione dei fori sono stati impiegati carotieri azionati a rotazione con diametro di circa 101 mm, mentre il diametro di rivestimento impiegato è stato di 127 mm. Nel periodo intercorso tra il mese di luglio e quello di settembre del 1994, sono state eseguite sei perforazioni a profondità variabile tra i 26 e i 46 metri dal piano campagna, attrezzate in seguito con sistema di monitoraggio inclinometrico, mentre nel periodo intercorso tra il mese di settembre e quello di novembre del 2010 sono state eseguite altre tre ulteriori perforazioni a profondità variabile tra i 22 e i 40 metri dal piano di campagna, anch'esse in seguito attrezzate di tubo inclino metrico (SUCC59, SUCC60 e SUCC61).

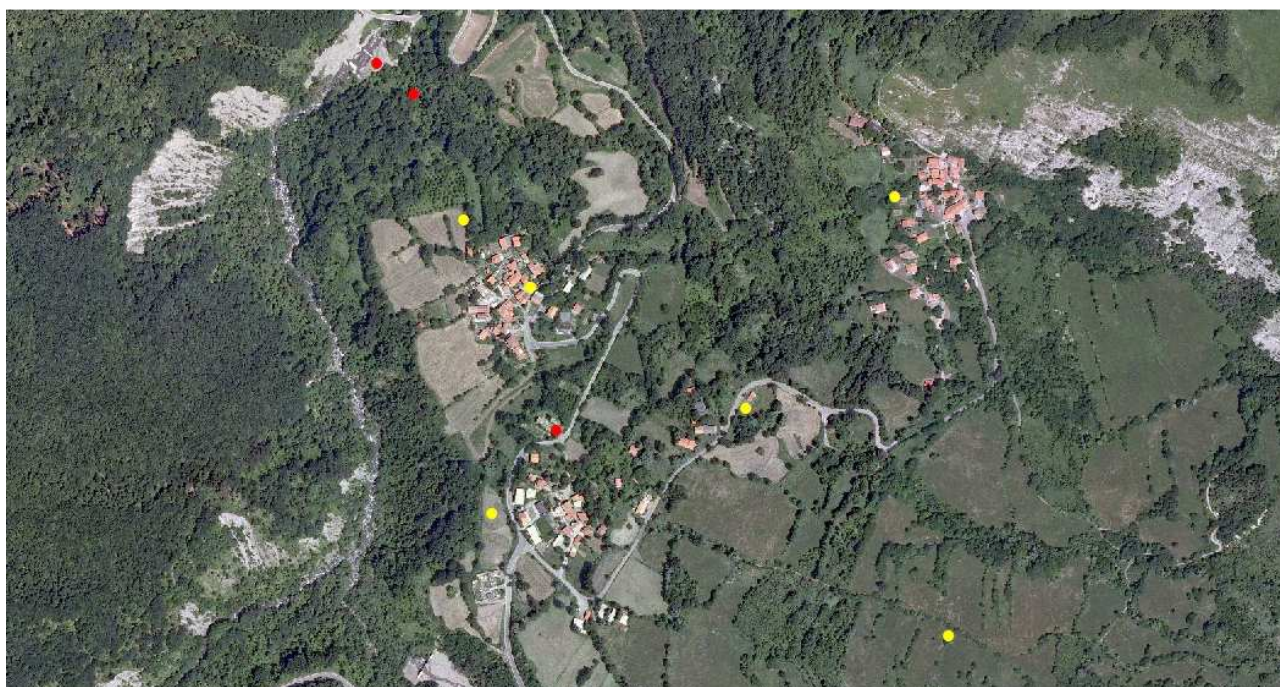


Fig. 8.2: Ubicazione su ortofoto degli inclinometri installati nella zona.

I cerchi gialli rappresentano gli inclinometri installati nel 1994, mentre i cerchi in rosso rappresentano gli inclinometri installati nel 2010

In particolare i sondaggi SUCC60 e SUCC61 sono stati effettuati nella frazione di Succiso Inferiore: il primo a ridosso dell'alveo del Torrente Liocca, mentre il secondo è situato poco più a monte dell'alveo del Liocca nelle vicinanze della confluenza tra il Torrente Liocca e il Rio Marzolaro.

In prossimità di questo tratto è possibile osservare una serie di briglie in cemento armato realizzate sul Rio Marzolaro.

Il sondaggio SUCC59 è stato invece eseguito in prossimità del tratto di strada tra Succiso Inferiore e Succiso di Mezzo, più precisamente nel piazzale in cui sono presenti i resti della chiesa.

8.2 ANALISI DELLE CAROTE

Conoscendo il profilo stratigrafico in corrispondenza dei sondaggi effettuati nel 1994, sono state analizzate le carote derivanti dai tre sondaggi effettuati tra il mese di settembre e il mese di novembre 2010 al fine di ricostruire un profilo stratigrafico della zona circostante i sondaggi e poter capire se sono presenti evidenti differenze litologiche, che potrebbero far pensare ad una potenziale superficie di scivolamento.

I tre sondaggi effettuati nel 2010 sono stati effettuati nelle zone del versante di Succiso ritenute più attive dal punto di vista dei movimenti negli ultimi decenni.

Le carote prelevate dai sondaggi sono state successivamente posizionate nelle apposite cassette (in HDPE) per una conservazione ottimale e per limitare il rimaneggiamento del campione durante la fase di trasporto in magazzino.

Ogni cassetta viene poi etichettata con una serie di voci contenenti:

- Località;
- Data;
- Numero sondaggio;
- Posizione planimetrica e profondità.

Dopo l'analisi delle carote è stato possibile ricostruire un profilo litologico e stratigrafico e constatare a che profondità si verifica il passaggio tra diversi litotipi presenti nel terreno circostante il sondaggio.

8.2.1 SONDAGGIO SUCC60

Il sondaggio SUCC60 è stato eseguito fino ad una profondità di 20 m.

Nella carota prelevata dal sondaggio SUCC60 è possibile osservare fino alla profondità di 11,50 m una matrice limosa che ingloba blocchi di diverse dimensioni.



Fig. 8.3: carota con matrice limosa riscontrabile fino ad una profondità di 11,5 m

Al di sotto degli 11,5 m di profondità si osserva detrito di calcari con degli inclusi litoidi ed una matrice limosa con inclusi argillosi che presentano superfici lucide.

In corrispondenza dei 12 m di profondità circa si osserva un netto cambio di litologia: si verifica infatti il passaggio da granulometria fine ad una granulometria più grossolana, in cui sono presenti blocchi disgregati di diverse dimensioni, presumibilmente inglobati in una matrice fine dilavata dall'acqua di perforazione.

Lo strato a granulometria grossolana si protrae fino ad una profondità di 16,5 m, oltre la quale si osserva il substrato di argille e calcari.

Si potrebbe quindi supporre che il tratto di carota che arriva fino alla profondità di 16,5 m sia stato interessato da spostamenti.



Fig. 8.4: matrice limosa con inclusi argillosi scagliosi osservabile ad una profondità compresa tra gli 11,5 e i 12 m



Fig. 8.5: cambio netto di litologia che si protrae fino ad una profondità di 16,5 m

8.2.2 SONDAGGIO SUCC61

Il sondaggio SUCC61 si spinge fino alla profondità di 20 m: di questi, 15 m sono a distruzione, e i restanti 5 m sono a carotaggio.

Dall'analisi della carota è possibile osservare la presenza di materiale in prevalenza argilloso fortemente rimaneggiato che si spinge fino ad una profondità di 17,5 m.

Oltre i 17,5 m di profondità è presente il substrato di argille e calcari con vene di calcite.



Fig. 8.6: Passaggio da terreno argilloso fortemente rimaneggiato a substrato

8.2.3 SONDAGGIO SUCC59

Il sondaggio SUCC59 si spinge fino ad una profondità di 40 m, di cui i primi 20 m sono a distruzione, e i successivi 20 m a carotaggio.

Dall'analisi della carota è possibile osservare una detrito a matrice prevalentemente limosa con inclusi fino alla profondità di 26 m.

Nei successivi 2 m, quindi per una profondità compresa tra i 26 m e i 28 m, si osserva uno strato di blocchi di arenaria, nonché argilla e calcari.



Fig. 8.7: Passaggio da matrice limosa a blocchi di arenaria

Dopo lo strato di 2 m di blocchi di arenaria, la stratigrafia riprende con ciottoli che all'aumentare della profondità vanno man mano a diradarsi per lasciar spazio ad una breccia con matrice limosa fino a fondo foro.

La breccia di matrice limosa presenta inoltre inclusi di diverse litologie e diverse dimensioni.



Fig. 8.8: All'aumentare della profondità i ciottoli diminuiscono e si osserva breccia a matrice limosa fino a fondo foro (40 m di profondità)

Data la situazione geologica della zona circostante il foro di sondaggio, prima dell'analisi della carota ci si aspettava di osservare i Calcari di Groppo del Vescovo nella carota stessa: questo non si è verificato, infatti anche se gli stessi Calcari di Groppo del Vescovo possono comunque essere inglobati nel terreno che costituisce la carota in forma di blocchi disarticolati, essi non costituiscono il substrato.

Dall'analisi della carota del sondaggio SUCC59 si deduce quindi che la perforazione non sembra aver raggiunto il substrato in posto; infatti per tutta la profondità di perforazione (40 m) si è osservato prevalentemente detrito di frana: potrebbe quindi essere presente un ipotetico piano di scivolamento, attivo o non attivo, situato ad una profondità maggiore.

8.3 MONITORAGGIO INCLINOMETRICO

Gli inclinometri sono dei tubi scanalati che permettono lo scorrimento di una sonda munita di pendolo e dispositivi elettrici per misurare il suo scostamento con la profondità: dalla misura dell'inclinazione nelle varie tratte del tubo si risale agli spostamenti orizzontali.

Un inclinometro è costituito da un tubo di PVC di piccolo diametro, i cui spostamenti sono controllati nel tempo mediante l'introduzione di una sonda di diametro leggermente inferiore al tubo, sospesa ad un filo graduato.

Se la porzione inferiore del tubo è infissa nel terreno saldo e la parte superiore in terreno in movimento, la localizzazione del passaggio è evidenziata dall'accentuarsi della curvatura del tubo.

La misura della deformazione si ricava dall'elaborazione di dati di inclinazione rilevati per mezzo di una sonda che scorre lungo due assi ortogonali in tubi inclinometrici (verticali o orizzontali), situati all'interno dei fori di sondaggio: hanno lo scopo di valutare deformazioni del terreno in ambienti franosi.

I tubi inclinometrici, allocati nei fori di sondaggio, rappresentano un sistema utilizzato congiuntamente con quello sonda-cavo-centralina nelle misure di deformazione del terreno.

Gli inclinometri sono costituiti da tubi cilindrici provvisti di quattro scanalature a rotaia longitudinali che guidano la sonda inclinometrica mobile lungo il foro da monitorare.

Le scanalature sono localizzate nei punti di intersezione tra il tubo e due piani assiali ortogonali tra loro, che permettono di collocare la sonda in quattro posizioni a 90° l'una dall'altra (Fig. 8.9).

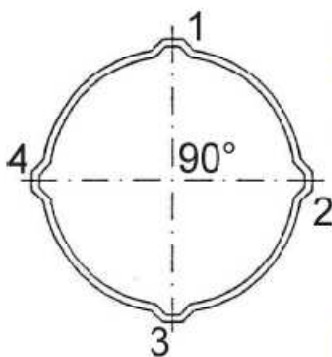


Fig. 8.9: Sezione di un tubo inclinometrico e numerazione guide (a sinistra); tubi con manicotti (a destra)

Il tubo è formato da pezzi cilindrici lunghi 3 metri di diametro interno variabile, generalmente compreso tra 60 e 80 mm: questi pezzi sono uniti tra loro.

In commercio sono disponibili tre diverse tipologie di involucro: in alluminio, in fibra di vetro e in acrilonitrile-butadiene-stirene (ABS); la scelta del materiale dipende da fattori quali la corrosione, le tempistiche di esecuzione dei lavori e la risposta dinamica del sistema tubo-terreno.

Il sistema inclinometrico è costituito dall'insieme sonda-cavo-centralina (Fig. 8.10):



Fig. 8.10: Sistema inclinometrico

Le sonde inclinometriche sono dei corpi cilindrici in acciaio, muniti di una coppia di carrelli a rotelle che permettono il movimento lungo le scanalature dei tubi, all'interno dei quali è collocato il sensore di inclinazione.

Esistono due tipi di sensori: potenziometrici e servoassistiti.

I sensori potenziometrici sono costituiti da pendoli senza contatti del tipo magnetoresistivo o da celle elettrolitiche: viene misurato il potenziale resistivo in funzione dell'inclinazione del pendolo magnetico o del fluido elettrolitico (misura elettromeccanica).

I sensori servoassistiti sono invece caratterizzati da servo-accelerometri; viene misurata la corrente necessaria a bilanciare le forze destabilizzanti e a riportare il sistema pendolo all'equilibrio in posizione zero (misura elettronica); questo tipo di sensore offre delle misure più precise.

Le sonde inclinometriche provviste di servo-accelerometri sono di tipo biassiale, cioè eseguono una doppia misura su due piani ortogonali.

Il cavo che trasmette il segnale ha un'anima in kevlar ed è munito di connettore a tenuta stagna che permette l'utilizzo in ambienti umidi o subacquei; dei cilindri di nylon posizionati ogni 50 cm permettono di collocare la sonda all'interno del tubo e di ripetere la misura nel tempo alla stessa profondità.

La centralina portatile misura le tensioni di alimentazione dei sensori di inclinazione e registra i dati campionati.

È dotata di una memoria non volatile in grado di registrare le letture di campagna formattate in diversi files, contrassegnati da un numero progressivo e da una label alfanumerica; ognuno di questi files può a sua volta essere suddiviso in records, ognuno contenente fino a 255 dati per ciascuna delle 4 direzioni corrispondenti alle guide.

Il piano assiale nel quale giacciono le rotelle è definito piano A, quello ortogonale piano B; i segnali corrispondenti sono rispettivamente il canale A e il canale B.

Le rotelle di riferimento sono quelle inclinate verso il basso e definite dalla rotazione nel loro verso con valori negativi del canale A.

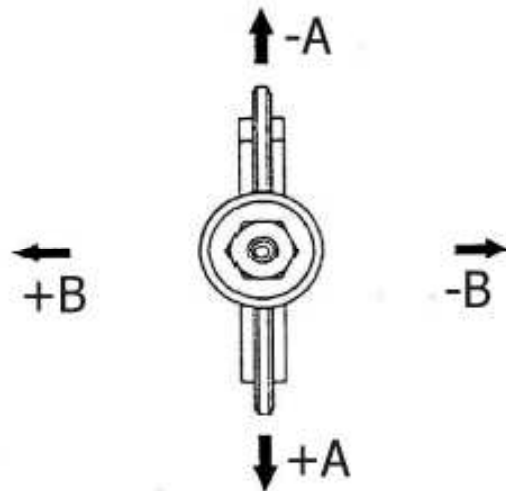


Fig. 8.11: Canali della sonda inclinometrica

Come si vede in Fig. 8.11, inclinando la sonda in corrispondenza delle rotelle di riferimento avremo un segnale A negativo; inclinando la sonda a destra rispetto al piano A, il canale B misura valori negativi.

Il canale A, essendo direttamente vincolato attraverso i carrelli alle scanalature dei tubi, risulta essere quello con misure più stabili e meno disturbate.

Le scanalature longitudinali sono chiamate guide e sono nominate da 1 a 4 in senso orario (Fig. 8.9.a di sinistra): si associa alla guida 1 quella con azimut minore rispetto alla direzione del Nord magnetico.

I profili inclinometrici possono essere effettuati su due guide (di norma la 1 e la 3), oppure su tutte le quattro scanalature.

La prima profilatura è eseguita con una sonda testimone, identica nella meccanica e nella geometria alla sonda di misura: identifica potenziali rotture del tubo ed opera una preventiva pulitura delle guide di misura.

Si inserisce la sonda fino a fondo pozzo e si attende l'equilibrio termico; si inizializza la sonda e si confronta la lettura corrente con le letture precedenti, annotate su un registro di campagna.

Se i dati non corrispondono dopo l'equilibrio termico, si riposiziona (dal basso verso l'alto) la sonda nel punto iniziale di misura.

Data l'alta sensibilità strumentale si rilevano diverse letture; quando le letture sono abbastanza corrispondenti si inizia l'acquisizione.

Ad intervalli di 50 cm si ritira la sonda mobile lungo il foro e si acquisiscono i valori dei due canali: si impiega una carrucola con fermacavo e prolunga calibrata per posizionare lo strumento alla quota prescelta, evitando di dover sostenere tutto il carico a mano.

Ogni misura prevede un controllo del dato visibile sul display della centralina: il dato viene campionato se è stabile ed è coerente con il sito investigato.

Effettuate le misure lungo le guide 1-3, la sonda viene estratta dal tubo, ruotata di 180° e riposizionata a fondo pozzo, pronta per effettuare il profilo 3-1 dal basso verso l'alto (Fig. 8.12).

Questa procedura permette di compensare gli *off-set* strumentali e di rilevare misure anomale.



Fig. 8.12: Inserimento della sonda inclinometrica nel tubo

Le misure, campionate in files protetti in un datalogger, vengono gestite attraverso programmi dedicati all'analisi ed all'elaborazione dei dati.

Il dato che viene visualizzato sullo schermo corrisponde a 20.000 volte il seno delle componenti sui piani A e B dell'inclinazione del tubo rispetto alla verticale.

Ad esempio se la sonda viene inclinata di 30° (corrispondente al massimo angolo misurabile), si legge sul display del datalogger un valore pari a 10.000, che corrisponde al fondo scala: questo valore è il prodotto di 20.000 per il seno di 30° .

La risposta del sistema è lineare, quindi se si legge sul display un valore $A = -1.000$, la sonda è inclinata in corrispondenza delle rotelle di riferimento di 3° ; il campo di misura di $\pm 30^\circ$ corrisponde a un segnale di ± 5 V.

Determinato il periodo di invecchiamento del nuovo pozzo, si effettua la prima misura, chiamata lettura zero, effettuata su tutte le quattro guide, la quale servirà da riferimento per i successivi profili inclinometrici e per la determinazione della deformazione.

Inoltre con questa misura è possibile effettuare il controllo della verticalità del pozzo.

All'atto del trasferimento, i dati vengono visualizzati per verificare l'idoneità e la loro accettazione. Impostati dei valori caratteristici del sito oggetto di studio (tipologia di misura, coordinate, quota, azimut, giorno, ora) si importano i dati acquisiti nel tempo per un loro confronto.

Si possono quindi visualizzare i seguenti diagrammi:

- **Controllo di verticalità dall'alto:** si determina quanto si scosta il tubo inclinometrico dalla verticale teorica ortogonale al geoide.
- **Differenziale locale:** ad ogni quota di misura viene determinato il differenziale rispetto alla lettura zero, che permette di determinare la qualità di misura e di sottolineare le eventuali zone di maggior deformazione.
- **Differenziale integrale dall'alto:** si presuppone che la bocca pozzo sia stabile o posizionata geograficamente nel sistema di riferimento locale (utile per analizzare i dati di spostamento superficiali).
- **Differenziale integrale dal basso:** presuppone che il piede del pozzo sia vincolato ad un terreno non in frana, quindi stabile; i dati vengono confrontati e le differenze positive e negative sono esposte come sommatoria dal basso.
I diagrammi che si ottengono sono lo spostamento sul canale A, quello sul canale B, lo spostamento risultante, l'azimut rispetto al Nord e quello polare.
- **Diagramma polare:** fornisce l'azimut dello spostamento.
- **Diagramma cumulativo.**

I diagrammi permettono pertanto di ottenere informazioni le quali permettono di determinare il modulo di spostamento orizzontale, il verso e la direzione di deformazione del tubo nel tempo.

Nel nostro caso le letture degli inclinometri installati nel 1994 sono state svolte ad intervalli di tempo molto lunghi (basti pensare che la prima lettura dopo quella di zero è stata effettuata dopo quattro anni) ed è quindi difficile a posteriori determinare il tasso di spostamento se non in modo approssimativo.

Discorso diverso invece per le letture degli inclinometri installati nel 2010: la lettura di zero è stata effettuata in data 15/12/2010, una prima lettura inclinometrica in data 12/01/2011 ed una seconda lettura in data 23/02/2011.

In una prima analisi verranno riportati i risultati delle letture inclinometriche effettuate sugli inclinometri installati nel 1994: la loro interpretazione permetterà di capire l'evoluzione del dissesto e permettere una classificazione dei dissesti che coinvolgono le frazioni di Succiso Superiore, di Mezzo e Inferiore.

Successivamente si analizzeranno le letture inclinometriche effettuate sugli inclinometri installati nel 2010.

8.3.1 LETTURE SUGLI INCLINOMETRI INSTALLATI NEL 1994

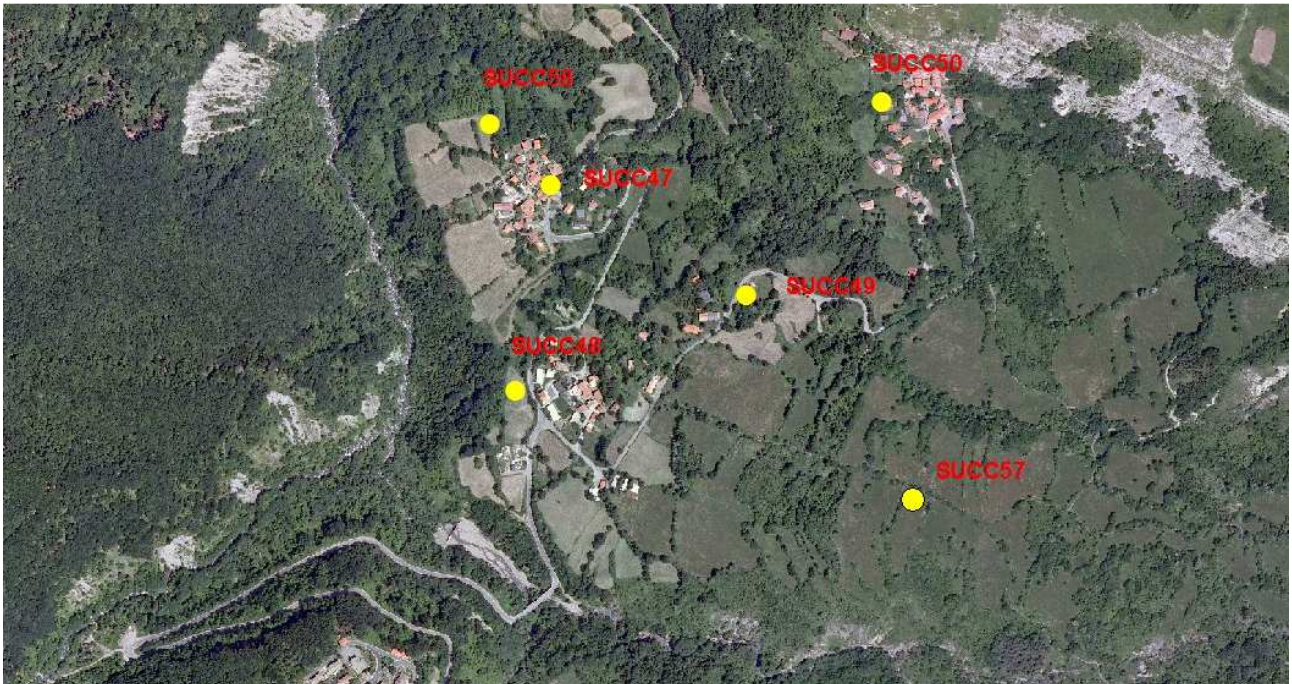


Fig. 8.13: Ubicazione su ortofoto degli inclinometri installati nel 1994

In seguito vengono riportate due tabelle: la prima riassume le caratteristiche degli inclinometri, mentre la seconda riporta i dati delle letture effettuate.

Tabella 8.1: Riassunto delle caratteristiche degli inclinometri

Sigla	Ubicazione	Profondità	Letture di zero
SUCC47	Succiso Inferiore	40	Agosto 1995 Ottobre 2002
SUCC48	Succiso di Mezzo	25	Agosto 1995
SUCC49	Succiso di Mezzo	36	Agosto 1995 Ottobre 2002
SUCC50	Succiso Superiore	41	Agosto 1995
SUCC57	Strada Succiso di Mezzo – Le Piane	43	Agosto 1995 Ottobre 2002
SUCC58	Succiso Inferiore	25	Agosto 1995 Ottobre 2002

Tabella 8.2: Riassunto delle letture inclinometriche

N° incl	Letture	Spostamento A 2 m (mm)	Spostamento a 4 m (mm)	Direzione	Velocità media A 2 m (mm/anno)	Velocità media a 4 m (mm/anno)	Profondità ipotetico piano di scivolamento
47	08/95-06/99	23	20	N-NW	7,16	4,6	33
	06/99-08/00	9	7	N-NW			
	08/00-07/01	13	16	N-NW			
	10/02-09/03	8	8	N-NW			
48	08/95-06/99 06/99-08/00	190 Foro interrotto	180 Foro interrotto	N-W	47,5	45	12
49	08/95-06/99	23	24	S-W	7	6,5	21
	06/99-08/00	5	5	S-W			
	08/00-07/01	11	8	S-W			
	10/02-09/03	6	6,5	S-W			
	09/03-05/05	15	13,5	S-W			
50	08/95-06/96	22	21	S-W	14,5	13,5	23
	06/96-07/97	7	6	S-W			
57	08/95-06/99	8,5	8	N.C	2,5	2,3	41
	06/99-08/00	1	1,5	N.C			
	10/02-09/03	1,5	2	N-NW			
	09/03-05/05	6	5	N-NW			
58	08/95-06/99	102	98	N-NW	15,5	14	26
	06/99-08/00	21	22	N-NW			
	08/00-07/01	50	47	N-NW			
	10/02-09/03	8	7	N-NW			
	09/03-05/05	39	36	N-NW			

8.3.2 LETTURE SUGLI INCLINOMETRI INSTALLATI NEL 2010

Gli inclinometri installati nel 2010 sono il SUCC59, SUCC60 e SUCC61: il primo è ubicato nello spiazzale della chiesa situata a metà strada tra Succiso Inferiore e Succiso di Mezzo, il secondo è situato in prossimità dell'alveo del Torrente Liocca ed il terzo è installato nelle vicinanze del Rio Marzolaro.

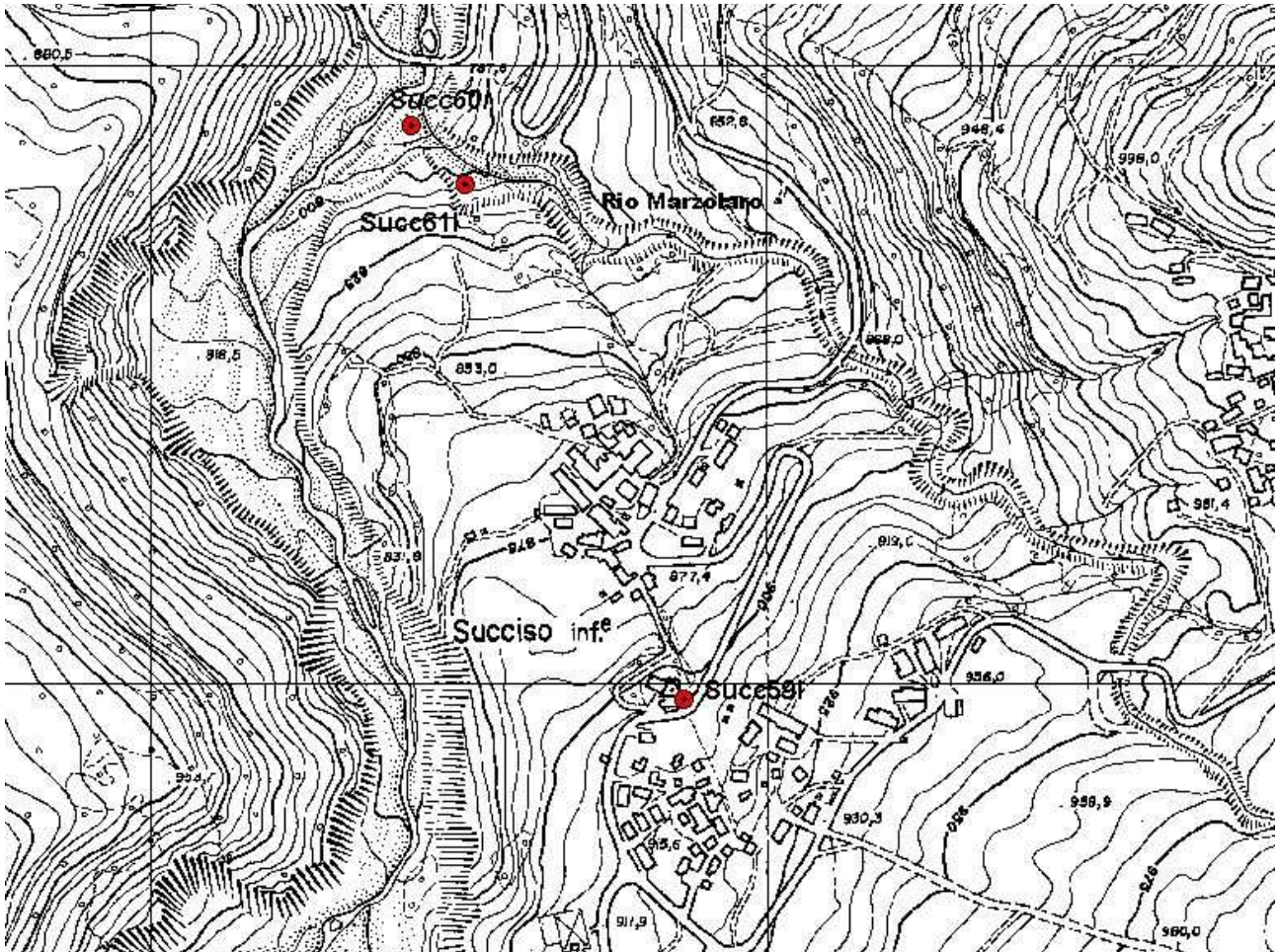


Fig. 8.14: carta in scala 1:5000 (non in scala) che indica l'ubicazione degli inclinometri installati nel 2010

Di ogni inclinometro analizzeremo il diagramma differenziale integrale dal basso e il diagramma polare.

8.3.2.1 INCLINOMETRO SUCC59

Dall'elaborazione dei dati inclinometrici (Fig. 8.15 e 8.16) si rileva uno spostamento massimo di 8,2 mm alla profondità di 37 m (spostamento di una certa entità se si considera che la lettura di zero è stata effettuata due mesi prima): è quindi presumibile che a questa profondità sia presente una superficie di scivolamento.

Il diagramma polare (Fig. 8.17) indica invece che gli spostamenti sono diretti lungo la direzione N-W.

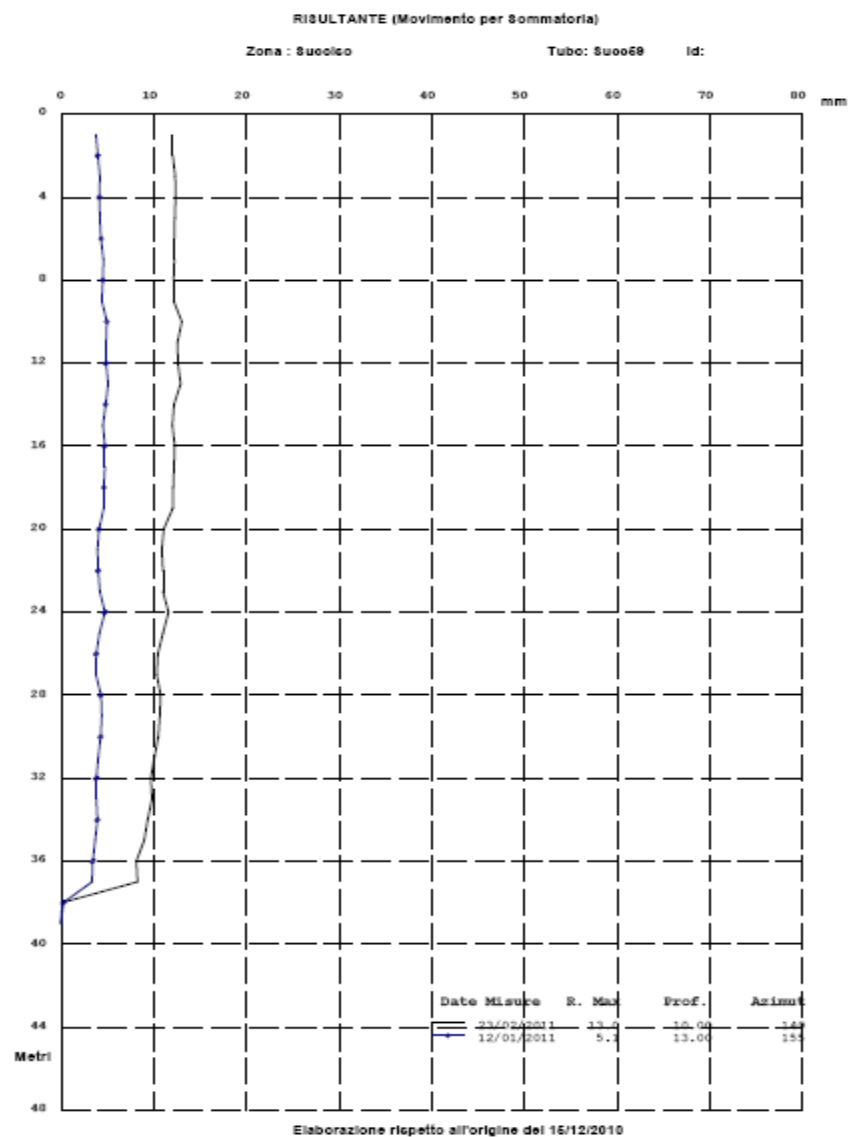


Fig. 8.15: Elaborazione differenziale integrale dal basso

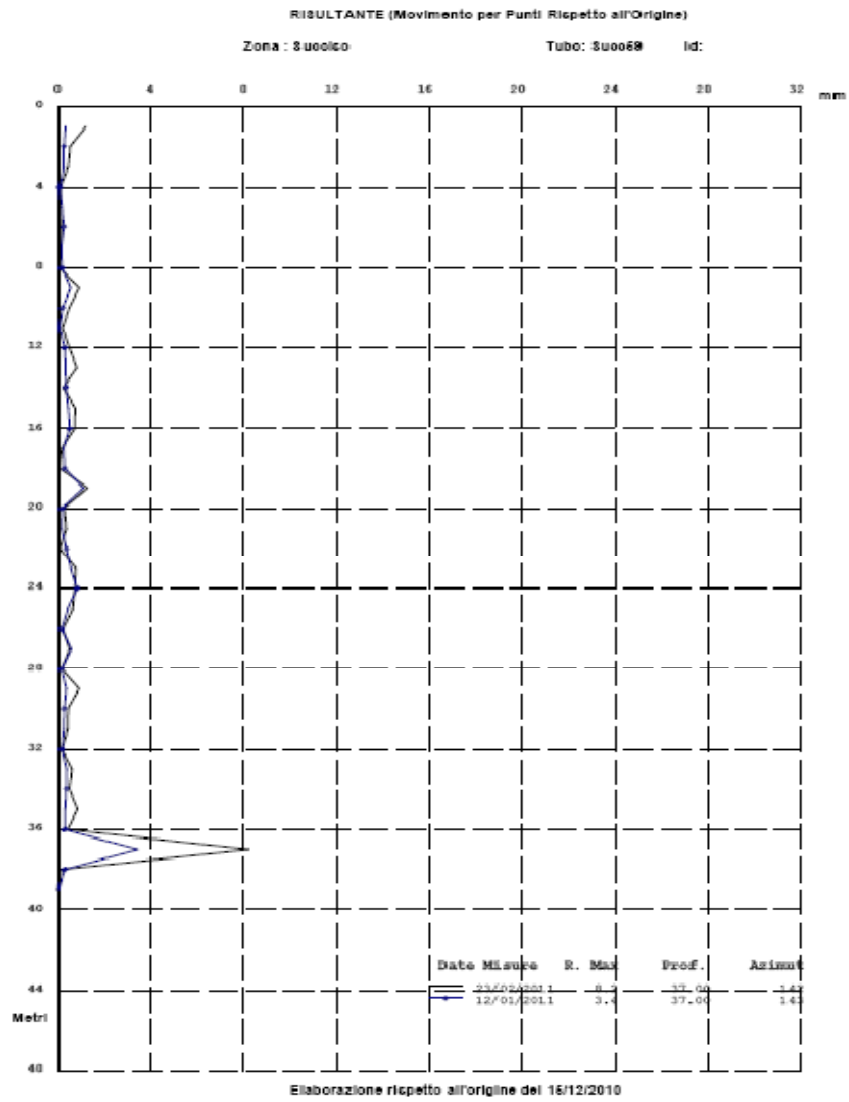


Fig. 8.16: Elaborazione differenziale locale dal basso

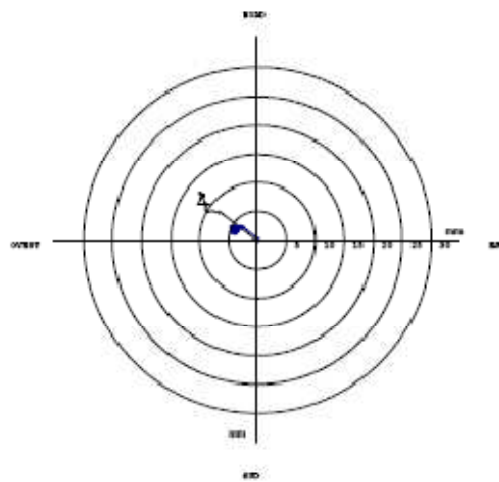


Fig. 8.17: Diagramma polare

8.3.2.2 INCLINOMETRO SUCC60

Dall'elaborazione dei dati inclinometrici (Fig. 8.18 e 8.19) si rileva uno spostamento di notevole entità (21 mm) alla profondità di 13 m: a questa profondità è presente una superficie di scivolamento.

Il diagramma polare (Fig. 8.20) indica invece che gli spostamenti sono, come nel caso dell'inclinometro SUCC59, diretti lungo la direzione N-W.

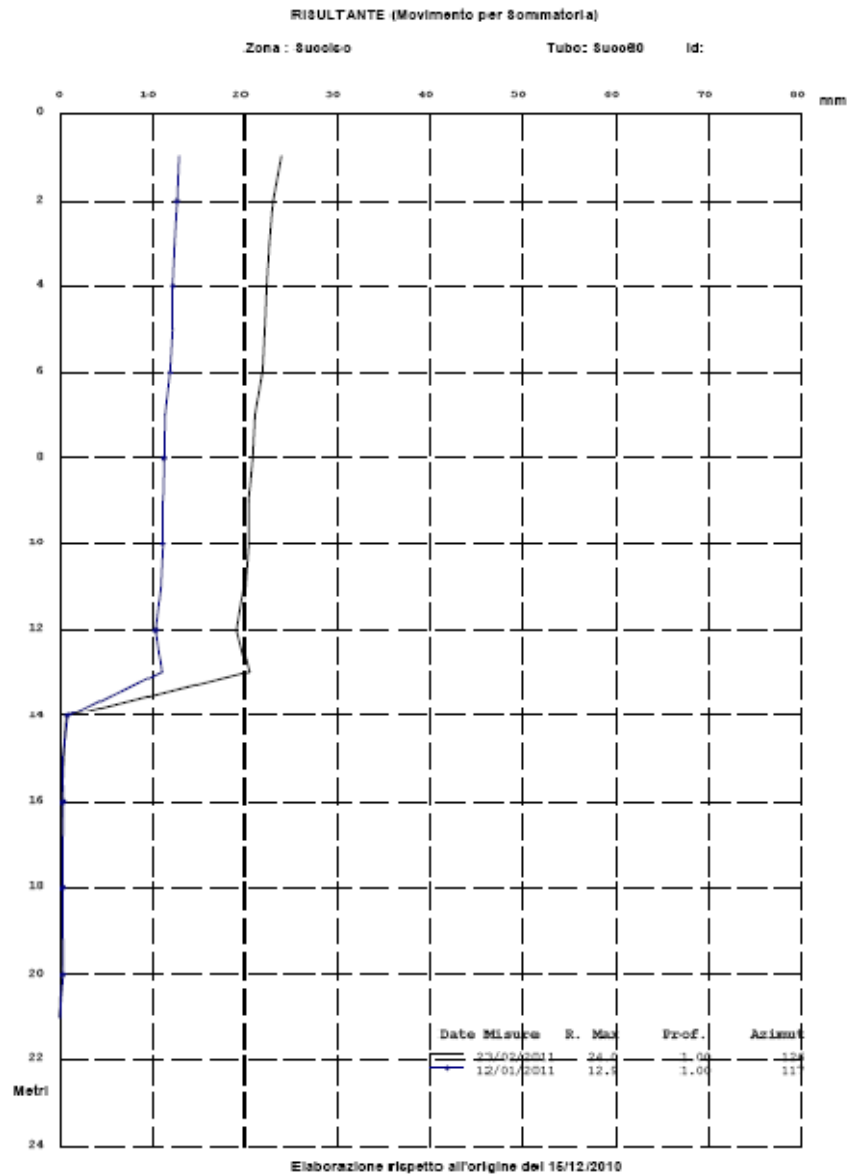


Fig. 8.18: Elaborazione differenziale integrale dal basso

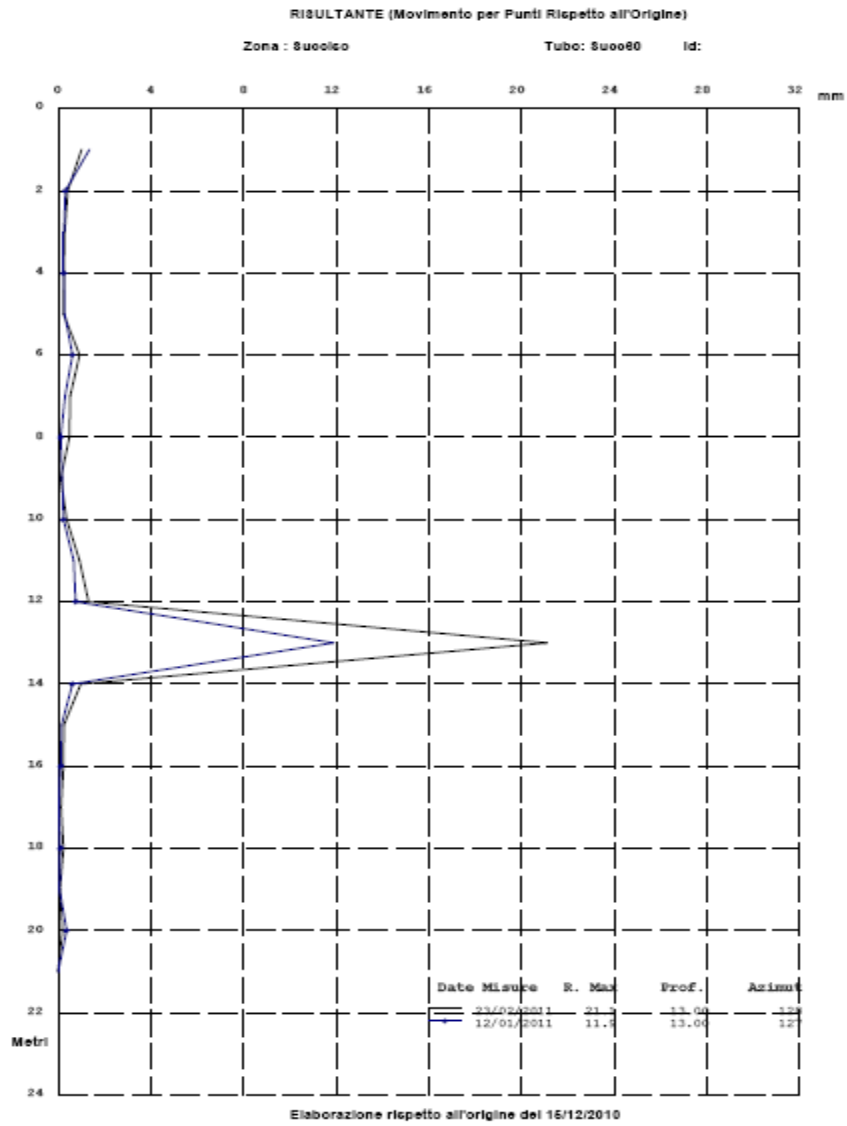


Fig. 8.19: Elaborazione differenziale locale dal basso



Fig. 9.20: Diagramma polare

8.3.2.3 INCLINOMETRO SUCC61

Dall'elaborazione dei dati inclinometrici (Fig. 8.21 e 8.22) si rileva uno spostamento di 6,5 mm alla profondità di 5 m: si presume che a questa profondità sia presente una superficie di scivolamento.

Il diagramma polare (Fig. 8.23) indica invece che gli spostamenti sono diretti lungo la direzione N-NW.

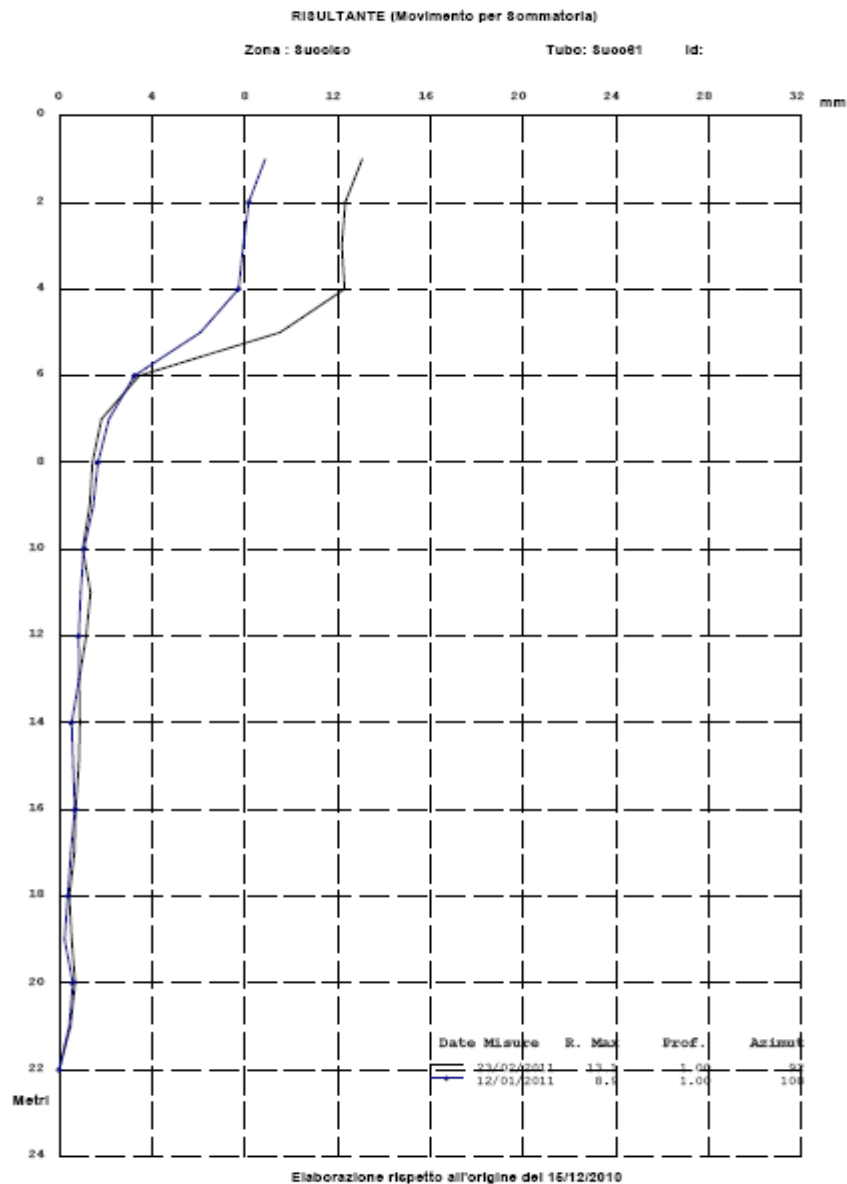


Fig. 8.21: Elaborazione differenziale integrale dal basso

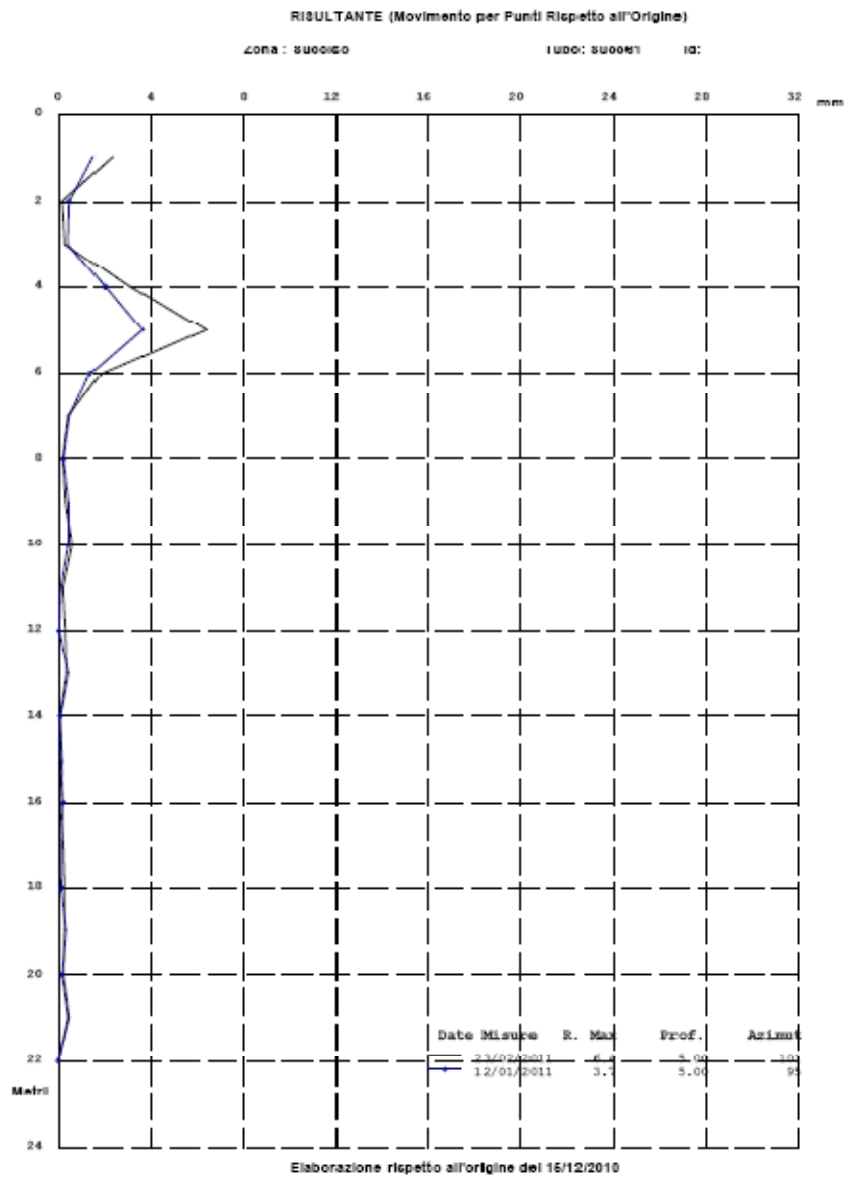


Fig. 8.22: Elaborazione differenziale locale dal basso



Fig. 8.23: Diagramma polare

8.4 SISMICA A RIFRAZIONE

Il metodo della sismica a rifrazione utilizza la determinazione della velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) e talvolta trasversali (onde S) nel sottosuolo per caratterizzare l'assetto litostratigrafico in termini di presenza di strati a diversa velocità sismica.

Tali onde sono generate e si propagano nel terreno ogni qualvolta quest'ultimo è sottoposto a sollecitazioni sia di tipo naturale, sia artificiale (esplosioni, mazze battenti, ecc.).

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione pertanto consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di sparo), in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni, Fig. 8.24).



Fig. 8.24: Geofono

Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà meccaniche e fisiche dei terreni e la compattezza dei materiali da queste attraversati in quanto le velocità sono funzione delle caratteristiche elastiche dei materiali attraversati e quindi delle caratteristiche litologiche degli stessi, nonché del loro stato di conservazione.

Mediante questo tipo di indagine si può infatti risalire alla probabile composizione litologica di massa dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo ("bedrock"), alla sua forma e talora (in terreni alluvionali) alla profondità della falda freatica.

Nei depositi incoerenti (ghiaie, sabbie, detriti in genere) si registrano velocità sismiche notevolmente inferiori alle velocità riscontrabili nelle rocce coerenti (calcari, graniti, ecc): approssimativamente i primi hanno velocità che possono variare da 0.35 km/s a 1.80 km/s, mentre le rocce coerenti hanno valori generalmente superiori ai 3.0 km/s.

L'indagine è stata eseguita con la finalità di individuare la geometria e le dimensioni (spessore) di strati di terreno caratterizzati da valori di velocità sismiche sufficientemente omogenei e le cui caratteristiche fossero correlabili a quelle delle litologie individuate in sito mediante indagine diretta, confrontando, ove possibile, i risultati ottenuti con le stratigrafie dei sondaggi geognostici più vicini.

L'elaborazione dei dati sismici con un completo modello matematico bidimensionale appoggiato da procedure iterative, consente di massimizzare la risoluzione e il dettaglio di ricostruzione del modello di velocità attribuito al terreno in esame.

Utilizzando quindi le distanze tra il punto di scoppio e quello di ricezione e i tempi di primo arrivo dei segnali sismici, sono ricavate le dromocrone (curve tempi-distanze), dalle quali si risale, tramite opportuno programma di calcolo, alle velocità reali nei singoli strati, al loro spessore, profondità, forma ed inclinazione.

Per registrare simultaneamente gli impulsi sismici rilevati dai geofoni è necessario l'utilizzo di una strumentazione elettronica multicanale a bassissimo rumore interno e ad alta velocità di campionamento, dotata di supporto magnetico per la registrazione dei dati ottenuti dopo opportuna amplificazione filtraggio e conversione analogico/digitale.

Nel nostro caso si è trattato di un'indagine sismica a rifrazione mediante 3 stendimenti superficiali (Fig. 8.25), di lunghezza pari a circa 130 m per un totale di circa 390 m, allo scopo di definire un'ipotesi di andamento con la profondità, in funzione delle variazioni di velocità delle onde sismiche, delle tipologie e delle caratteristiche meccaniche dei terreni interessati.

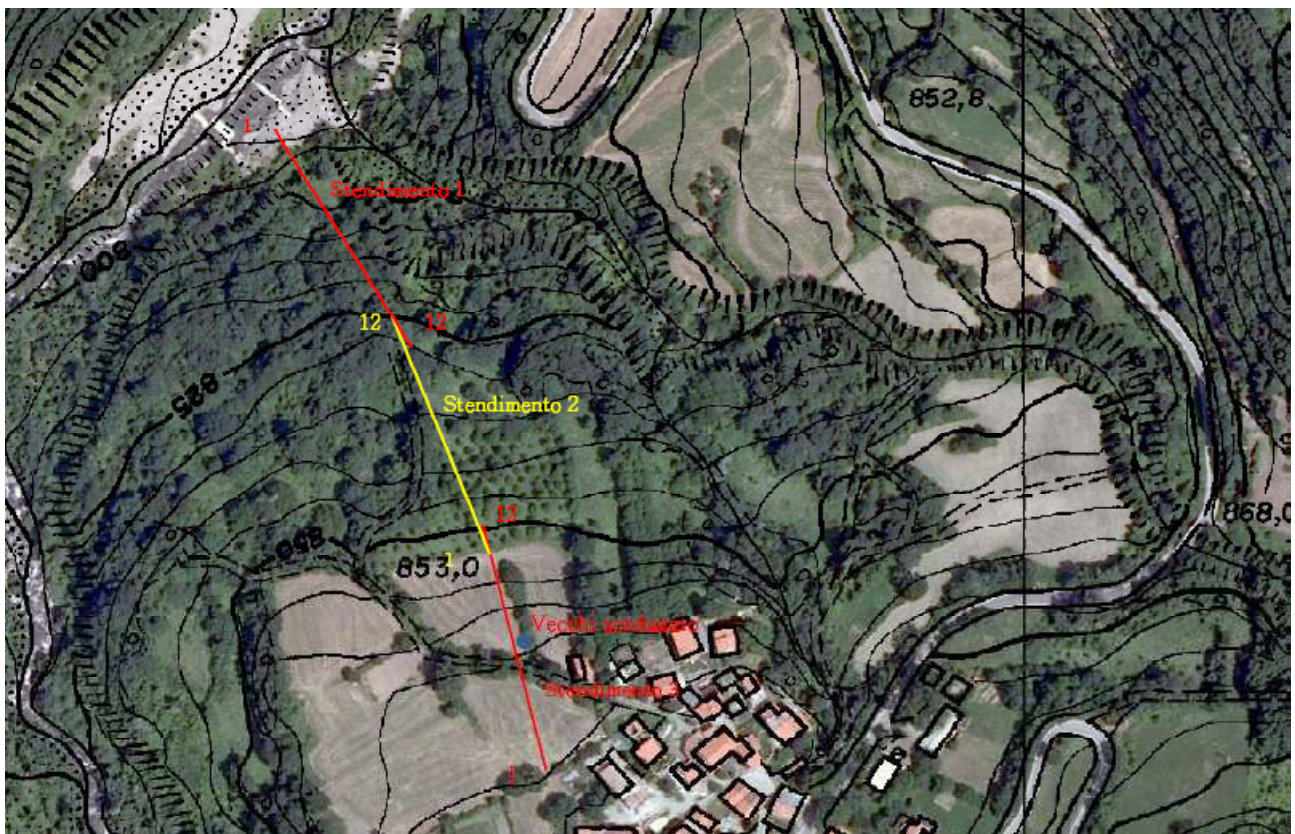


Fig. 8.25: Ubicazione stendimenti della sismica a rifrazione lungo il versante di Succiso

Per registrare le vibrazioni del terreno si utilizzano 33 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile con frequenza caratteristica di 10 Hz, che consentono di convertire in segnali elettrici gli spostamenti che si verificano nel terreno: questi ricevitori si collegano al sismografo tramite degli appositi cavi multipolari.

Dall'analisi delle velocità, lo stendimento 1, che si estende dall'inizio alveo del Torrente Liocca (quota 790 m s.l.m. circa) fino alla fine della zona caratterizzata da fitta boscaglia (quota 833 m s.l.m), evidenzia la presenza di uno strato di detrito con spessore variabile tra i 10 e i 15 m (Fig. 8.26).

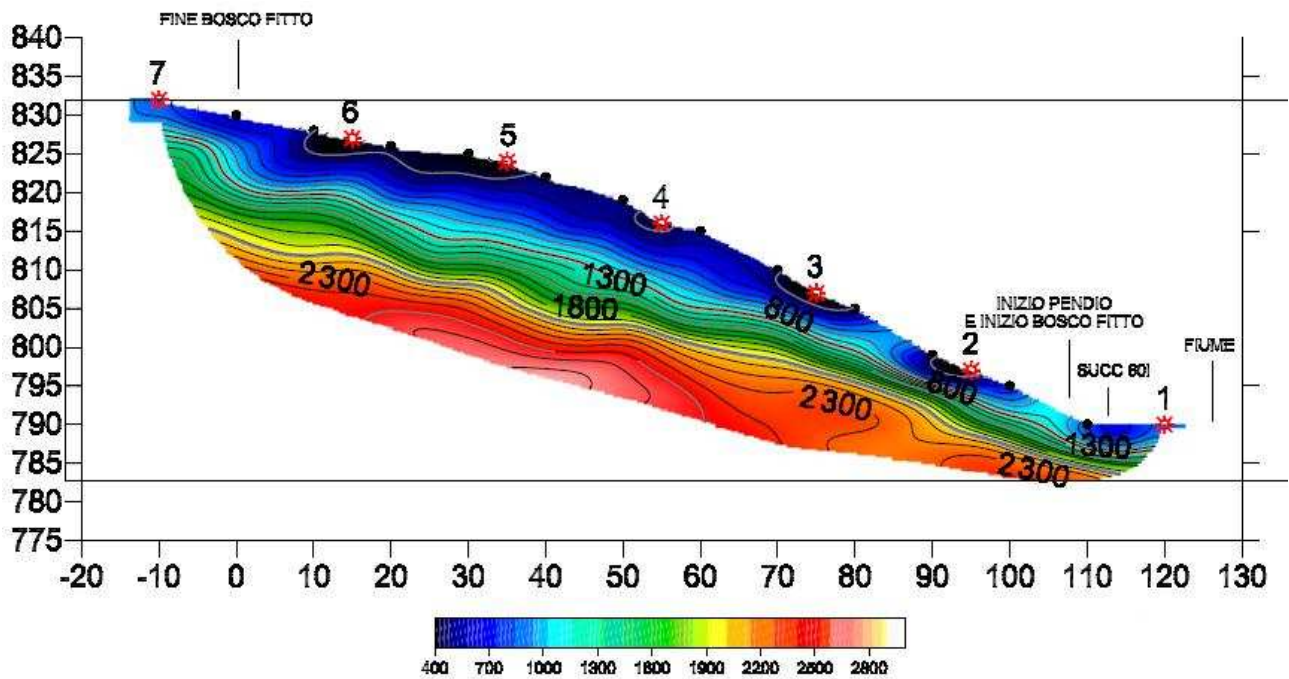


Fig. 8.26: Bozza dei risultati dello stendimento 1

Lo stendimento 2, che si estende da una quota di circa 830 m s.l.m. fino ad una quota di 854 m s.l.m., fa pensare ad uno strato di detrito meno spesso rispetto a quello evidenziato nello stendimento 1 (Fig. 8.27).

Lo stesso discorso vale per lo stendimento 3 (Fig. 8.28)

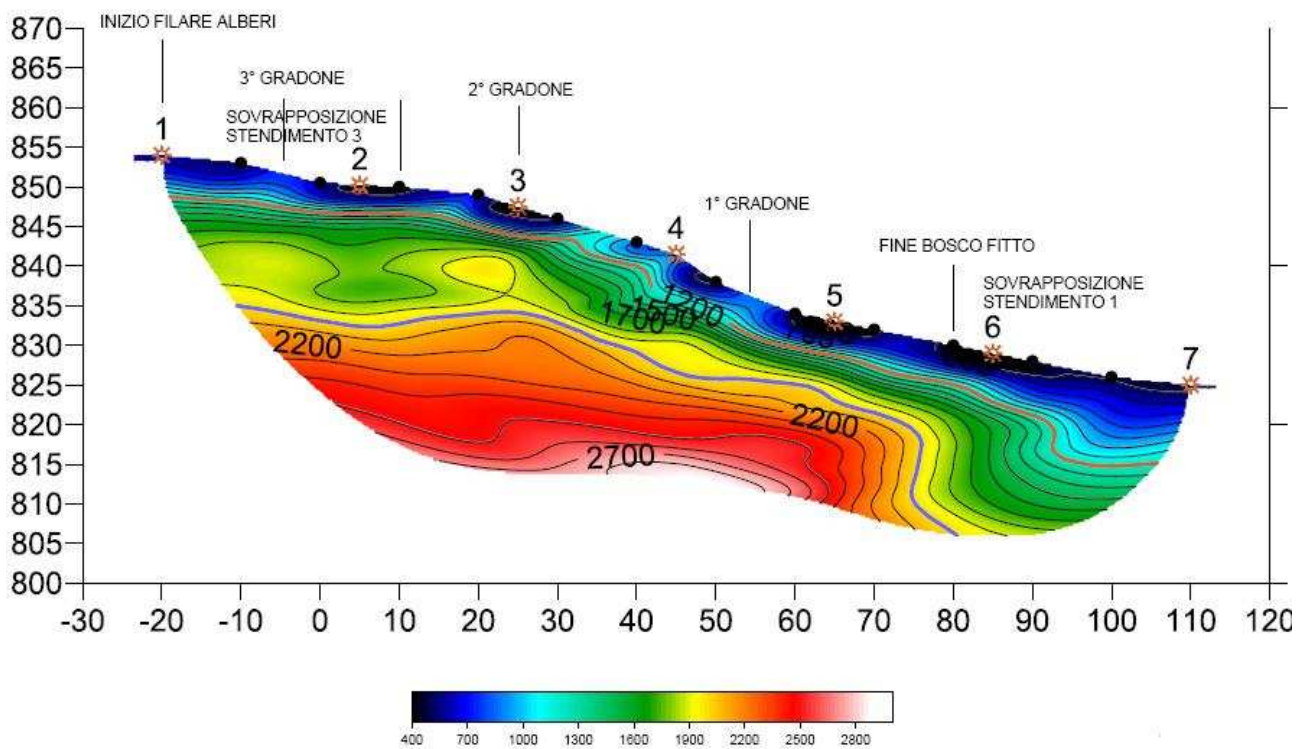


Fig. 8.27: Bozza dei risultati dello stendimento 2

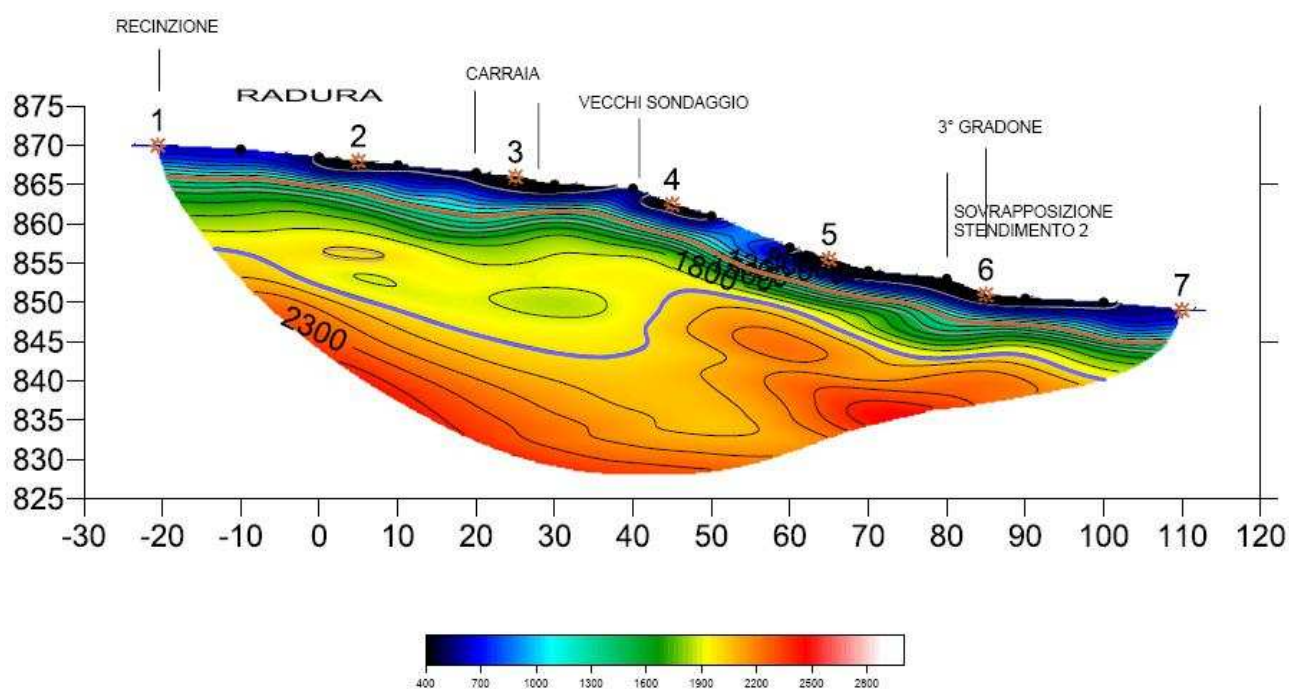


Fig. 8.28: Bozza dei risultati dello stendimento 3

I dati sono concordi con quelli del profilo stratigrafico ricostruito dall'analisi delle carote del sondaggio SUCC58 (situato nelle vicinanze dello stendimento 3) e con le deduzioni derivanti dall'analisi delle carote provenienti dal sondaggio SUCC60 (situato nei pressi dell'alveo del Torrente Liocca).

CAPITOLO 9

MODELLIZZAZIONE DEL FENOMENO FRANOSO

In questo capitolo verrà mostrata una modellizzazione bidimensionale del fenomeno franoso eseguita mediante il software Plaxis 2D.

Per effettuare una modellizzazione in 2D bisogna innanzitutto stabilire la sezione su cui effettuare la modellizzazione stessa: nel caso di un fenomeno franoso è opportuno scegliere la sezione che, in base all'analisi dei dati provenienti dal sistema di monitoraggio presente nella zona, risulta maggiormente soggetta agli spostamenti.

A questo fine, l'utilizzo di un sistema informativo geografico (GIS) è risultato molto utile per la creazione, la gestione e l'aggiornamento di una cartografia in grado di rappresentare l'ubicazione degli strumenti di monitoraggio presenti su tutto il versante di Succiso.

Con un GIS infatti risulta possibile integrare dati di diversa natura e con diversi significati, al fine di ottenere una visione abbastanza completa del problema: in questo modo la gestione e la consultazione dei dati riguardanti la frana viene notevolmente semplificata, a vantaggio di una più semplice e corretta interpretazione del fenomeno.

In particolare il sistema informativo geografico utilizzato per la rappresentazione e l'analisi del sistema di monitoraggio è il software ArcGis.

9.1 ARCGIS

Negli ultimi anni, grazie alla diminuzione dei costi, al miglioramento delle tecnologie e alla necessità crescente di utilizzare informazioni di tipo geografico per diverse finalità, abbiamo potuto assistere a una rapida evoluzione dei sistemi per il trattamento computerizzato dei dati geografici.

I maggiori problemi con cui ci confrontiamo nella nostra epoca, come disastri naturali, deforestazione, sovrappopolazione hanno tutti in comune una componente geografica, che un GIS è in grado di gestire ed analizzare efficacemente.

Questo tipo di tecnologie permette, infatti, di porre in relazione dati di diversa natura e introduce la possibilità di visualizzare i dati stessi su mappe, fornendone la posizione nello spazio e nel tempo.

In particolare, un Geographic Information System (GIS) può essere definito come un insieme di hardware, software e dati che ci permette di acquisire, registrare, visualizzare e analizzare diverse tipologie d'informazioni georeferenziate.

Importante è però ricordare che questo strumento, per operare efficacemente, richiede altre componenti, quali persone e procedure; inoltre è fondamentale la disponibilità e l'accuratezza dei dati, aspetto che va ad influenzare i risultati di richieste e analisi.

Si parla, quindi, di un sistema informatico in grado associare a ciascun elemento geografico una o più descrizioni alfanumeriche, che consente all'utente di interpretare ed analizzare i dati, rivelandone relazioni e comportamenti.

Il software GIS ha innumerevoli campi di applicazione, tra i quali si possono ricordare, ad esempio, la pianificazione, la gestione di risorse, beni immobiliari e infrastrutture, le analisi di mercato, la redazione di mappe di vario tipo e molte altre applicazioni.

Può essere considerato come uno strumento finalizzato alla risoluzione di particolari problematiche, in cui la componente geografica e geometrica dei dati a disposizione gioca un ruolo di particolare importanza, più efficace rispetto ai sistemi informativi tradizionali.

Le funzioni del GIS comprendono la gestione e il collegamento delle entità e degli attributi a esse riferiti: si può immaginare come un insieme di informazioni e dati disposti su diversi strati tematici, i layer, uniti tra loro dalla reciproca posizione geografica.

Gli oggetti rappresentati (entità), caratterizzati da una posizione nello spazio (georeferenziazione) e da una forma, che può essere rappresentata da strutture vettoriali o raster, vengono descritti attraverso attributi numerici o alfanumerici.

Ciascun utente può realizzare la sua applicazione GIS, secondo lo scopo e i risultati richiesti, definendo un modello di organizzazione, gestione e correlazione dei dati: risulta quindi di fondamentale importanza la definizione precisa degli obiettivi da raggiungere.

Nel caso in esame questo sistema informativo viene utilizzato allo scopo di creare una cartografia dell'area interessata dal dissesto per frana, mettendo in evidenza l'ubicazione dei diversi sistemi di monitoraggio presenti nella zona e riportando nella tabella degli attributi di ogni shapefile alcune informazioni come ad esempio lo spostamento annuale, la velocità media annua e l'azimut dello spostamento: avendo a disposizione tutte le informazioni relative alle diverse tipologie di sistemi di monitoraggio, è stato possibile individuare una sezione da utilizzare nella creazione del modello.

Gli shapefile raccolti sono stati rappresentati su un'ortofotografia: in questa fase di elaborazione sono risultate molto utili anche la Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000 e il Digital Terrain Model (D.T.M.) della zona in esame.

L'area di frana ritenuta attiva, individuata tenendo conto della zona in cui i diversi sistemi di monitoraggio hanno fatto registrare i massimi spostamenti e rappresentata su ortofoto mediante l'edit di uno shapefile di poligoni (Fig. 9.1), potrebbe presentare le seguenti dimensioni:

Tab. 9.1: caratteristiche geometriche della frana

Lunghezza	805 m
Larghezza massima	310 m
Larghezza minima	105 m
Area coinvolta	0,168 km ²

L'area di frana in questione coinvolge interamente gli abitati di Succiso Inferiore e Succiso di Mezzo.



Fig. 9.1: Rappresentazione su ortofotografia dell'ipotetica area di frana ritenuta attiva

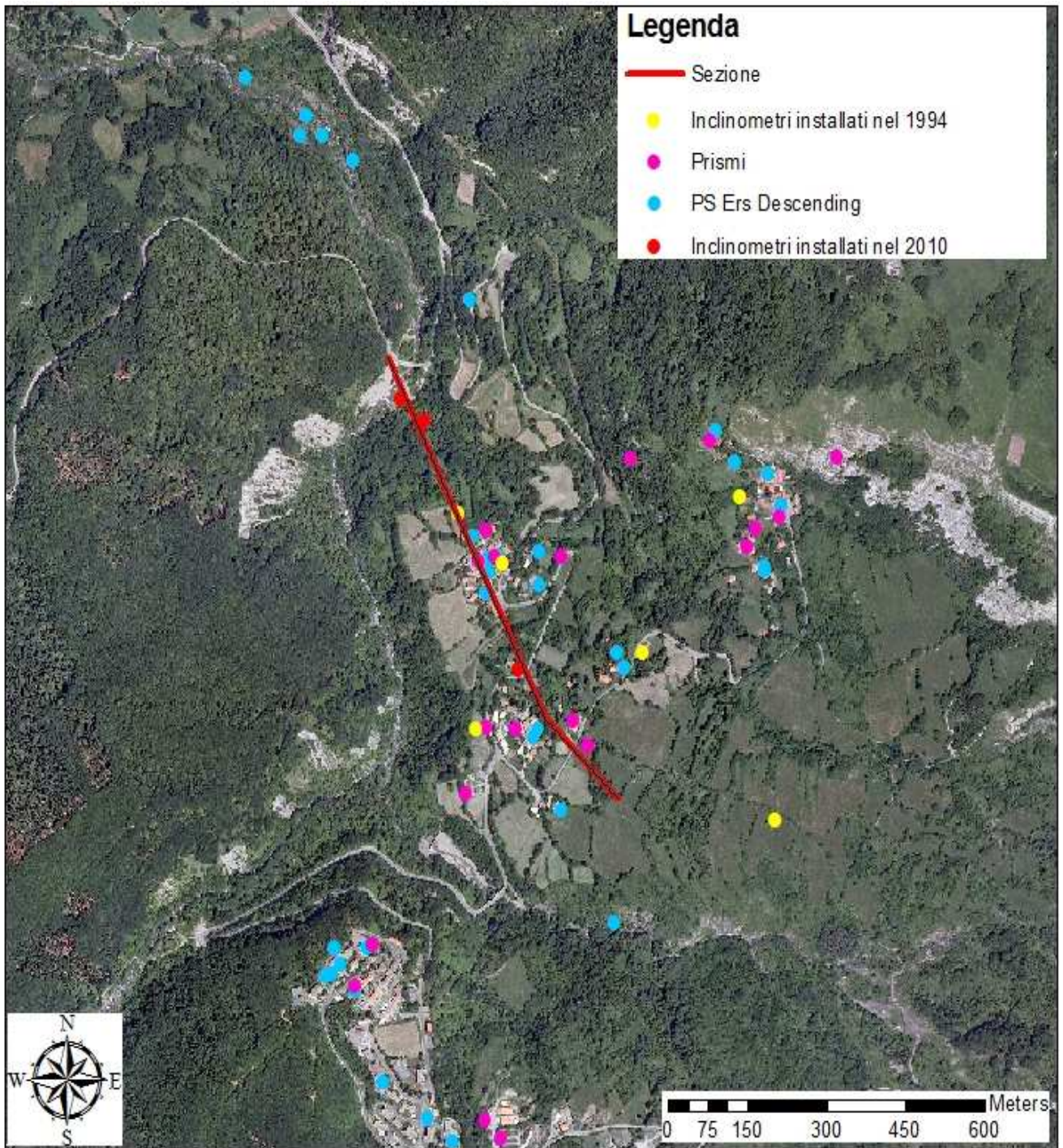
La sezione individuata (ovviamente ricadente all'interno dell'area di frana) parte dai margini della strada che collega Succiso Inferiore a Miscoso per arrivare fino alla fine dell'intera frazione di Succiso di Mezzo per una lunghezza complessiva di circa 880 m (Fig. 9.2).

Per tener conto degli effetti del Torrente Liocca nella successiva modellizzazione, si è ritenuto opportuno considerare anche il tratto che, dall'estremità N-W dell'area di frana, prosegue fino ai margini esterni della strada che collega Succiso Inferiore a Miscoso.

La sezione individuata è stata riportata su un ortofotografia mediante l'edit di uno shapefile polyline.

Sulla stessa ortofotografia sono rappresentati tutti i punti che fanno parte del sistema di monitoraggio che interessa l'intero versante di Succiso che, riepilogando, è di tipo:

- Radar satellitare;
- Topografico;
- Inclino metrico.



9.2 MODELLIZZAZIONE

Una volta individuata la sezione e avendo a disposizione il Digital Terrain Model (D.T.M.) è stato possibile ricreare qualitativamente il profilo della sezione mediante la toolbar 3D Analyst di ArcGis.

Successivamente sono stati importati in Microsoft Excel i dati del profilo stesso per renderli disponibili in un formato migliore per la successiva importazione nel software Plaxis.

Plaxis è un Software utilizzato per effettuare l'analisi delle deformazioni e della stabilità in svariate applicazioni di campo geotecnico; utilizza un modello bidimensionale agli elementi finiti.

Nota la sezione del versante presa in esame, il primo passo sarà quello di ricostruire il modello geometrico: il Plaxis permette di modellare la situazione reale con un modello simmetrico o con un modello asimmetrico: nel nostro caso il modello geometrico sarà non simmetrico.

Prima di passare alla costruzione del modello geometrico, il software ci chiede di impostare alcuni parametri generali (Fig. 9.3).

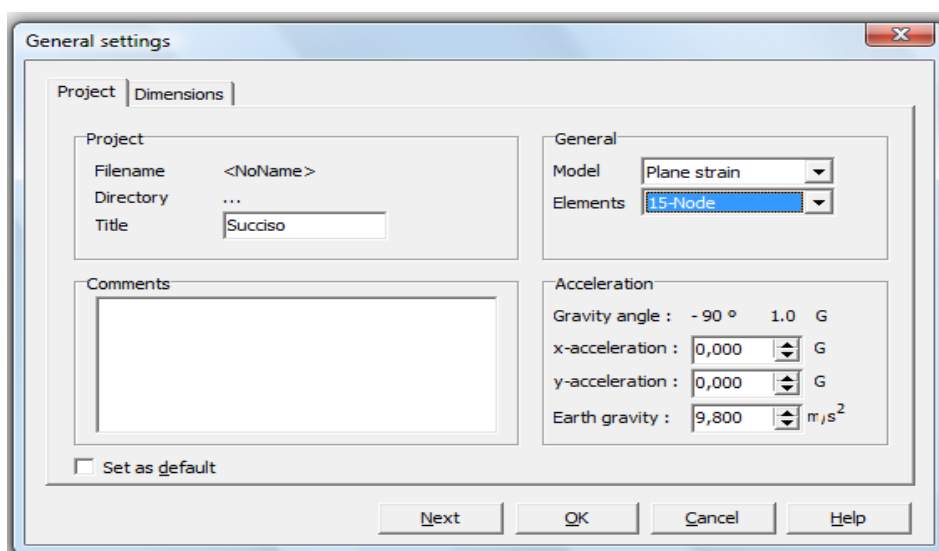


Fig. 9.3: Finestra delle impostazioni generali di progetto


Tra i parametri generali, nella voce “Elements” scegliamo “15-Node” per avere una maggiore accuratezza di calcolo.

Nella finestra delle impostazioni generali è possibile impostare le unità di misura di lunghezza (metri), forza (kN) e tempo (giorni) nonché le dimensioni della geometria ed alcune caratteristiche che riguardano la griglia (spaziatura e numero di intervalli).

Dopo l'impostazione dei parametri generali è possibile iniziare la costruzione del modello geometrico, il quale sarà costituito da tre componenti:

- 1) Punti;
- 2) Linee;
- 3) Aree.

Avendo il file di Microsoft Excel con tutte le coordinate dei punti della sezione (coordinata x = lunghezza, coordinata y = altezza), l'ideale sarebbe inserire nel modello geometrico tutti i punti: questo procedimento risulta però inopportuno se il numero di punti è molto elevato in quanto andrebbe ad influenzare le prestazioni del software rendendo i risultati difficilmente interpretabili. Pertanto si ritiene opportuno inserire nel modello geometrico un profilo rettificato della sezione.

Una volta selezionata la funzione Geometry line () i punti possono essere inseriti sia manualmente utilizzando il mouse o digitando le coordinate nell'apposita barra (Fig. 9.4).

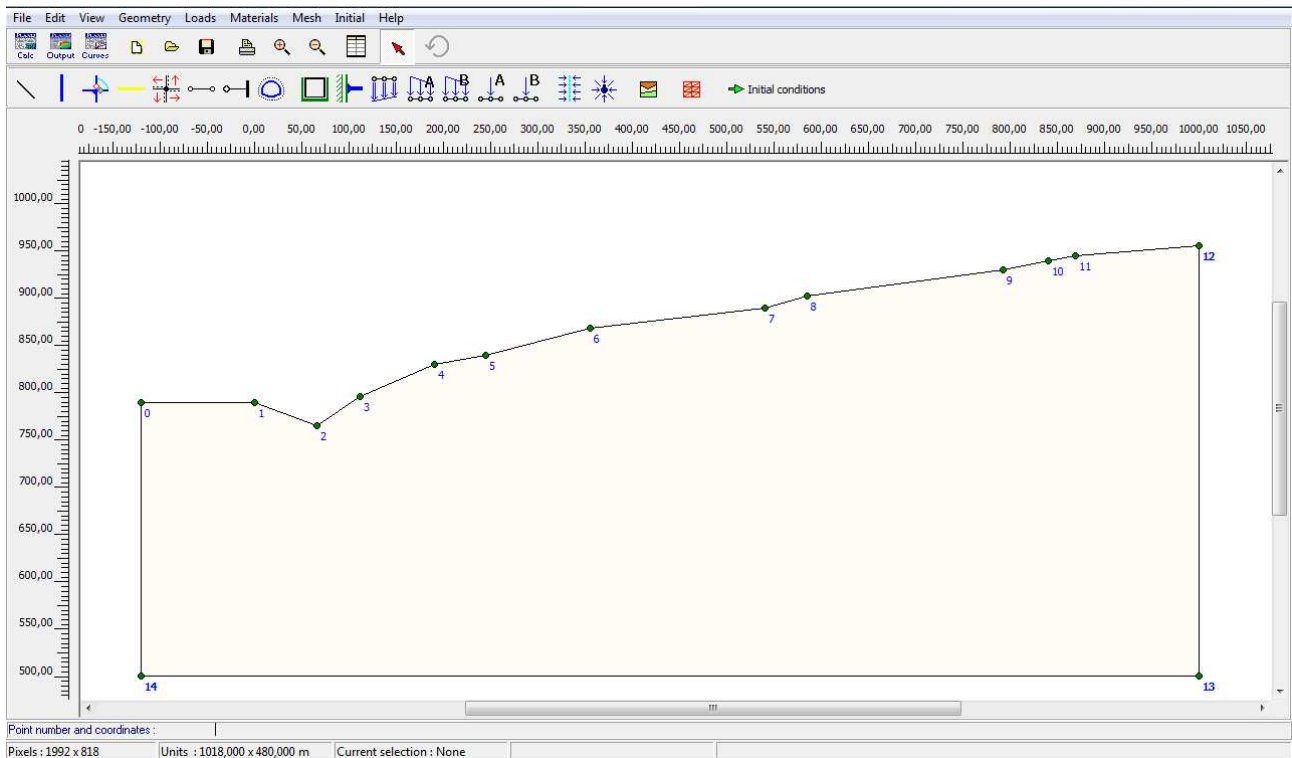




Fig. 9.4: Modello geometrico completo ricostruito in Plaxis

Dopo aver ricostruito il modello geometrico, il passo successivo è quello di assegnare le condizioni al contorno: nel software è presente la funzione “Standard fixities” () in grado di assegnarle automaticamente.

Lo step successivo (uno dei più delicati) consiste nell’attribuire al modello geometrico il materiale e di conseguenza le caratteristiche che lo contraddistinguono mediante la funzione “Material sets” ().

Si è ritenuto opportuno realizzare tre modelli aventi grado di complessità crescente in relazione al modello geometrico, le tipologie di materiale e la conseguente complessità di calcolo:

- Modello 1;
- Modello 2;
- Modello 3.

9.2.1 MODELLO 1

Il modello 1 rappresenta il caso più semplice, ovvero al modello geometrico è attribuita una sola tipologia di materiale.

Al modello geometrico verrà assegnato inizialmente un materiale elastico lineare (per considerare solamente l'effetto della gravità nelle prime fasi di calcolo) con le caratteristiche di un substrato alterato e successivamente un materiale assimilabile a detrito che si comporta secondo il principio di Mohr-Coulomb; in entrambi i casi il materiale sarà di tipo drenato.

Le caratteristiche di ciascun materiale (Tab. 9.2 e 9.3) sono state ricavate da prove di laboratorio effettuate sulle carote provenienti da un sondaggio ubicato in prossimità della sezione (nello specifico il sondaggio SUCC47) e dati provenienti dalla letteratura scientifica (relazione tecnico-geologica del dottor Bertolini, 1995).


Tab. 9.2: Caratteristiche geotecniche del substrato alterato (materiale elastico lineare)

Parametri	Simbolo	Valore	Unità di misura
Peso unitario del suolo sopra il livello freatico	γ_{unsat}	18	kN/m ³
Peso unitario del suolo sotto il livello freatico	γ_{sat}	21	kN/m ³
Permeabilità in direzione orizzontale	k_x	0,0001	m/giorno
Permeabilità in direzione verticale	k_y	0,0001	m/giorno
Modulo di Young (valore costante)	E_{ref}	500000	kN/m ²
Coefficiente di Poisson (valore costante)	ν	0,3	adimensionale
Modulo di taglio (assegnato dal software)	G_{ref}	192300	kN/m ²
Modulo edometrico (assegnato dal software)	E_{oed}	673100	kN/m ²

Tab. 9.3: Caratteristiche geotecniche del detrito (principio di Mohr-Coulomb)

Parametri	Simbolo	Valore	Unità di misura
Peso unitario del suolo sopra il livello freatico	γ_{unsat}	18	kN/m ³
Peso unitario del suolo sotto il livello freatico	γ_{sat}	21,2	kN/m ³
Permeabilità in direzione orizzontale	k_x	0,0001	m/giorno
Permeabilità in direzione verticale	k_y	0,0001	m/giorno
Modulo di Young (valore costante)	E_{ref}	200000	kN/m ²
Coefficiente di Poisson (valore costante)	ν	0,3	adimensionale
Modulo di taglio (assegnato dal software)	G_{ref}	76920	kN/m ²
Modulo edometrico (assegnato dal software)	E_{oed}	269200	kN/m ²
Coesione	c_{ref}	13	kN/m ²
Angolo di attrito	ϕ	22	°
Angolo di dilatanza	ψ	0	°

Dopo aver assegnato il materiale in tutte le aree (in una sola area in questo caso), il passo successivo sarà quello di dividere l'area in una griglia di elementi finiti.

Con il software Plaxis è possibile effettuare questa operazione mediante la funzione "Mesh generation" ().

In una griglia di elementi finiti, possono essere individuate tre tipologie di componenti:

- 1) **Elementi:** durante la generazione della griglia, l'area è divisa in elementi triangolari. Nel nostro caso ogni elemento triangolare sarà caratterizzato da 15 nodi al fine di poter effettuare un calcolo più accurato degli sforzi; in alternativa è possibile suddividere ogni elemento triangolare in 6 nodi per poter effettuare un'operazione di calcolo più veloce ma molto meno accurata.
- 2) **Nodi:** la distribuzione dei nodi (15 nel nostro caso) in ogni elemento triangolare è mostrata in Fig. 9.5.

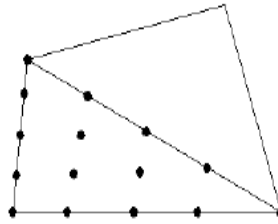


Fig. 9.5: Distribuzione dei nodi in ogni elemento triangolare della griglia

Gli elementi adiacenti sono connessi attraverso i loro nodi in comune.

In un calcolo agli elementi finiti gli spostamenti lungo la direzione x (u_x) e lungo la direzione y (u_y) sono calcolati ai nodi

- 3) **Punti di stress:** rispetto agli spostamenti, le tensioni sono calcolate tramite integrazione gaussiana nei punti di stress piuttosto che ai nodi. Un elemento triangolare a 15 nodi contiene 12 punti di stress (vedi Fig. 9.6).

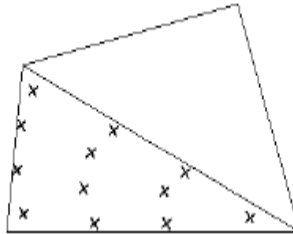


Fig. 9.6: Distribuzione dei punti di stress in un elemento triangolare a 15 nodi

Utilizzando la funzione “Generate mesh”, il software da in output la griglia degli elementi finiti (Fig. 9.7).

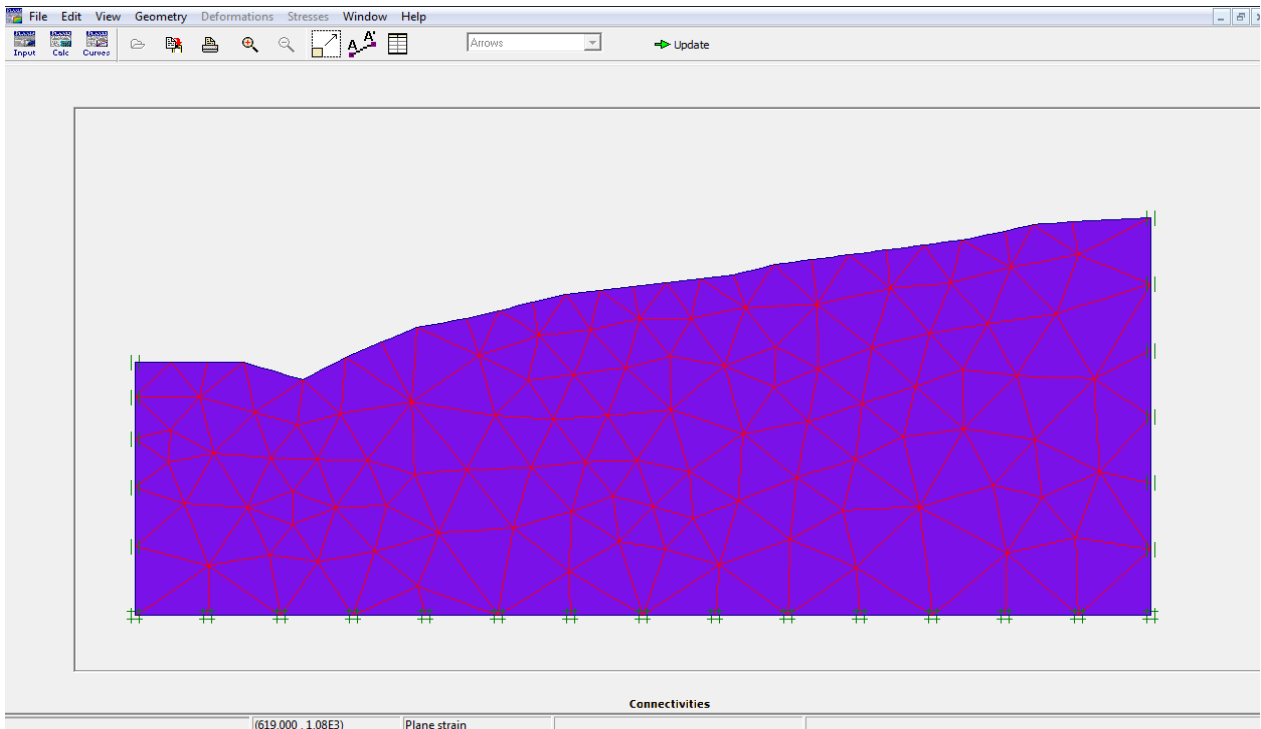



Fig. 9.7: Griglia degli elementi finiti generata dal software

Dopo aver tracciato la griglia degli elementi finiti sarà possibile definire le condizioni iniziali. Per generare le pressioni dell'acqua è necessario definire un livello freatico mediante la funzione "Phreatic level" ().

Nel tracciare il livello freatico (Fig. 9.8) si tiene conto del Torrente Liocca a valle e dei valori medi registrati dai piezometri a monte.

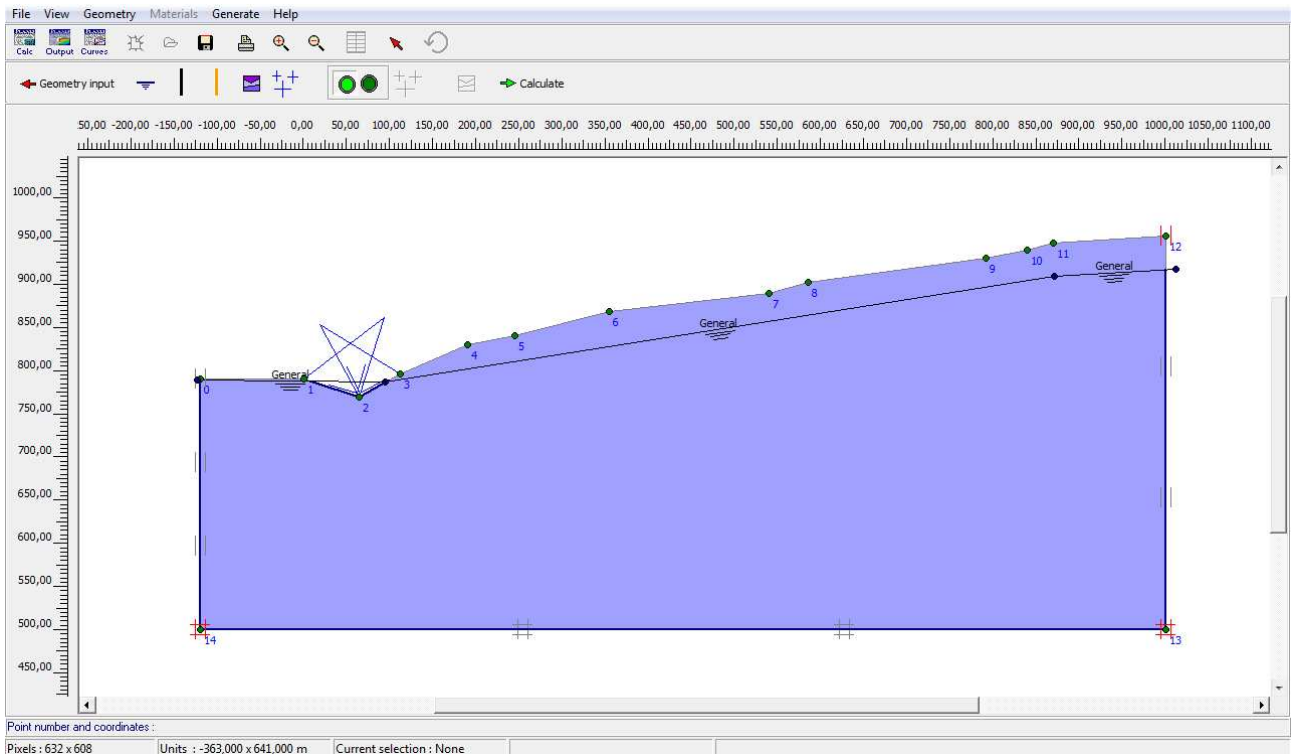



Fig. 9.8: Livello di falda tracciato con la funzione "Phreatic level"

Una volta tracciato il livello freatico è possibile calcolare la distribuzione delle pressioni dell'acqua (Fig. 9.9) mediante la funzione “Generate water pressures” ().

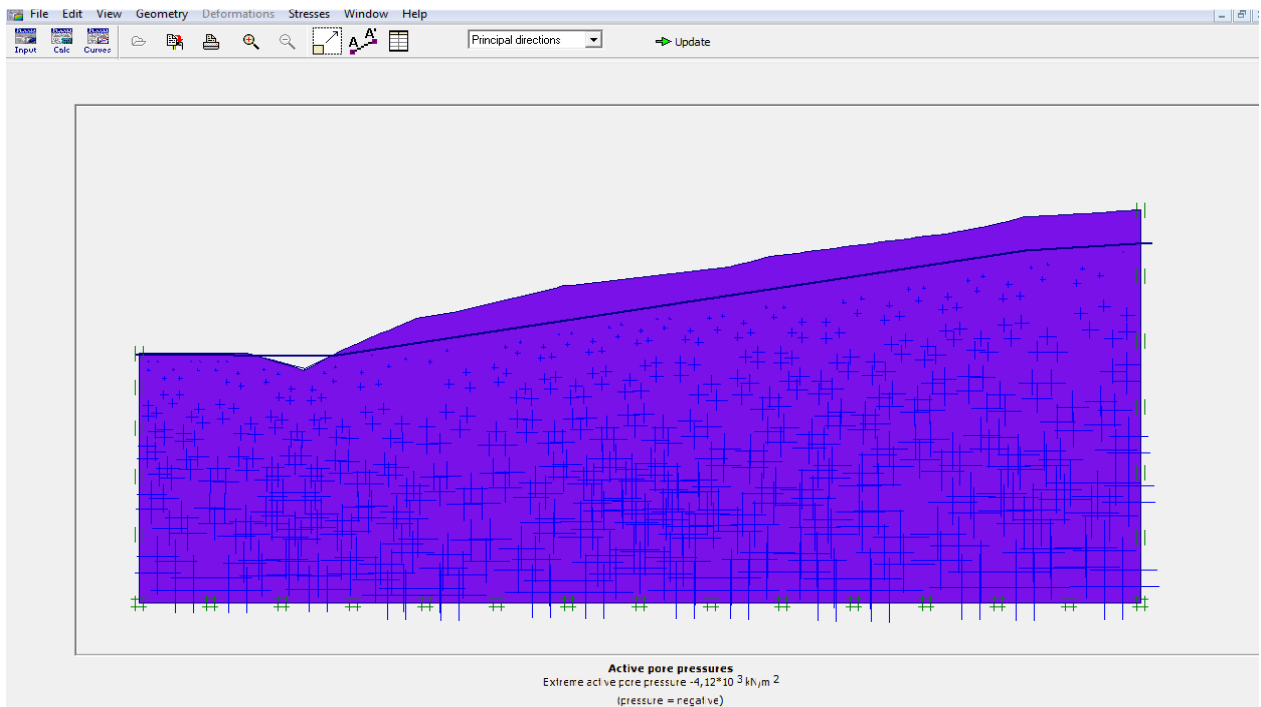



Fig. 9.9: Distribuzione delle pressioni esercitate dall'acqua

Dopo aver generato le pressioni dell'acqua, per completare le condizioni iniziali e con esse anche i dati in input del modello, sarà necessario generare gli sforzi iniziali (Fig. 9.10) mediante la funzione “Generate initial stresses” ().

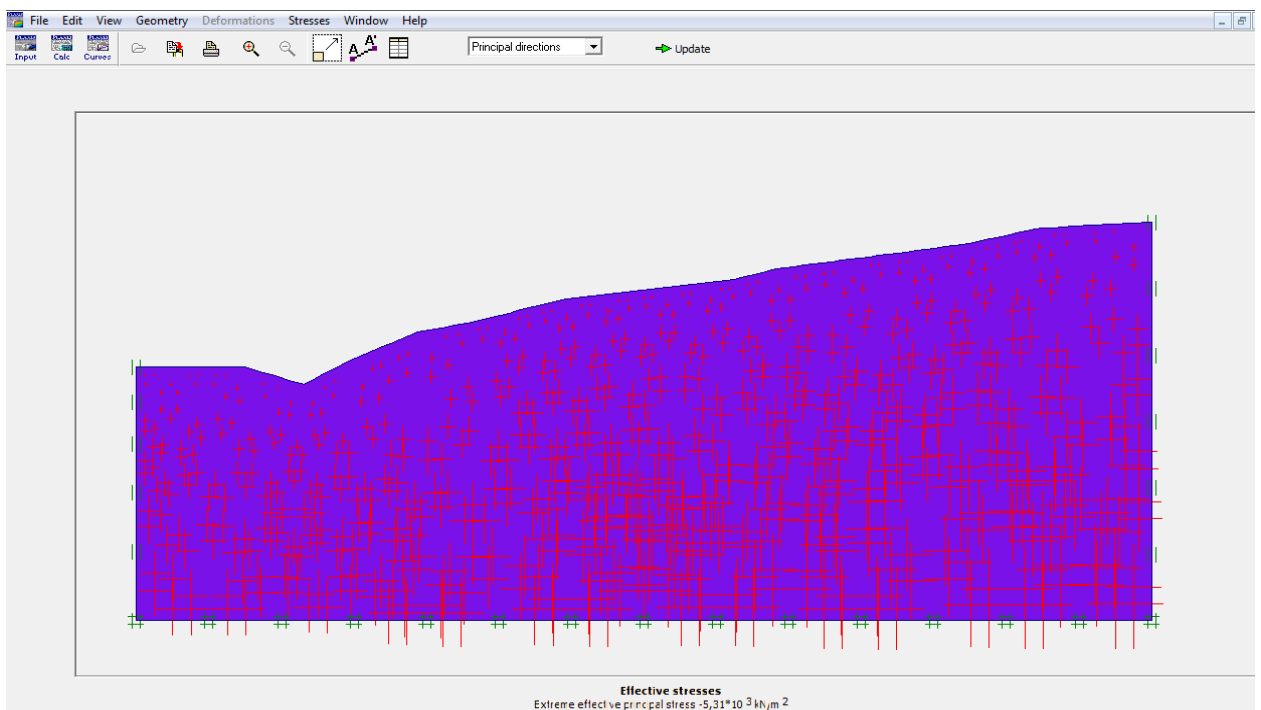


Fig. 9.10: Distribuzione degli sforzi iniziali

Con la generazione degli sforzi iniziali si conclude la fase di input del software: il passo successivo è rappresentato dalla fase di calcolo.

Il calcolo è stata eseguito in quattro fasi:

- 1) **Fase iniziale:** rappresenta la situazione iniziale di calcolo come definita nella precedente fase di input delle condizioni iniziali.
- 2) **Gravità:** il calcolo, eseguito in modalità plastica, considera la sezione costituita da materiale elastico-lineare (caratteristiche in Tab. 9.2).
Il calcolo plastico effettua un'analisi delle deformazioni elasto-plastiche non considerando l'attenuazione della pressione nei pori nel tempo (Fig. 9.11).

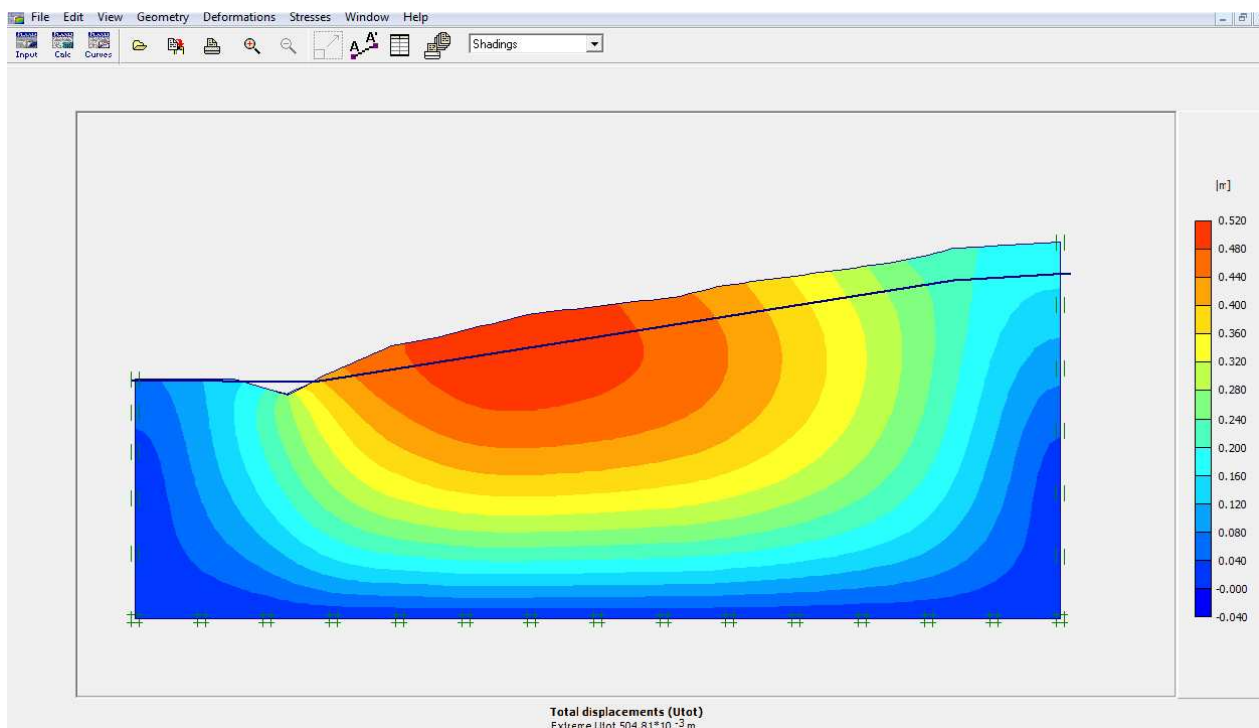


Fig. 9.11: Rappresentazione degli spostamenti totali derivanti dalle operazioni di calcolo della seconda fase

- 3) **Cambio di materiale:** il calcolo, anch'esso in modalità plastica, non tiene conto degli spostamenti derivanti dalla fase precedente (Fig. 9.12).
Utilizzando la modalità "Staged construction" è possibile cambiare la geometria del dato in input, nonché assegnare al modello geometrico un diverso materiale e un livello di falda differente; nel nostro caso al modello geometrico è stato assegnato un materiale che si comporta seguendo il principio di Mohr-Coulomb (caratteristiche in Tab. 9.3).

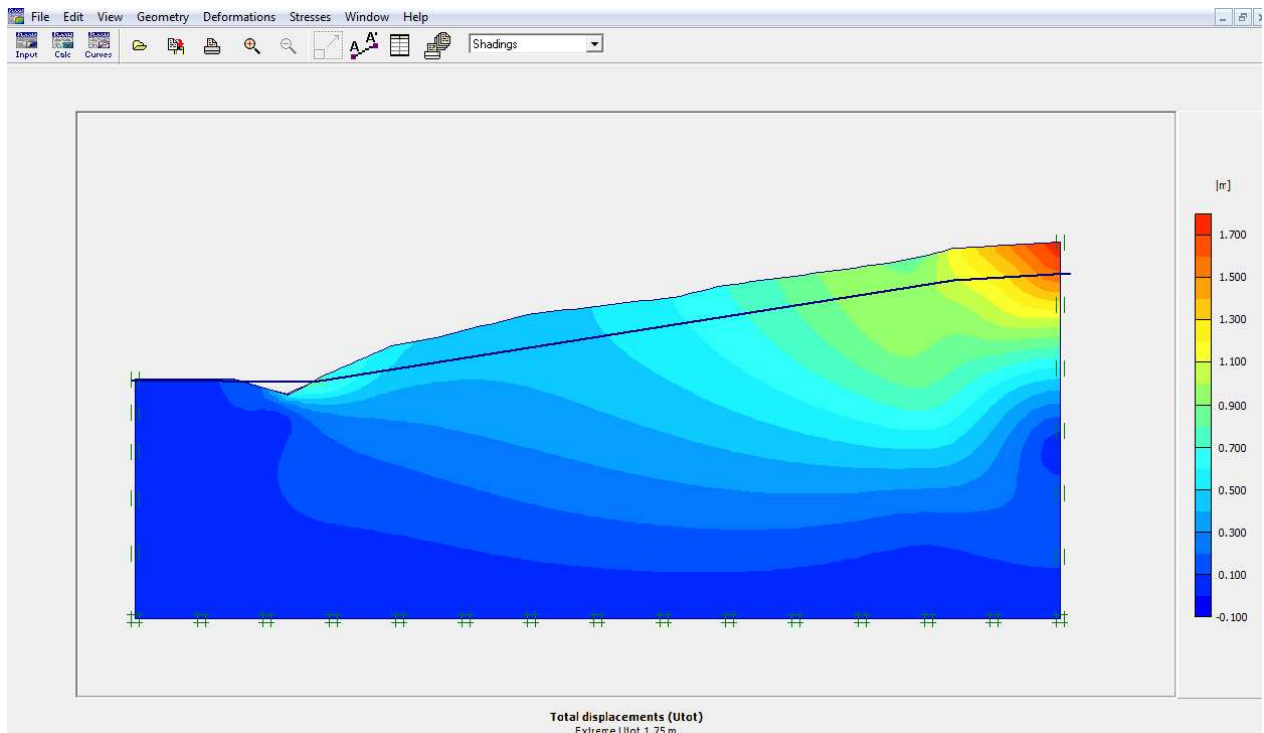


Fig. 9.12: Rappresentazione degli spostamenti totali derivanti dalle operazioni di calcolo della terza fase

È interessante notare che gli spostamenti totali sono di maggiore entità nella porzione superiore del modello, per poi diminuire nella porzione intermedia ed intensificarsi nuovamente sul piede del modello: tale dato è concorde con quelli derivanti dalla rete di monitoraggio topografico e dai dati satellitari, i quali evidenziano maggiori spostamenti nella frazione di Succiso di Mezzo (corrisponde alla porzione superiore del nostro modello), spostamenti meno accentuati nella frazione di Succiso Inferiore (corrisponde alla porzione intermedia del modello) e spostamenti di una certa entità in prossimità dell'alveo del Torrente Liocca (corrisponde alla porzione inferiore del modello).

Gli spostamenti forniti dal calcolo sul modello sono da interpretare in chiave puramente indicativa, in quanto l'entità degli spostamenti stessi non è paragonabile alla situazione reale.

D'altronde c'è da considerare che l'impostazione di un modello caratterizzato da una sola tipologia di materiale si allontana dalla situazione reale presente sul versante.

- 4) **Fattore di sicurezza:** il calcolo (plastico) tiene conto dei risultati della fase precedente e calcola il fattore di sicurezza.

Infatti utilizzando la modalità “phi-c reduction” il software calcola il fattore di sicurezza globale (ΣMsf):

$$\frac{c}{c_r} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_r} = \Sigma Msf$$

dove c e φ sono i valori di coesione e angolo di attrito inseriti nelle caratteristiche del materiale nella fase di input.

Pertanto noto il fattore di sicurezza globale ed i valori di coesione ed angolo di attrito inseriti precedentemente nella fase di input, è possibile ottenere i valori di coesione e angolo di attrito in grado di garantire la condizione di equilibrio.

Nell'output di calcolo delle precedenti fasi sono stati rappresentati gli spostamenti totali, mentre in questa fase si ritiene opportuno riportare in output l'ubicazione dei punti plastici (Fig. 9.13).

I punti plastici sono punti di stress in stato plastico riportati nella sezione indeformata: nel nostro caso rappresentano i punti situati sulla superficie di Mohr con sviluppo a rottura.

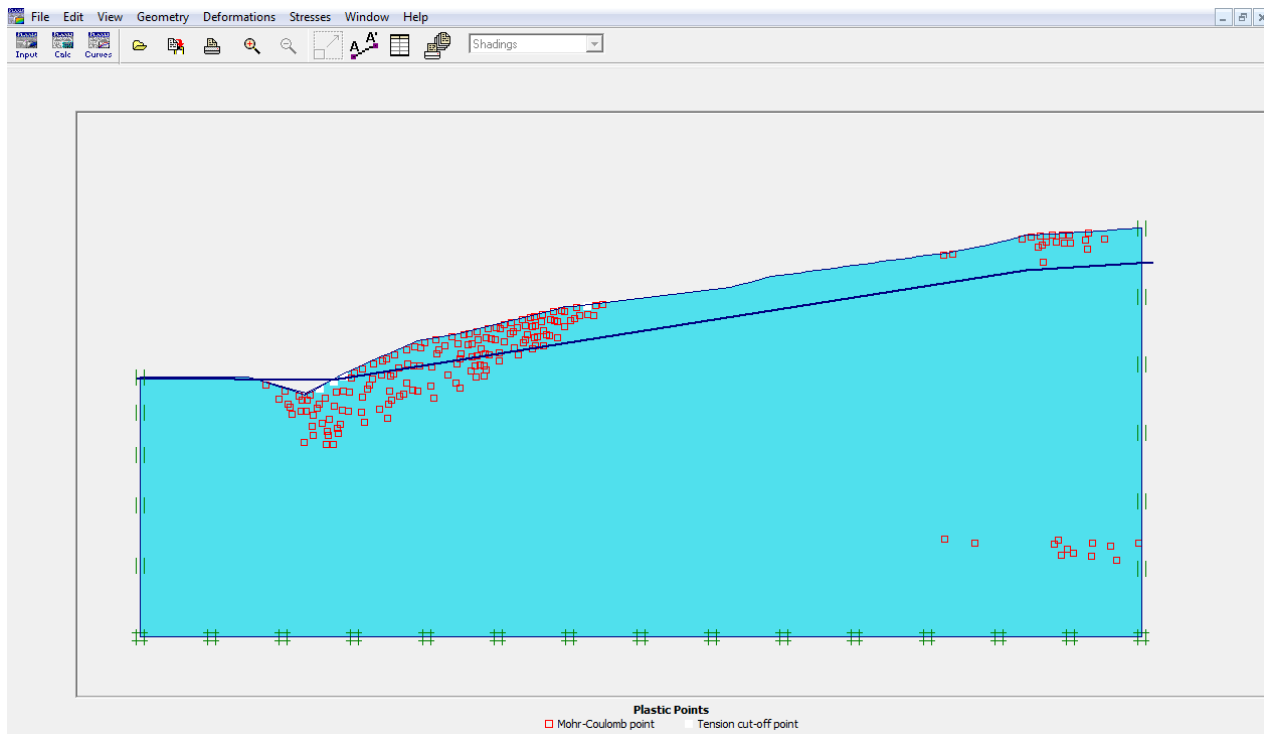


Fig. 9.13: Ubicazione dei punti plastici derivanti dalle operazioni di calcolo della quarta fase

Dalla Fig. 9.13 si deduce che la maggior parte dei punti plastici sono situati nella porzione intermedia - inferiore del modello.

Il modello 1, pur allontanandosi di molto dalla situazione reale, fornisce risultati interessanti dal punto di vista degli spostamenti totali e dell'andamento delle deformazioni.

9.2.2 MODELLO 2

Il modello 2, rispetto al modello precedente, si avvicina maggiormente alla situazione reale del versante in quanto al modello geometrico sono contemporaneamente attribuite due tipologie di materiale, in quanto sia la sismica a rifrazione che l'analisi delle carote dei sondaggi hanno evidenziato un netto cambio di litologia ad una certa profondità.

In particolare al modello geometrico verrà assegnato inizialmente un materiale elastico lineare (per considerare solamente l'effetto della gravità nelle prime fasi di calcolo) con le caratteristiche di un detrito nella porzione superiore e di substrato nella porzione inferiore; successivamente al modello geometrico verranno attribuite due tipologie di materiale (sia nella porzione inferiore che in quella superiore) che si comportano secondo il principio di Mohr-Coulomb.

In ogni caso il materiale sarà di tipo drenato.

Come nel caso precedente, le caratteristiche di ciascun materiale sono state ricavate da prove di laboratorio effettuate sulle carote provenienti dal sondaggio SUCC47 e da dati provenienti dalla letteratura scientifica (relazione tecnico-geologica del dottor Bertolini, 1995).

Nel complesso (considerando le diverse fasi di calcolo) al modello geometrico verranno attribuite quattro tipologie di materiale, di cui una già trattate nel modello precedente:

- 1) Detrito con caratteristiche elastico-lineari nella porzione superiore del modello (Tab. 9.4).

Tab. 9.4: Caratteristiche geotecniche del detrito (elastico lineare)

Parametri	Simbolo	Valore	Unità di misura
Peso unitario del suolo sopra il livello freatico	γ_{unsat}	18	kN/m ³
Peso unitario del suolo sotto il livello freatico	γ_{sat}	22	kN/m ³
Permeabilità in direzione orizzontale	k_x	0,0001	m/giorno
Permeabilità in direzione verticale	k_y	0,0001	m/giorno
Modulo di Young (valore costante)	E_{ref}	200000	kN/m ²
Coefficiente di Poisson (valore costante)	ν	0,3	adimensionale
Modulo di taglio (assegnato dal software)	G_{ref}	76920	kN/m ²
Modulo edometrico (assegnato dal software)	E_{oed}	269200	kN/m ²

- 2) Substrato (riconducibile alle Argille e Calcari di Canetolo) con caratteristiche elastico lineari nella porzione inferiore del modello (Tab. 9.5).


Tab. 9.5: Caratteristiche geotecniche del substrato (elastico lineare)

Parametri	Simbolo	Valore	Unità di misura
Peso unitario del suolo sopra il livello freatico	γ_{unsat}	21	kN/m ³
Peso unitario del suolo sotto il livello freatico	γ_{sat}	23	kN/m ³
Permeabilità in direzione orizzontale	k_x	0,0001	m/giorno
Permeabilità in direzione verticale	k_y	0,0001	m/giorno
Modulo di Young (valore costante)	E_{ref}	500000	kN/m ²
Coefficiente di Poisson (valore costante)	ν	0,3	adimensionale
Modulo di taglio (assegnato dal software)	G_{ref}	192300	kN/m ²
Modulo edometrico (assegnato dal software)	E_{oed}	673100	kN/m ²

- 3) Detrito aventi le caratteristiche del principio di Mohr-Coulomb applicato nella porzione superiore del modello (vedi modello 1, Tab. 9.3).
- 4) Substrato (riconducibile alle Argille e Calcari di Canetolo) con caratteristiche riconducibili al principio di Mohr-Coulomb nella porzione inferiore del modello (Tab. 9.6).

Tab. 9.6: Caratteristiche geotecniche del substrato (principio di Mohr-Coulomb)

Parametri	Simbolo	Valore	Unità di misura
Peso unitario del suolo sopra il livello freatico	γ_{unsat}	21	kN/m ³
Peso unitario del suolo sotto il livello freatico	γ_{sat}	23	kN/m ³
Permeabilità in direzione orizzontale	k_x	0,0001	m/giorno
Permeabilità in direzione verticale	k_y	0,0001	m/giorno
Modulo di Young (valore costante)	E_{ref}	500000	kN/m ²
Coefficiente di Poisson (valore costante)	ν	0,3	adimensionale
Modulo di taglio (assegnato dal software)	G_{ref}	192300	kN/m ²
Modulo edometrico (assegnato dal software)	E_{oad}	673100	kN/m ²
Coesione	c_{ref}	78	kN/m ²
Angolo di attrito	ϕ	20	°
Angolo di dilatanza	ψ	0	°

Dopo aver assegnato il materiale in tutte le aree (in due aree in questo caso), il passo successivo sarà quello di dividere l'area in una griglia di elementi finiti (Fig. 9.14) tramite la funzione "Mesh generation" ().

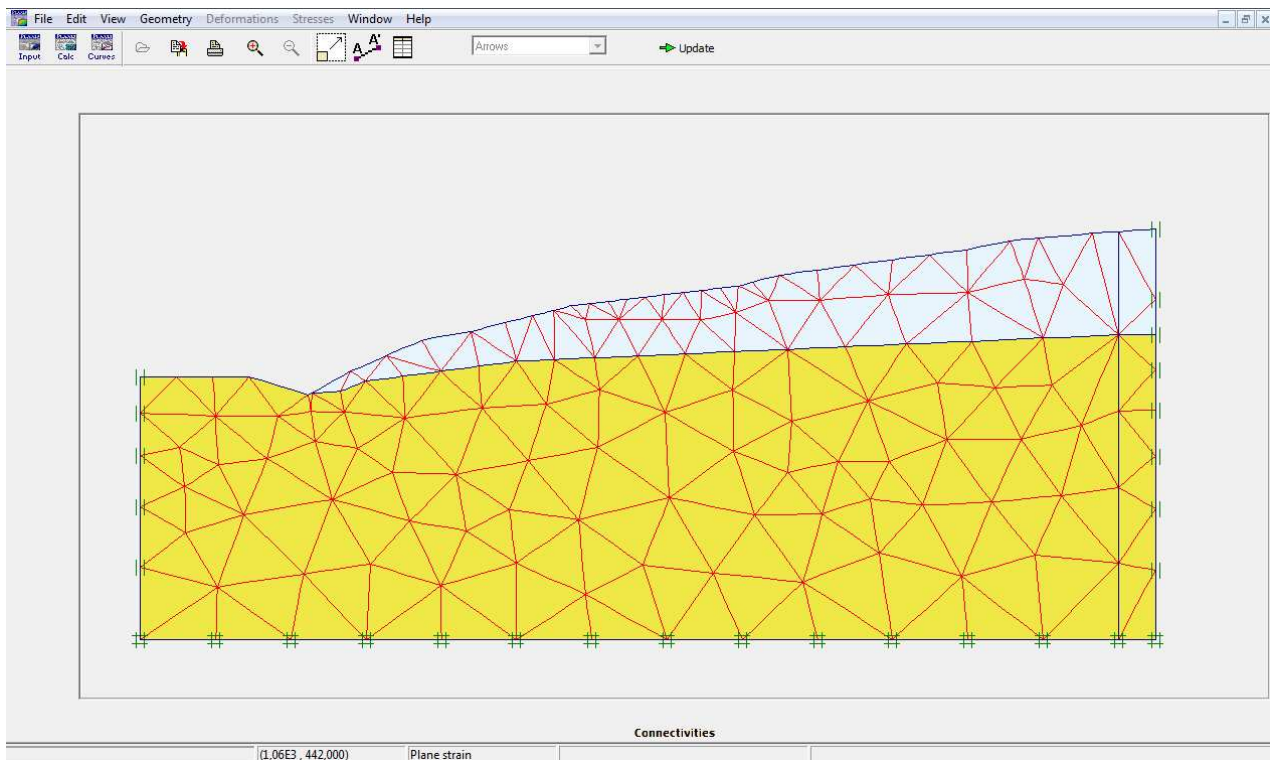




Fig. 9.14: Griglia degli elementi finiti generata dal software

Una volta tracciata la griglia degli elementi finiti sarà possibile definire le condizioni iniziali: questa volta non sarà necessario tracciare la linea di falda in quanto il software utilizza quella tracciata precedentemente nel modello 1.

Pertanto si passa direttamente al calcolo delle pressioni dell'acqua (Fig. 9.15) tramite la funzione "Generate water pressures" () e al calcolo degli sforzi iniziali (Fig. 9.16) mediante la funzione "Generate initial stresses" ().

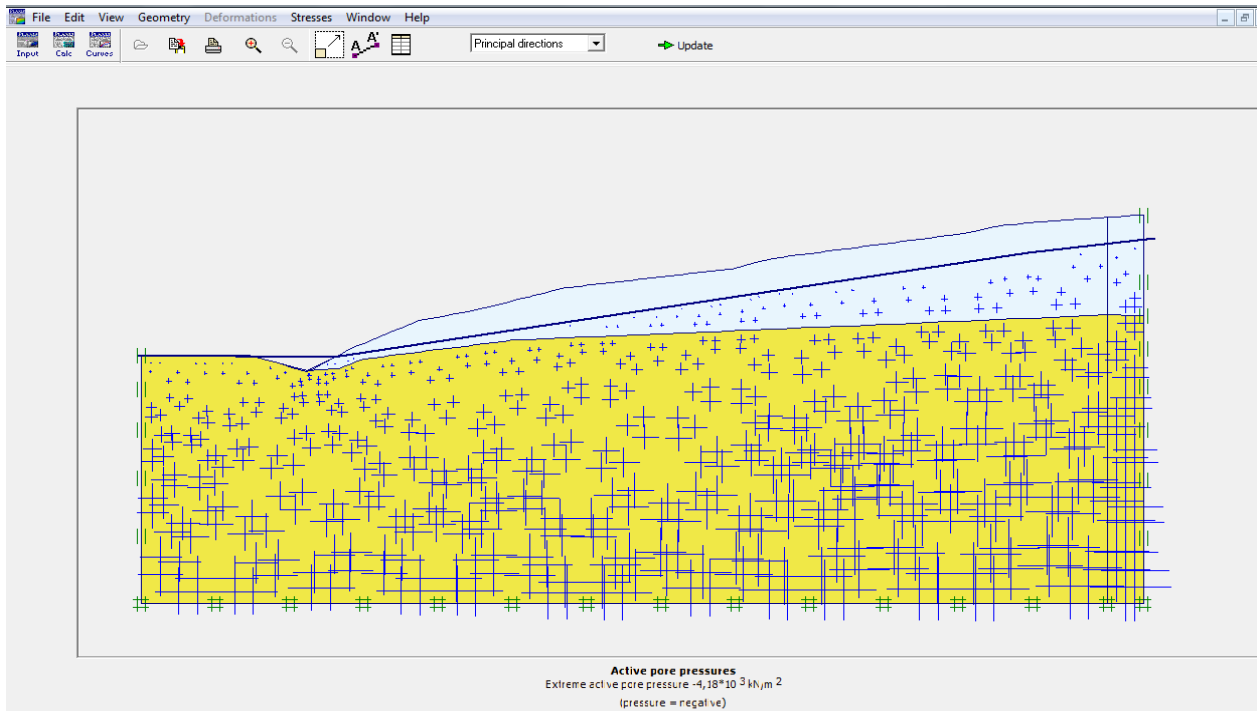


Fig. 9.15: Pressioni esercitate dall'acqua

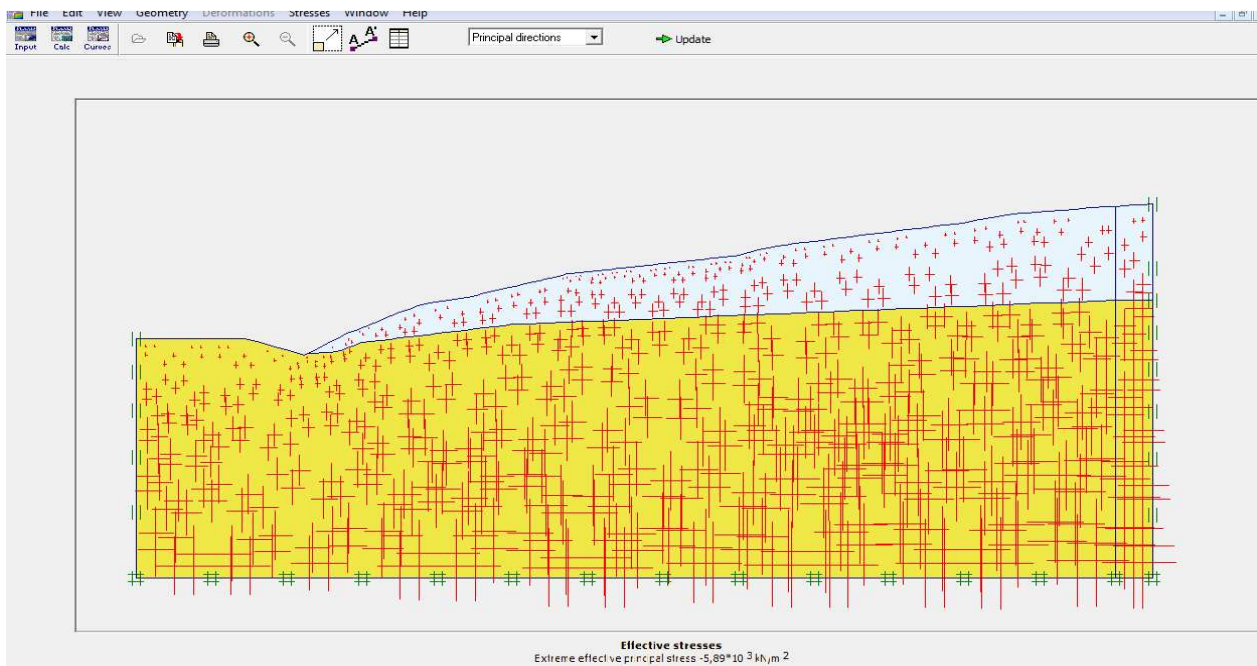


Fig. 9.16: Distribuzione degli sforzi iniziali

Terminata la fase di input, si passa direttamente alla fase di calcolo che, come il modello precedente, è strutturata in quattro fasi (valgono gli stessi principi teorici e le stesse modalità di calcolo):

- 1) **Fase iniziale:** rispetto al modello precedente, avremo un modello caratterizzato da materiale avente caratteristiche meccaniche migliori nella porzione inferiore.
- 2) **Gravità:** entrambe le porzioni del modello sono caratterizzate da materiale a comportamento elastico-lineare (risultati di output in Fig. 9.17)

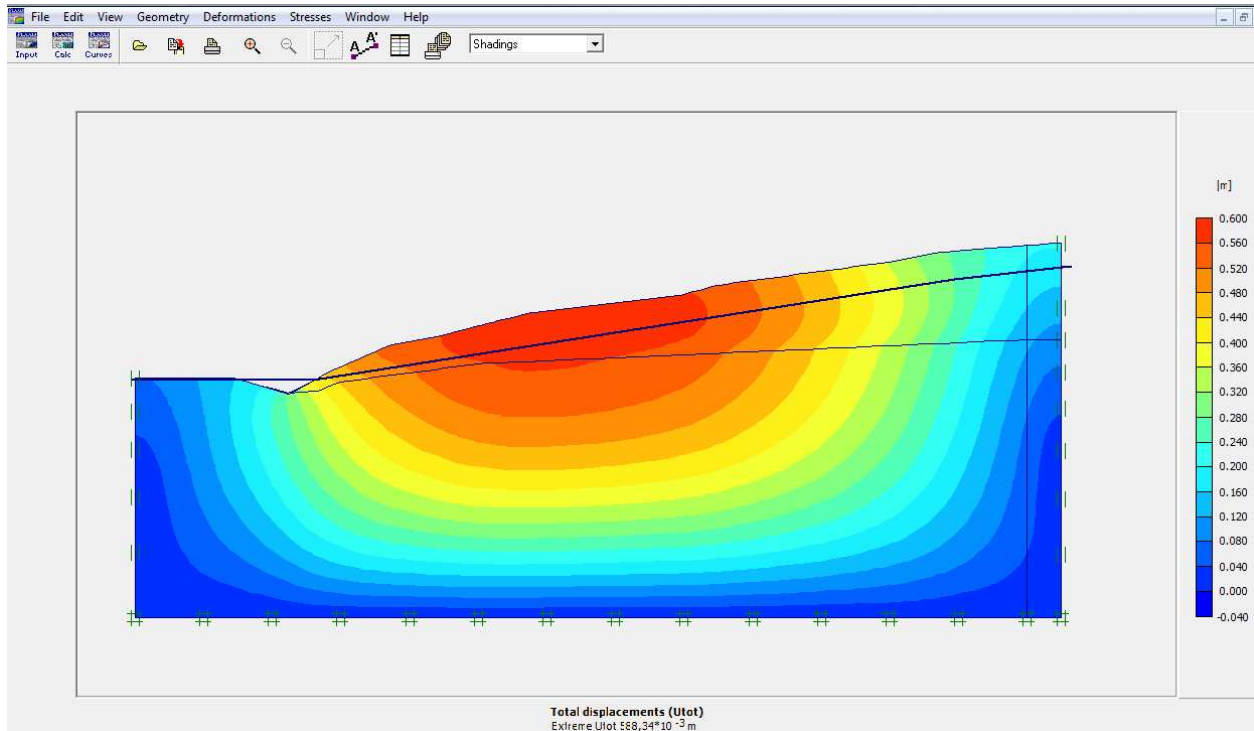


Fig. 9.17: Rappresentazione degli spostamenti totali derivanti dalle operazioni di calcolo della seconda fase

- 3) **Cambio di materiale:** selezionando la modalità “Staged construction” è possibile modificare la geometria del modello e l’assegnazione di diversi materiali per ogni area. Nel nostro caso attribuiamo detrito alla porzione superiore del modello e substrato alla porzione inferiore (rispetto alla fase 2 non avranno più comportamento elastico-lineare ma delle caratteristiche inerenti al principio di Mohr-Coulomb).

I risultati di output sono mostrati in Fig. 9.18: rispetto ai risultati ottenuti nella stessa fase del precedente modello, è possibile notare che l’entità degli spostamenti si dimezza (situazione meglio confrontabile con la situazione reale), ma allo stesso tempo la loro distribuzione ci fornisce indicazioni lontane dalla situazione reale.

Pertanto, almeno fino ad ora, il modello 2 ci fornisce delle indicazioni maggiormente confrontabili con la situazione reale dal punto di vista dell’entità degli spostamenti, ma allo stesso tempo indicazioni lontane dal caso reale per quel che riguarda la distribuzione degli spostamenti stessi sul versante, dove il modello 1 risulta al momento più efficace.

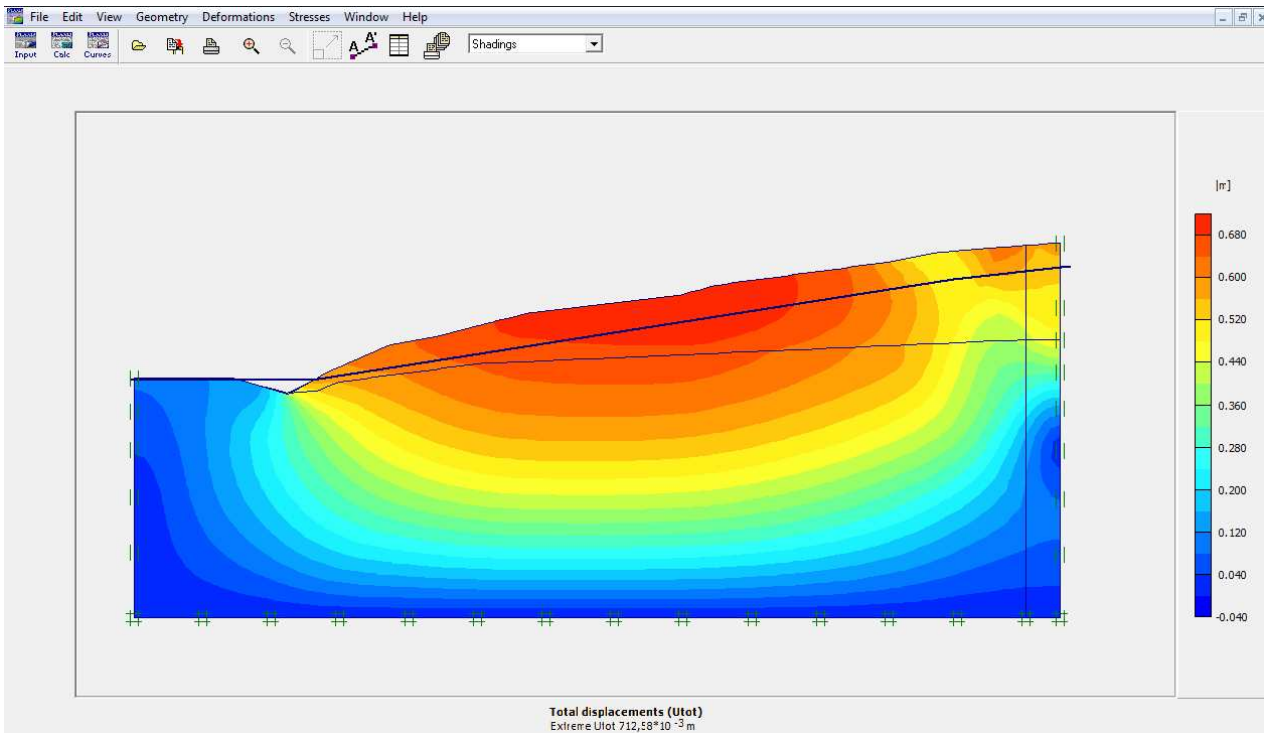


Fig. 9.18: Rappresentazione degli spostamenti totali derivanti dalle operazioni di calcolo della terza fase

4) **Fattore di sicurezza:** la posizione dei punti plastici è mostrata in Fig. 9.19

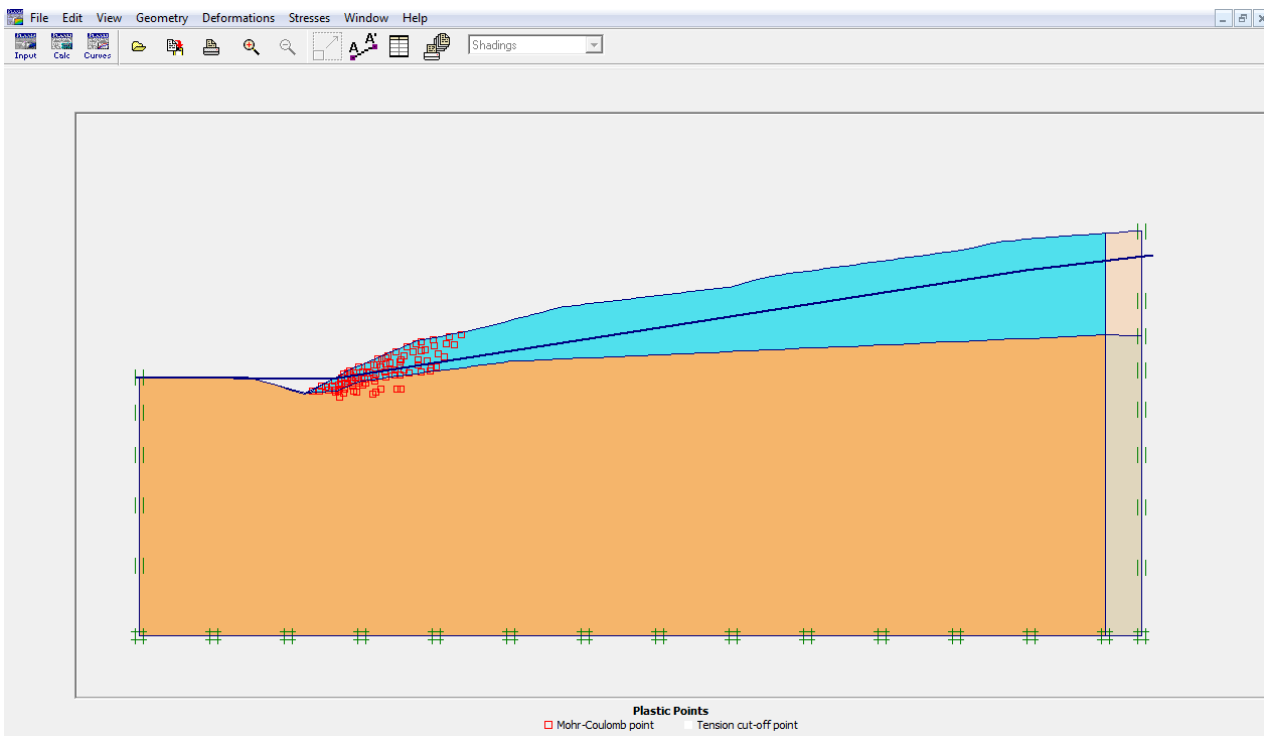


Fig. 9.19: Ubicazione dei punti plastici derivanti dalle operazioni di calcolo della quarta fase

La Fig. 9.19 ci da informazioni simili a quelle fornite in precedenza dal modello 1: in questo caso la zona in cui si concentrano i punti plastici appare meno estesa.

9.2.3 MODELLO 3

Rispetto ai due modelli visti precedentemente, il modello 3 rappresenta quello che più si avvicina alla reale situazione del versante di Succiso in quanto al modello geometrico sono assegnate contemporaneamente tre tipologie di materiale, di cui una tipologia ha le caratteristiche geotecniche della superficie di scivolamento individuata dai sondaggi e dai dati di monitoraggio inclinometrico. Inizialmente al modello geometrico verranno contemporaneamente assegnate tre tipologie di materiale elastico lineare (per considerare solamente l'effetto della gravità nelle prime fasi di calcolo) con le caratteristiche di un detrito nella porzione superiore, detrito alterato all'interno dell'area caratterizzata da detrito e substrato nella porzione inferiore; successivamente con la stessa configurazione verranno attribuite tre tipologie di materiale che si comportano secondo il principio di Mohr-Coulomb.

In ogni caso il materiale sarà di tipo drenato.

Come nel caso precedente, le caratteristiche di ciascun materiale sono state ricavate da prove di laboratorio effettuate sulle carote provenienti dal sondaggio SUCC47 e da dati provenienti dalla letteratura scientifica (relazione tecnico-geologica del dottor Bertolini, 1995): in particolare le caratteristiche sul detrito alterato sono state ricavate da prove di laboratorio effettuate su campioni ad una profondità compresa tra i 33 e i 34 m di profondità (in prossimità della superficie di scivolamento).

La geometria della superficie di scivolamento è stata definita analizzando i dati inclinometrici e i profili stratigrafici dei sondaggi situati in prossimità della sezione (SUCC60, SUCC61, SUCC58, SUCC47 e SUCC59).

Dai dati analizzati si è ritenuto opportuno realizzare nel modello geometrico una superficie di scivolamento avente spessore di 1 m.

Nel complesso (considerando le diverse fasi di calcolo) al modello geometrico verranno attribuite sei tipologie di materiale, di cui quattro già trattate nei modelli precedenti:

- 1) Detrito con caratteristiche elastico-lineari nella porzione superiore del modello (vedi modello 2, Tab. 9.4).
- 2) Detrito alterato con caratteristiche elastico-lineari assegnato all'interno della superficie di scivolamento

Tab. 9.7: Caratteristiche geotecniche del detrito alterato (elastico-lineare)

Parametri	Simbolo	Valore	Unità di misura
Peso unitario del suolo sopra il livello freatico	γ_{unsat}	18	kN/m ³
Peso unitario del suolo sotto il livello freatico	γ_{sat}	21	kN/m ³
Permeabilità in direzione orizzontale	k_x	0,0001	m/giorno
Permeabilità in direzione verticale	k_y	0,0001	m/giorno
Modulo di Young (valore costante)	E_{ref}	100000	kN/m ²
Coefficiente di Poisson (valore costante)	ν	0,3	adimensionale
Modulo di taglio (assegnato dal software)	G_{ref}	38460	kN/m ²
Modulo edometrico (assegnato dal software)	E_{oed}	134600	kN/m ²

- 3) Substrato (riconducibile alle Argille e Calcari di Canetolo) con caratteristiche elastico lineari nella porzione inferiore del modello (vedi modello 2, Tab. 9.5).
- 4) Detrito aventi le caratteristiche del principio di Mohr-Coulomb applicato nella porzione superiore del modello (vedi modello 1, Tab. 9.3).
- 5) Detrito alterato, con caratteristiche riconducibili al principio di Mohr-Coulomb, assegnato all'interno della superficie di scivolamento.

Tab. 9.8: Caratteristiche geotecniche del detrito (principio di Mohr-Coulomb)

Parametri	Simbolo	Valore	Unità di misura
Peso unitario del suolo sopra il livello freatico	γ_{unsat}	18	kN/m ³
Peso unitario del suolo sotto il livello freatico	γ_{sat}	21	kN/m ³
Permeabilità in direzione orizzontale	k_x	0,0001	m/giorno
Permeabilità in direzione verticale	k_y	0,0001	m/giorno
Modulo di Young (valore costante)	E_{ref}	100000	kN/m ²
Coefficiente di Poisson (valore costante)	ν	0,3	adimensionale
Modulo di taglio (assegnato dal software)	G_{ref}	38460	kN/m ²
Modulo edometrico (assegnato dal software)	E_{oed}	134600	kN/m ²
Coesione	c_{ref}	13	kN/m ²
Angolo di attrito	φ	22	°
Angolo di dilatanza	ψ	0	°

- 6) Substrato (riconducibile alle Argille e Calcari di Canetolo) con caratteristiche riconducibili al principio di Mohr-Coulomb nella porzione inferiore del modello (vedi modello 2, Tab. 9.6).

Dopo l'assegnazione dei materiali, il modello appare come in Fig. 9.20.

La Fig. 9.21 mostra una porzione del modello ingrandita in corrispondenza di un tratto della superficie di scivolamento.

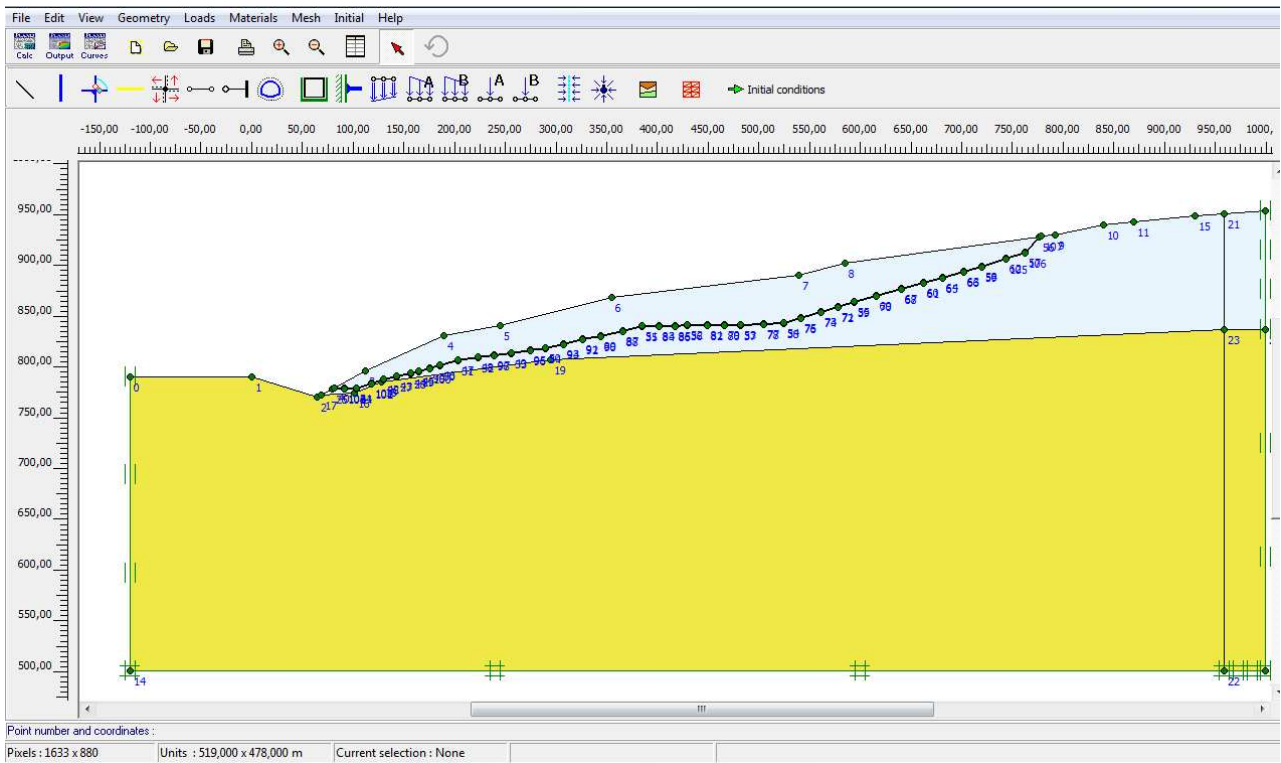


Fig. 9.20: Modello geometrico

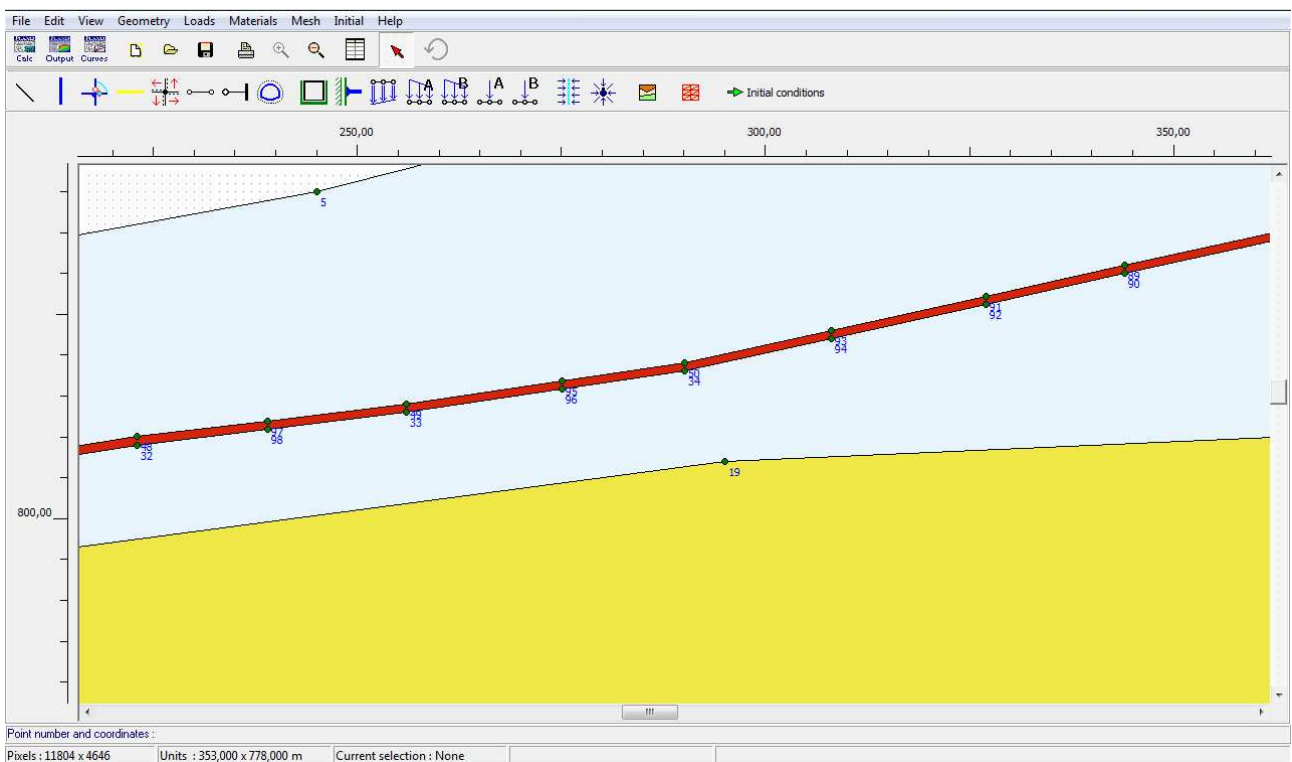



Fig. 9.21: Superficie di scivolamento (area rossa) all'interno della porzione di detrito (area celeste); l'area gialla rappresenta la porzione di substrato

Lo step successivo sarà quello di dividere l'area in una griglia di elementi finiti (Fig. 9.22) tramite la funzione "Mesh generation" ().

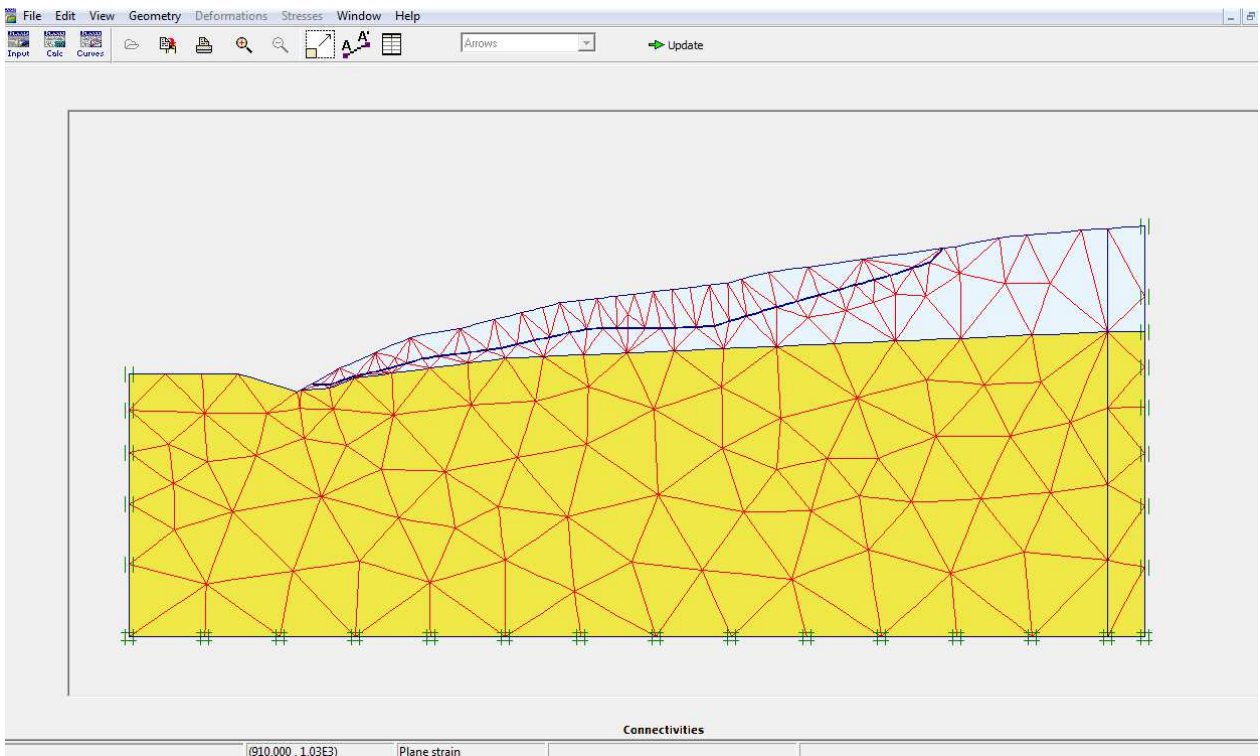


Fig. 9.22: Griglia degli elementi finiti generata dal software

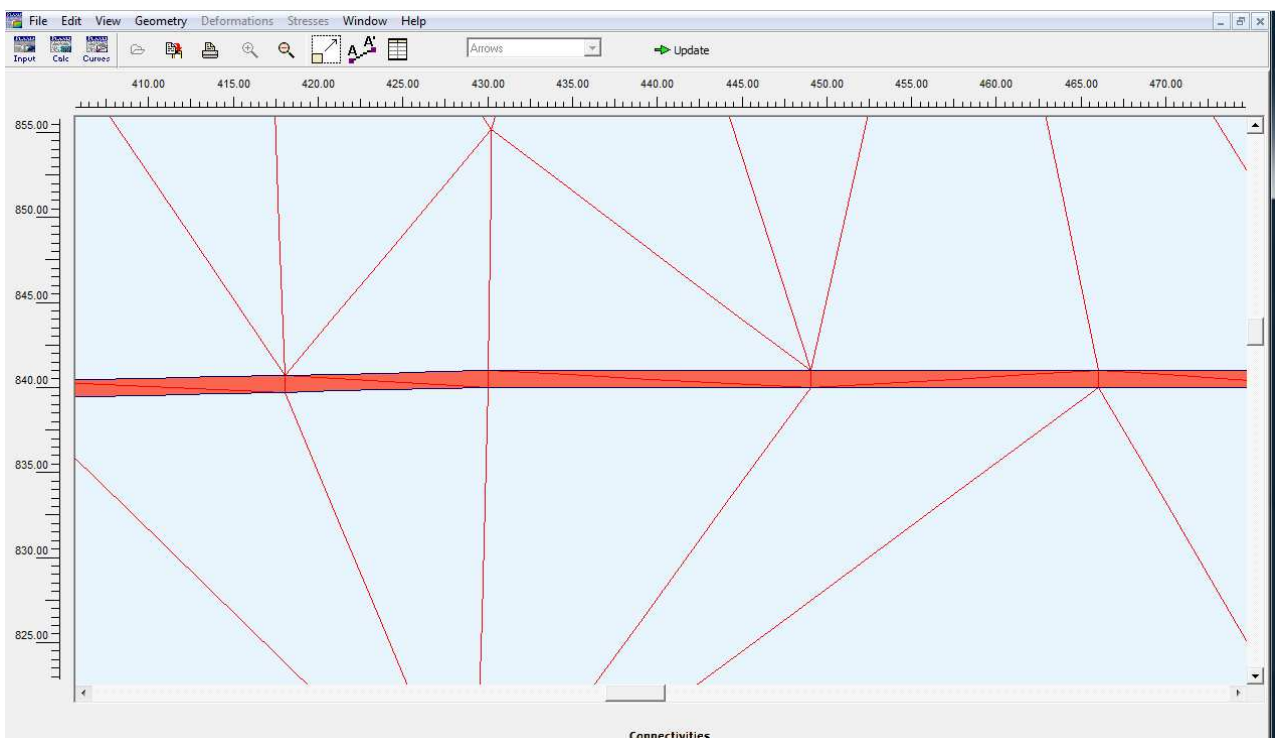


Fig. 9.22: Griglia degli elementi finiti ingrandita su un tratto della superficie di scivolamento

Come nel modello precedente, anche in questo caso nella definizione delle condizioni iniziali non sarà necessario tracciare la linea di falda in quanto il software utilizza quella tracciata

precedentemente nel modello 1: si passa quindi direttamente al calcolo delle pressioni dell'acqua (Fig. 9.23) tramite la funzione "Generate water pressures" (++) e al calcolo degli sforzi iniziali (Fig. 9.24) mediante la funzione "Generate initial stresses" (++).

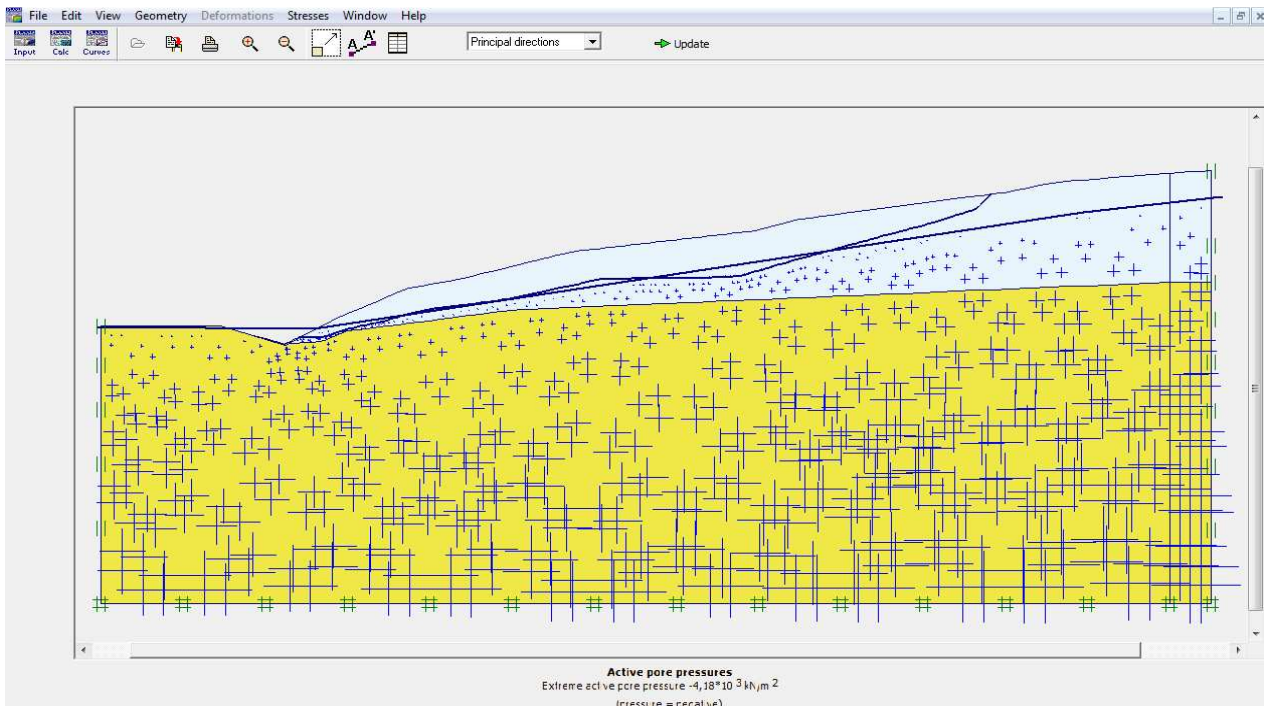


Fig. 9.23: Pressioni esercitate dall'acqua

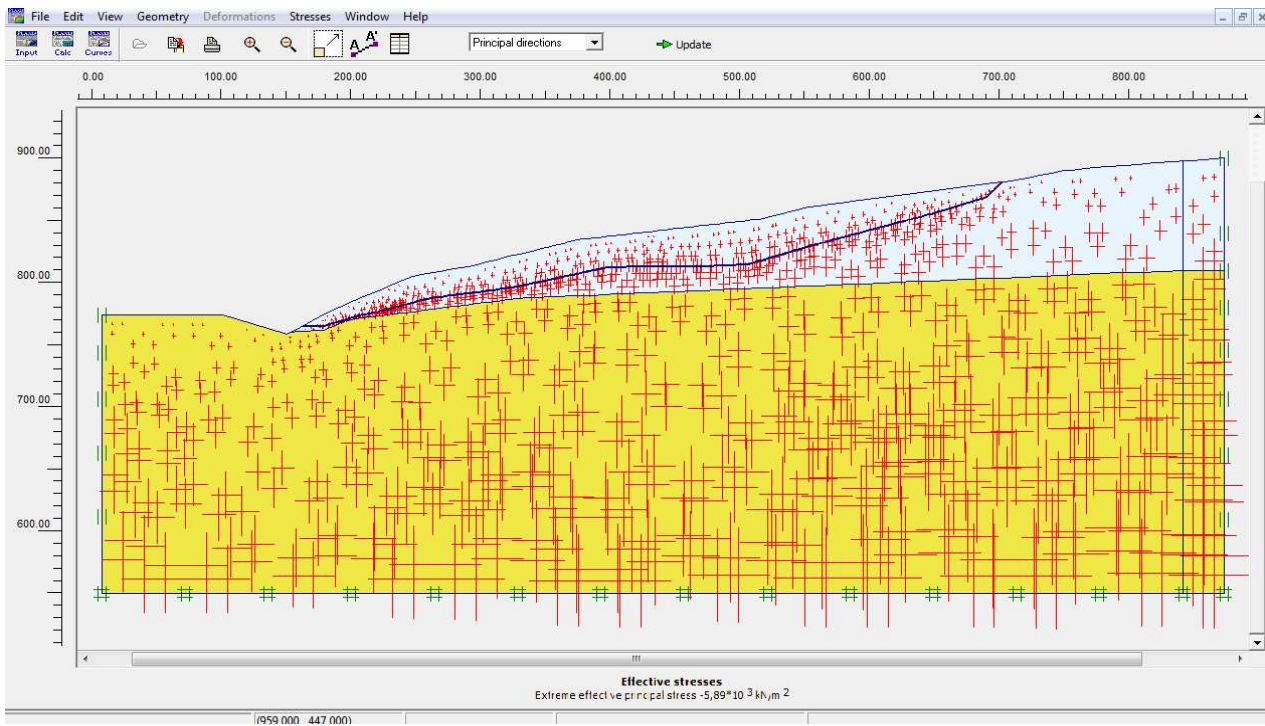


Fig. 9.24: Sforzi iniziali

Nella Fig. 9.24 è interessante notare che molti sforzi iniziali sono concentrati in prossimità della superficie di scivolamento, con una frequenza che va ad aumentare man mano che ci avviciniamo al piede del versante.

Terminata la fase di input, si passa alla fase di calcolo che, come i due modelli precedenti, è strutturata in quattro fasi (anche in questo caso valgono gli stessi principi teorici e le stesse modalità di calcolo):

- 1) **Fase iniziale:** come nel modello precedente, avremo un modello caratterizzato da materiale avente caratteristiche meccaniche migliori nella porzione inferiore, mentre la superficie di scivolamento avrà caratteristiche meccaniche inferiori rispetto al detrito.
- 2) **Gravità:** le porzioni del modello (compresa la superficie di scivolamento) sono caratterizzate da materiale a comportamento elastico-lineare (risultati di output in Fig. 9.25).

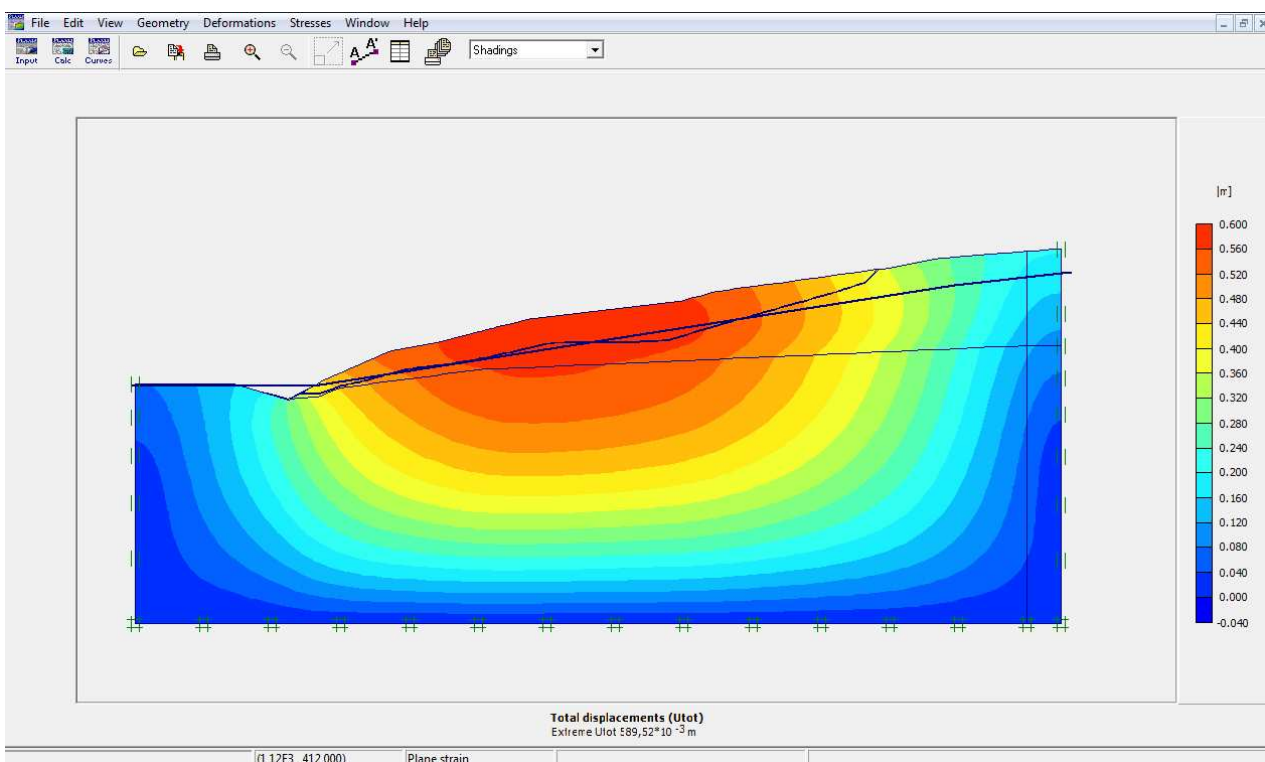


Fig. 9.25: Rappresentazione degli spostamenti totali derivanti dalle operazioni di calcolo della seconda fase

- 3) **Cambio di materiale:** selezionando la modalità “Staged construction” si attribuiscono al modello detrito, detrito alterato e substrato con caratteristiche riconducibili al principio di Mohr-Coulomb.

I risultati in output (Fig. 9.26) sono ritenuti soddisfacenti in quanto rispetto al modello 2 diminuiscono le entità degli spostamenti (caso maggiormente confrontabile con la reale situazione sul versante) e la distribuzione degli spostamenti stessi è abbastanza simile a quella vista nel modello 1, ma molto più evidente.

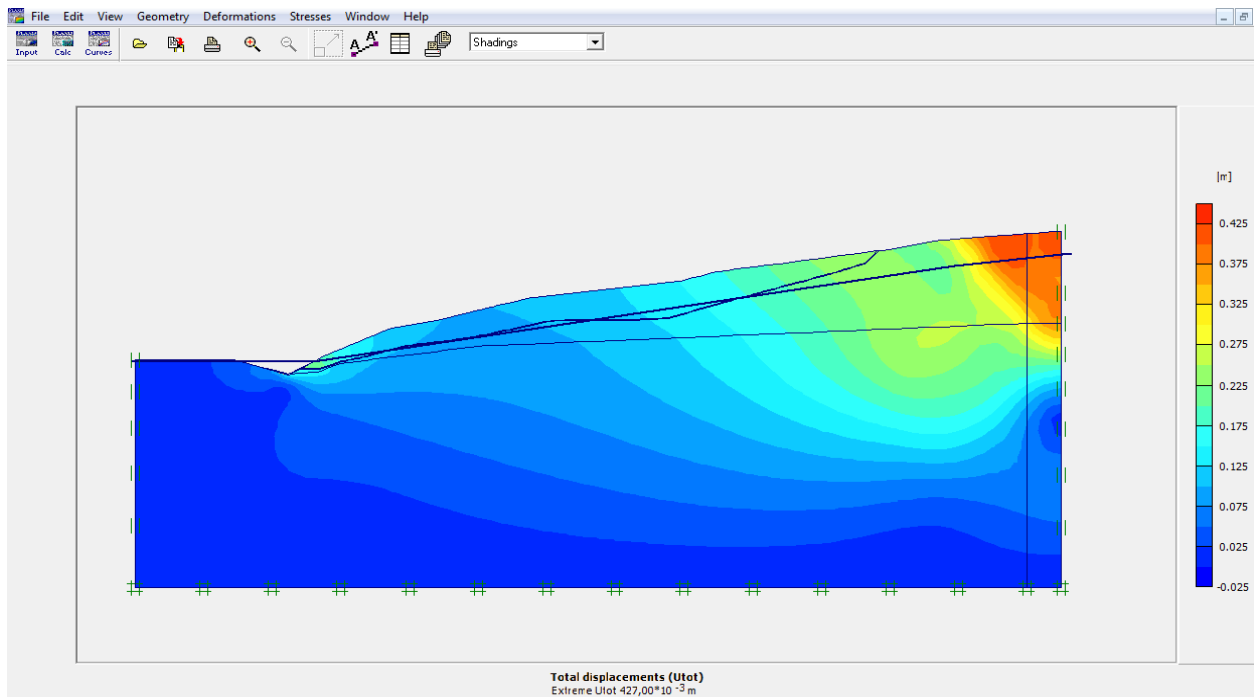


Fig. 9.26: Rappresentazione degli spostamenti totali derivanti dalle operazioni di calcolo della terza fase

4) **Fattore di sicurezza:** la posizione dei punti plastici è mostrata in Fig. 9.27.

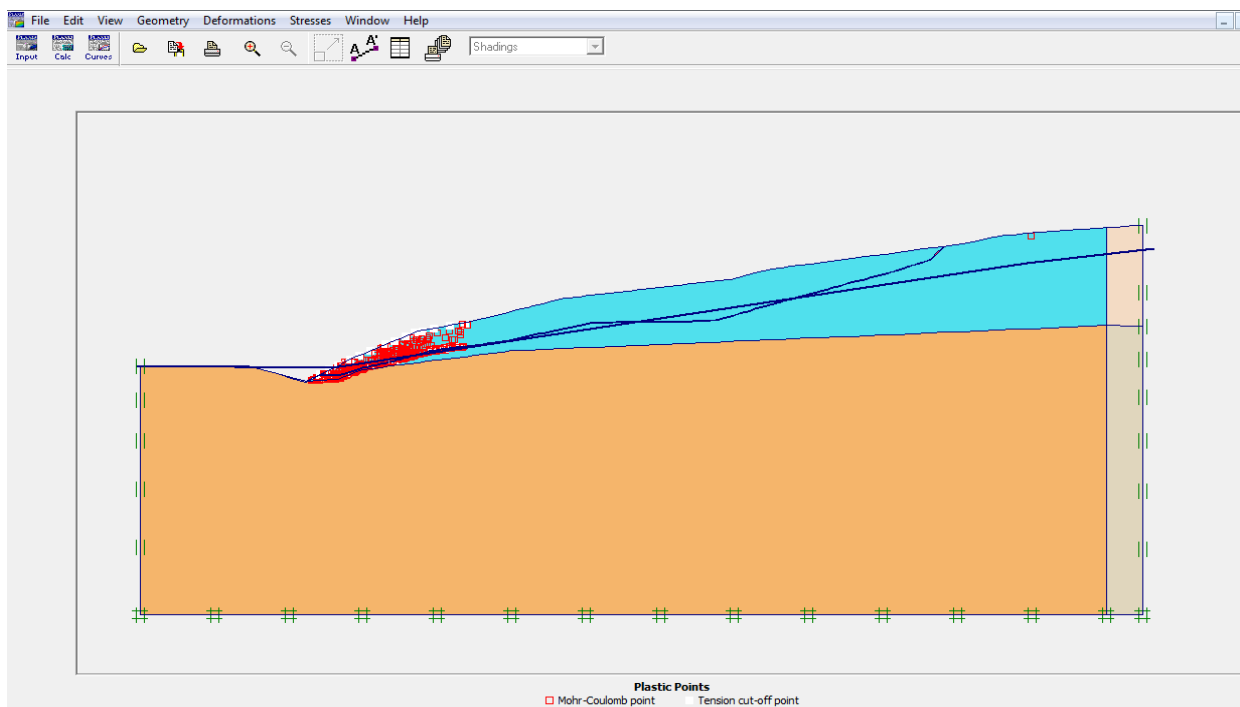



Fig. 9.27: Ubicazione dei punti plastici derivanti dalle operazioni di calcolo della quarta fase

In tutti e tre i modelli le indicazioni fornite dall'ubicazione dei punti plastici sono concordanti: si presume che la zona più predisposta alla rottura sia quella posta nella porzione inferiore del modello (ipotesi attendibile se si considera anche che nella situazione reale la forte azione di scalzamento al piede esercitata dal Torrente Liocca influisce sulle condizioni di stabilità).

Per verificare la validità del modello, nell'output di calcolo della fase "cambio di materiale" (terza fase) si analizzano gli spostamenti totali sulle sezioni in corrispondenza dell'ubicazione degli inclinometri SUCC60, SUCC61, SUCC58, SUCC47 e SUCC59: dalle informazioni derivanti da tali inclinometri infatti è stato possibile capire a quale profondità si verifica il cambio di litologia da detrito a substrato, nonché ricostruire la superficie di scivolamento.

Nel software Plaxis le sezioni vengono estratte mediante la funzione "Cross section" ().

L'analisi delle sezioni in corrispondenza dell'ubicazione dell'inclinometro SUCC60 e SUCC61 (rispettivamente Fig. 9.28 e Fig. 9.29), ha dato risultati interessanti.

In entrambi i casi la direzione degli spostamenti è compatibile con la topografia del versante e l'entità degli spostamenti (spostamento massimo di 20 cm per il SUCC60 e 17 cm per il SUCC61), considerando che i calcoli effettuati nel modello non considerano la variabile temporale, sono dello stesso ordine di grandezza degli spostamenti registrati agli inclinometri.

Le letture inclinometriche hanno infatti messo in luce (soprattutto nei primi metri di profondità) spostamenti di circa 10 mm/mese per l'inclinometro SUCC60 e 6 mm/mese per l'inclinometro SUCC61: considerando gli spostamenti costanti nel corso dell'anno se ne deduce uno spostamento medio annuale di almeno 12 cm per l'inclinometro SUCC60 e 7 cm per l'inclinometro SUCC61.

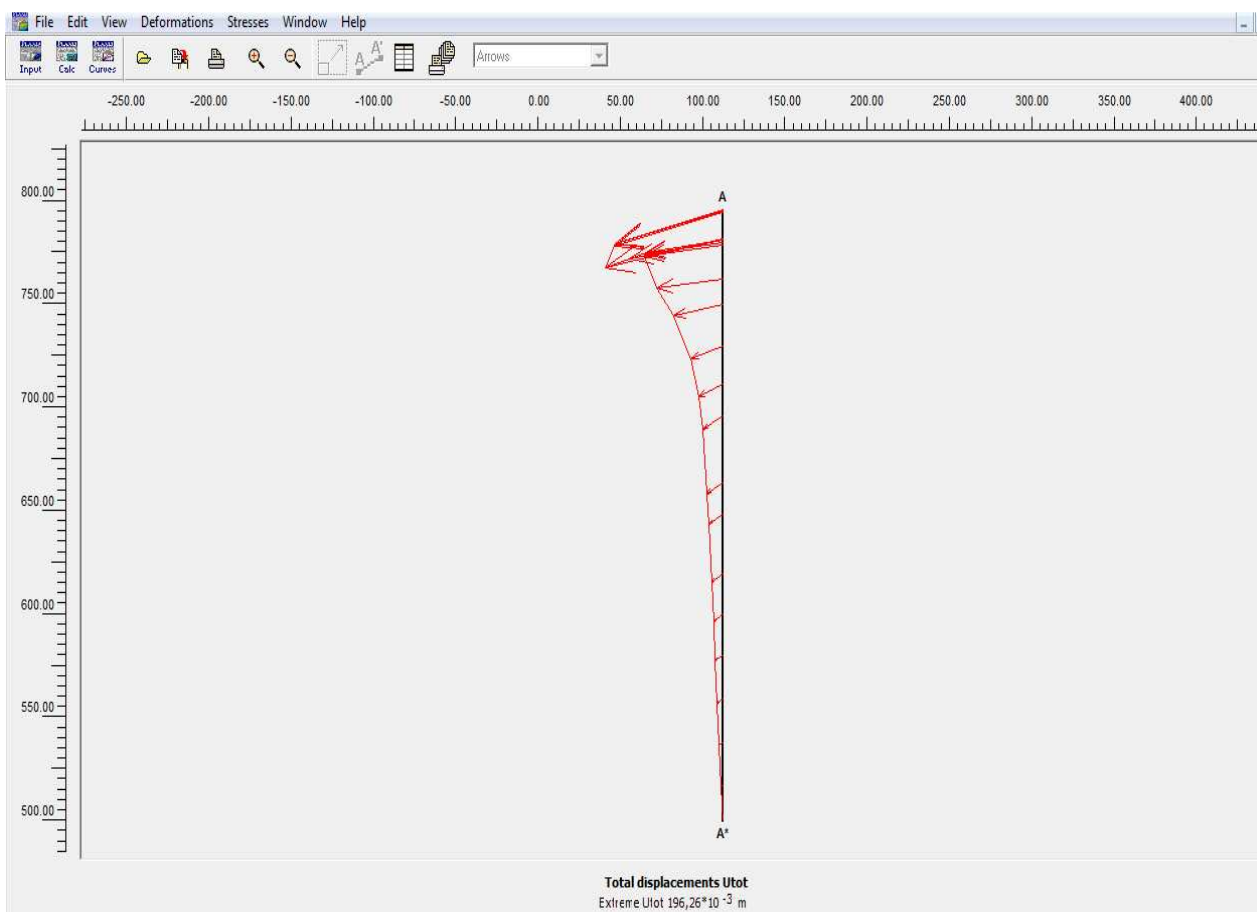


Fig. 9.28: Spostamenti totali in corrispondenza della zona del modello in cui è situato l'inclinometro SUCC60

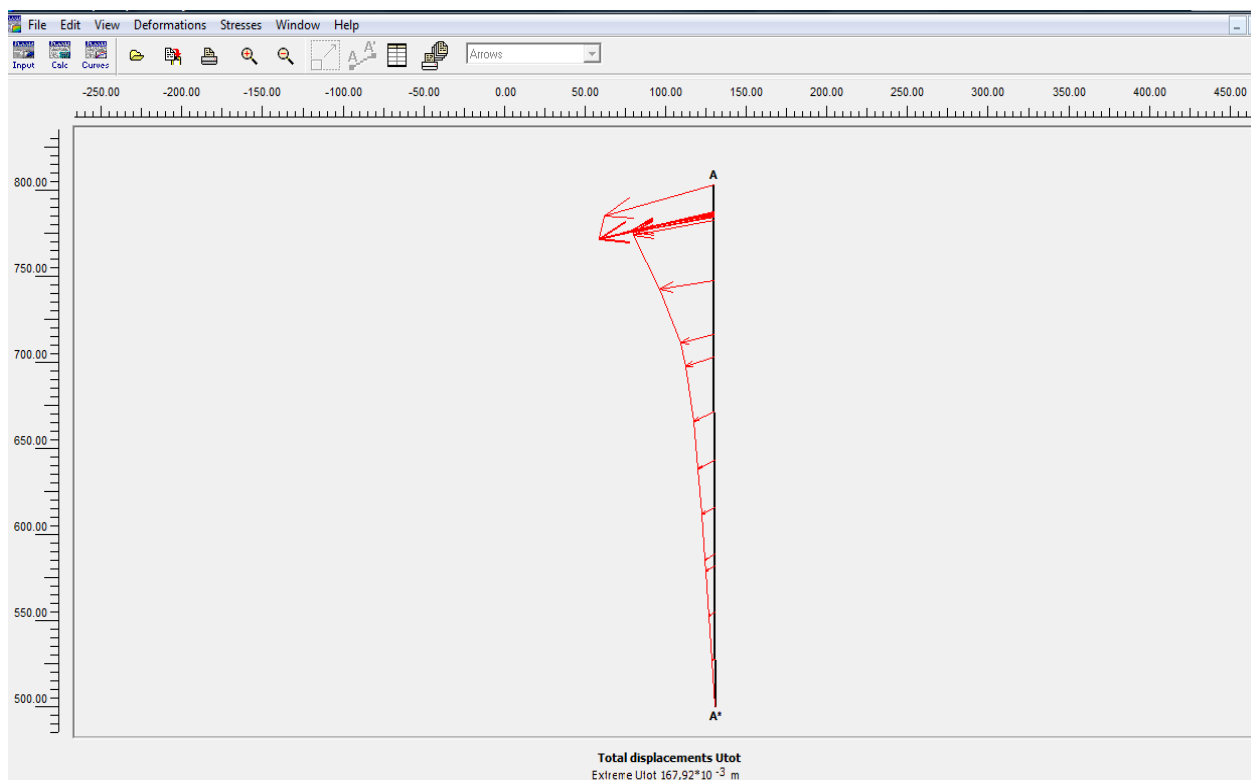


Fig. 9.28: Spostamenti totali in corrispondenza della zona del modello in cui è situato l'inclinometro SUCC61

L'analisi degli spostamenti totali sulle sezioni del modello in cui sono ubicati gli inclinometri SUCC58 (Fig. 9.29), SUCC47 (Fig. 9.30) e SUCC59 (Fig. 9.31) ha evidenziato che la direzione degli spostamenti non è paragonabile alla situazione reale.

Bisogna infatti considerare che il software vede la porzione superiore del modello come una colonna di terreno che esercita una notevole spinta da monte verso valle.

Per limitare l'influenza di questa porzione si è ritenuto opportuno assegnarle un materiale avente caratteristiche geotecniche migliori di quelle introdotte nel modello, in modo da indurre il software a considerare solamente le deformazioni e gli spostamenti nella porzione del modello di interesse: tale artificio ha sicuramente limitato l'influenza della porzione di monte del modello, anche se risultati migliori possono essere ottenuti raffinando il modello geometrico.

Tuttavia la fase di calcolo "fattore di sicurezza" ha evidenziato che la quasi totalità dei punti plastici è situata nella porzione inferiore del modello, zona in cui sono stati ottenuti ottimi risultati per quel che riguarda l'entità e la direzione degli spostamenti.

Nell'analisi dell'entità degli spostamenti sulle sezioni nella porzione intermedia - superiore del modello si sono invece ottenuti dati confortanti: in corrispondenza degli inclinometri SUCC58, SUCC47 e SUCC59 lo spostamento massimo corrisponde rispettivamente a circa 10 cm, 11 cm e 18 cm.

Nella situazione reale gli spostamenti medi annuali, deducibili dai dati sulle letture degli inclinometri SUCC58 (ultima lettura nel 2005) e SUCC47 (ultima lettura nel 2003), corrispondono rispettivamente a 2 cm e 1 cm.

Sull'inclinometro SUCC59 si sono invece registrati spostamenti di 6 mm/mese: se li consideriamo costanti nel corso dell'anno è possibile dedurre uno spostamento medio annuale di 7 cm.

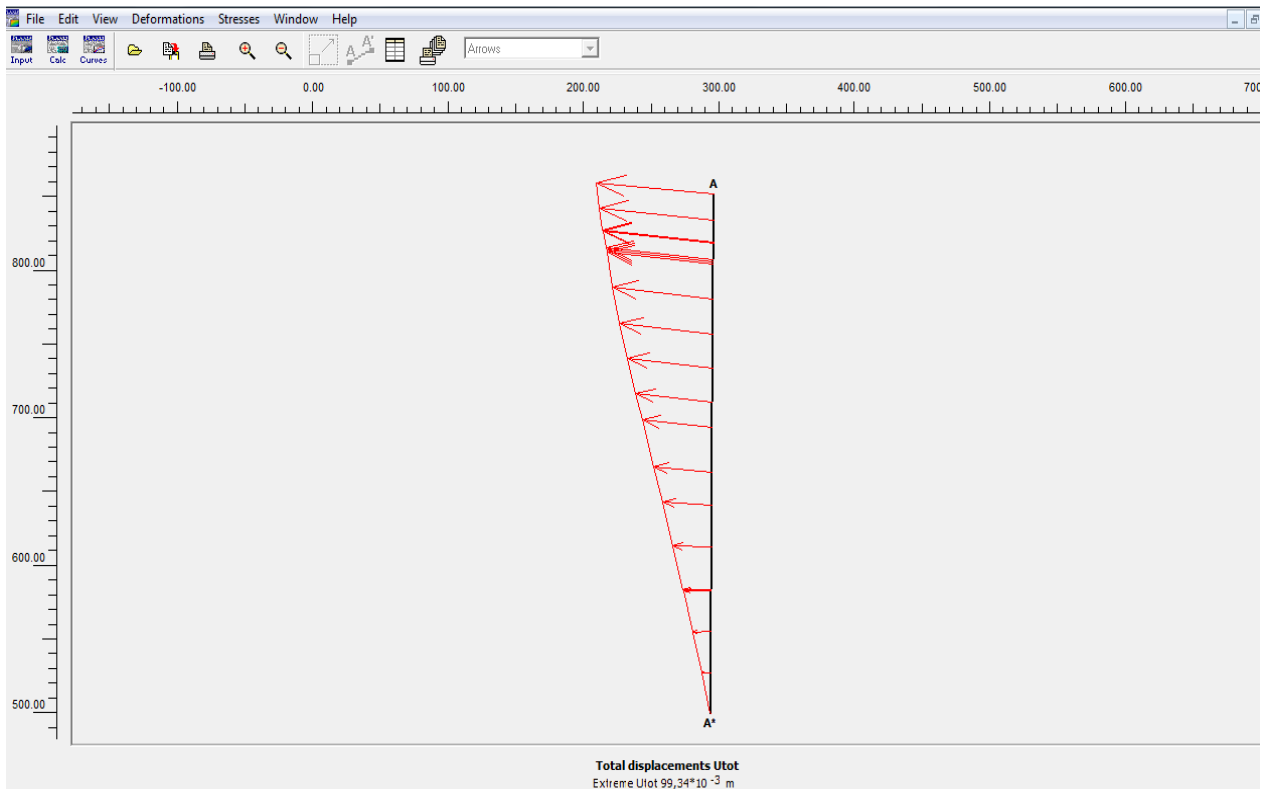


Fig. 9.29: Spostamenti totali in corrispondenza della zona del modello in cui è situato l'inclinometro SUCC58

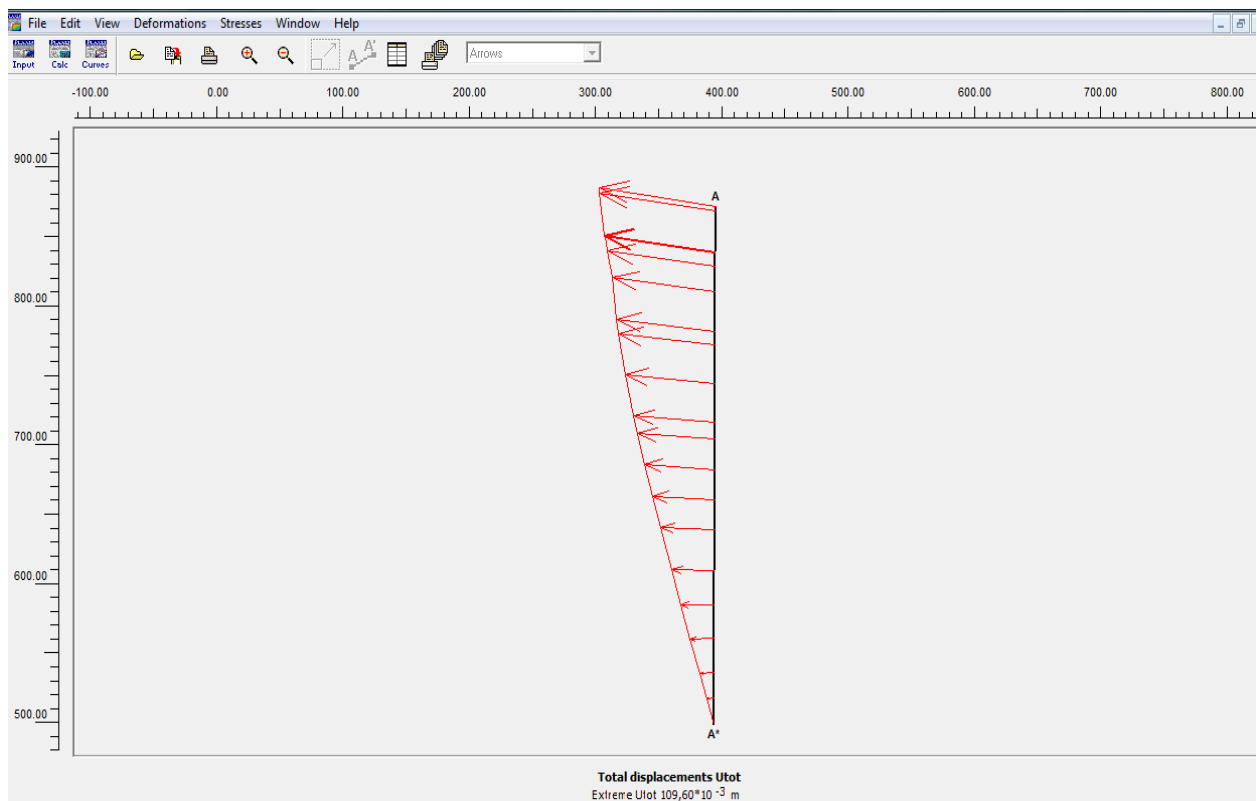


Fig. 9.30: Spostamenti totali in corrispondenza della zona del modello in cui è situato l'inclinometro SUCC47

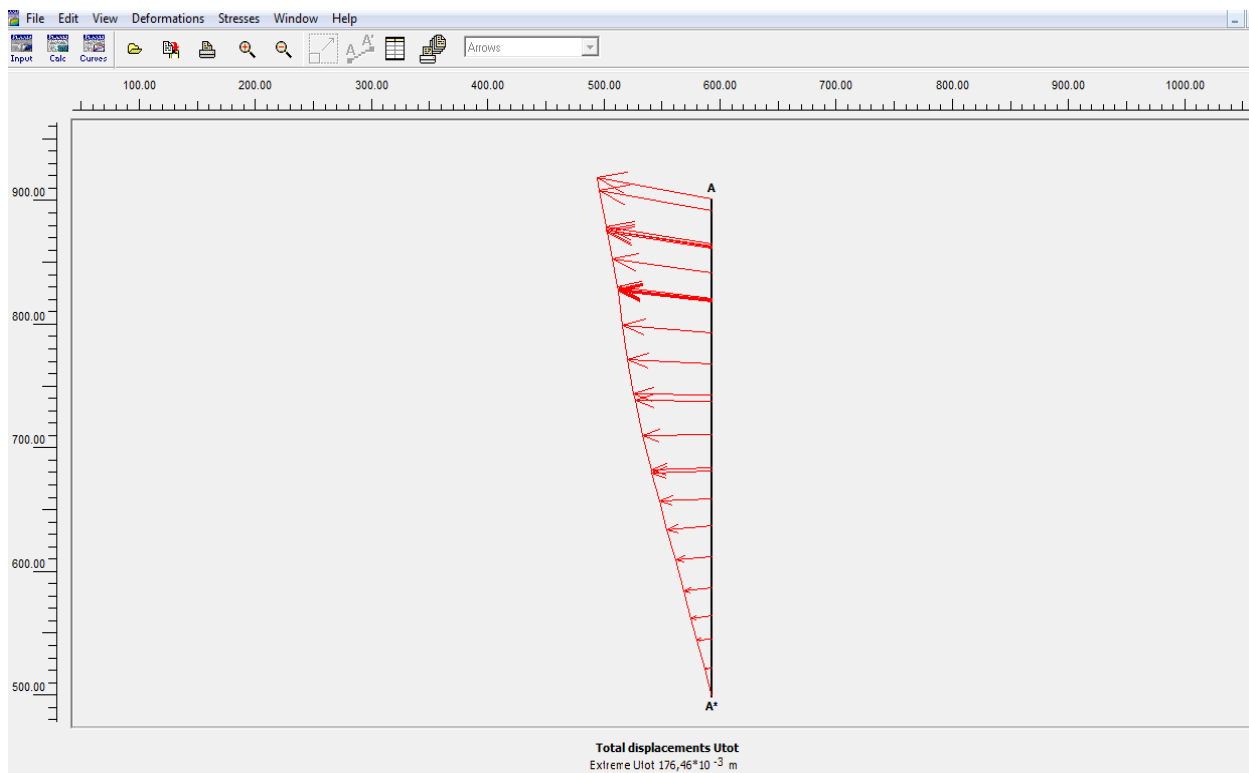


Fig. 9.30: *Spostamenti totali in corrispondenza della zona del modello in cui è situato l'inclinometro SUCC59*

Per fare in modo che il modello non risentisse della porzione superiore, è stato realizzato un lungo tratto orizzontale nella porzione stessa, con risultati migliori dal punto di vista dell'entità degli spostamenti (lo spostamento massimo corrisponde a 2 cm), ma risultati discutibili per quel che riguarda la direzione degli spostamenti stessi (Fig. 9.31): il modello necessita di ulteriori raffinazioni per avvicinarsi maggiormente alla situazione reale.

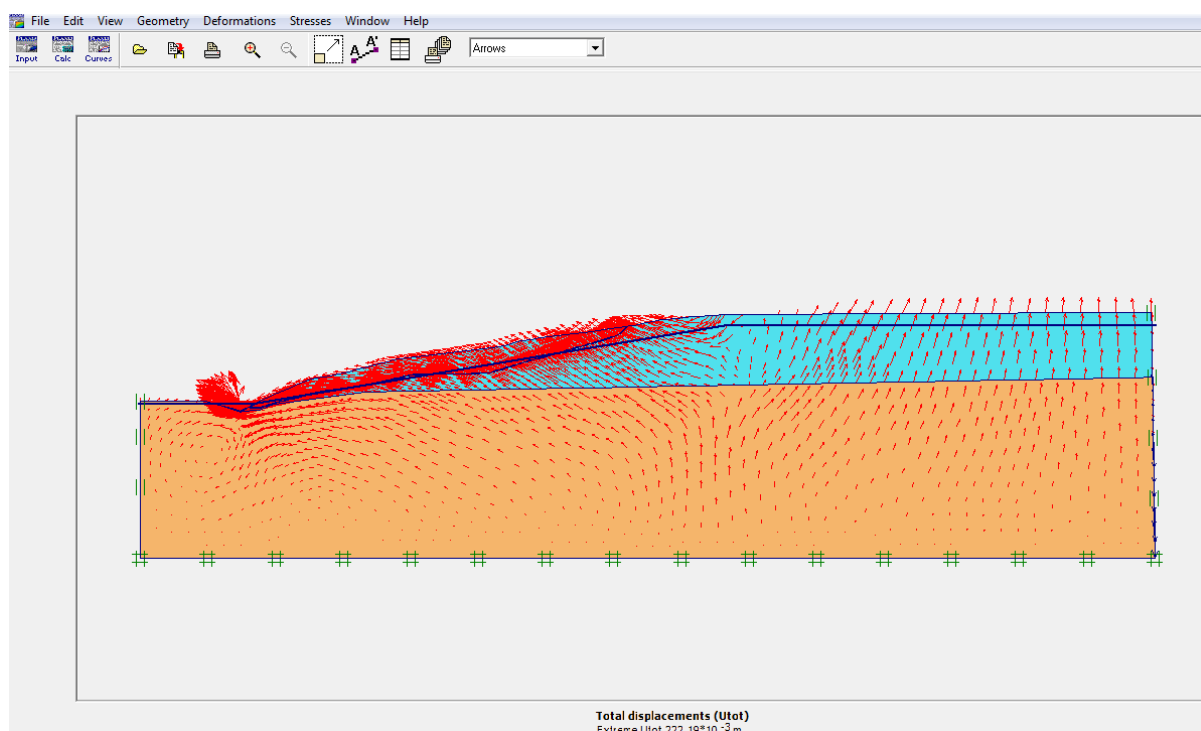


Fig. 3.1: *Rappresentazione della direzione degli spostamenti totali del modello 3 modificato*

CONCLUSIONI

Il lavoro di tesi ha evidenziato che la frana di Succiso, almeno per le frazioni di Succiso Inferiore e Succiso di Mezzo, non è quiescente, come si pensava fino all'anno 2000.

Infatti, analizzando i dati provenienti dal sistema di monitoraggio topografico e i dati PS, nonché analizzando i dati delle nuove indagini geognostiche e delle letture inclinometriche, sono stati messi in luce spostamenti non trascurabili.

Gli spostamenti si sono intensificati nel periodo che va dall'anno 2000 al 2010, presumibilmente in concomitanza con il periodo in cui si è registrato un aumento significativo delle precipitazioni medie annuali, le quali hanno influenzato le portate del Torrente Liocca e dei suoi affluenti: questi, soprattutto negli eventi di piena, hanno quindi esercitato una più intensa azione erosiva sul piede del corpo di frana, presumibilmente contribuendo a riattivare il settore medio-basso della grande frana di Succiso.

L'aumento delle precipitazioni medie annuali ha sicuramente modificato anche il livello di falda presente su tutto il versante di Succiso, anche se non sono disponibili dati di monitoraggio in merito: il cambiamento del livello di falda è stato una delle cause principali che ha portato alla riattivazione della paleofrana (classificata come quiescente nel suo complesso nell'Atlante SCAI e anche nelle relazioni tecniche redatte dal Servizio Tecnico di Bacino).

Nella frazione di Succiso Superiore, dove secondo l'atlante SCAI è presente una frana classificata come attiva, non si sono invece misurati spostamenti consistenti, o almeno non della stessa entità di quelli che riguardano le frazioni più a valle.

A seguito di queste analisi, si rende necessaria una revisione della perimetrazione che riguarda le tre frazioni di Succiso, facendo eventualmente rientrare nella Zona 1 l'intero abitato di Succiso Inferiore e Succiso di Mezzo (compresa la porzione di versante a monte di Succiso di Mezzo che nella vecchia perimetrazione rientra nella Zona 2) ed escludere l'abitato di Succiso Superiore dalla Zona 1 facendolo rientrare nella Zona 2 (cfr. Fig.1).

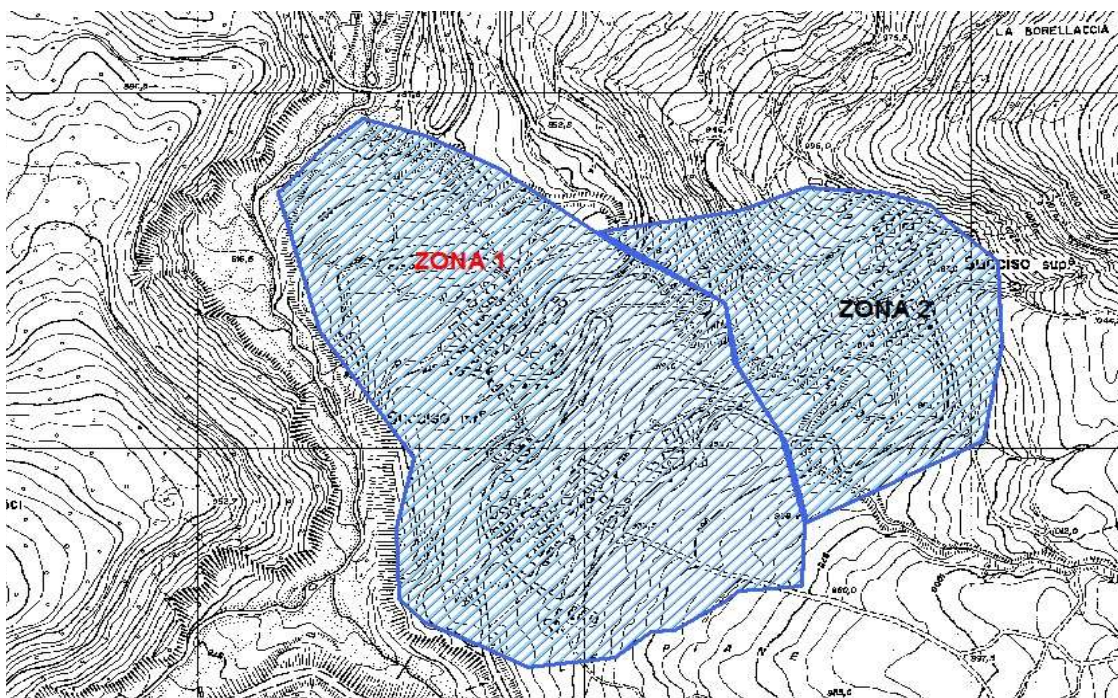


Fig.1: Ipotetica ripermetrazione della zona di Succiso

Sulla base della vecchia perimetrazione (capitolo 6, Fig. 6.5), il Servizio Tecnico di Bacino degli Affluenti del Po (Sezione Reggio Emilia) ha proposto alla regione una bozza di progetto preliminare, che mira a stabilizzare l'intera area di Succiso (Fig.2).

Tra gli interventi di consolidamento previsti (di cui molti a carattere idraulico) rientrano:

- Briglie in calcestruzzo realizzate lungo tutto il tratto del Torrente Liocca che interessa il versante di Succiso;
- Paratia ad arco tirantata nella frazione di Succiso di Mezzo in prossimità del cimitero;
- Dreni sub - orizzontali in corrispondenza della frazione di Succiso Superiore;
- Dreni sub - orizzontali in grado di confluire l'acqua all'interno di 71 pozzi drenanti; i pozzi scaricheranno l'acqua nel Rio Marzolaro mediante una condotta di scarico.
La fitta rete di pozzi è da realizzare nella porzione di versante tra le frazioni di Succiso Inferiore e Succiso di Mezzo.
- Una rete di drenaggi tradizionali ubicata in prossimità della strada che collega la frazione di Succiso di Mezzo a Succiso Superiore.

Negli interventi rientrano anche i lavori di pulizia e manutenzione del fosso che attraversa la frazione di Succiso Superiore.

L'opera più ingente dal punto di vista dei tempi realizzativi e dei costi è sicuramente la rete di pozzi drenanti tra le frazioni di Succiso Inferiore e Succiso di Mezzo: in tale zona si ritiene opportuno un intervento di questo tipo in quanto esso tenderebbe ad abbassare il livello di falda, il quale, come citato in precedenza, si è presumibilmente innalzato nel corso degli ultimi dieci anni a causa dell'aumento delle precipitazioni medie annuali registrate in zona.

Il dettaglio, il dimensionamento e il computo delle opere di consolidamento deriveranno da appositi calcoli idraulici e verifiche di stabilità definite in uno specifico progetto esecutivo.

In relazione all'entità dei costi stimati e alla dimensione delle opere, risulta possibile procedere per stralci all'attività di consolidamento, da realizzare lungo un adeguato arco di tempo in cui sarebbe preferibile dare la priorità alla zona che comprende gli abitati di Succiso Inferiore e Succiso di Mezzo.

Gli interventi di sistemazione proposti, oltre a consentire nel tempo il consolidamento dei dissesti, permetteranno anche di ottenere un miglioramento dell'assetto generale dell'intero versante di Succiso.

A tale proposito occorre rilevare che l'unica strada esistente che raggiunge l'abitato di Varvilla percorre per oltre un chilometro tale versante, attraversando peraltro anche i dissesti che coinvolgono le frazioni di Succiso Inferiore e Succiso di Mezzo: il raggiungimento delle migliori condizioni generali di assetto di tale zona rappresenta un obiettivo improrogabile anche per scongiurare il rischio d'isolamento della citata frazione.

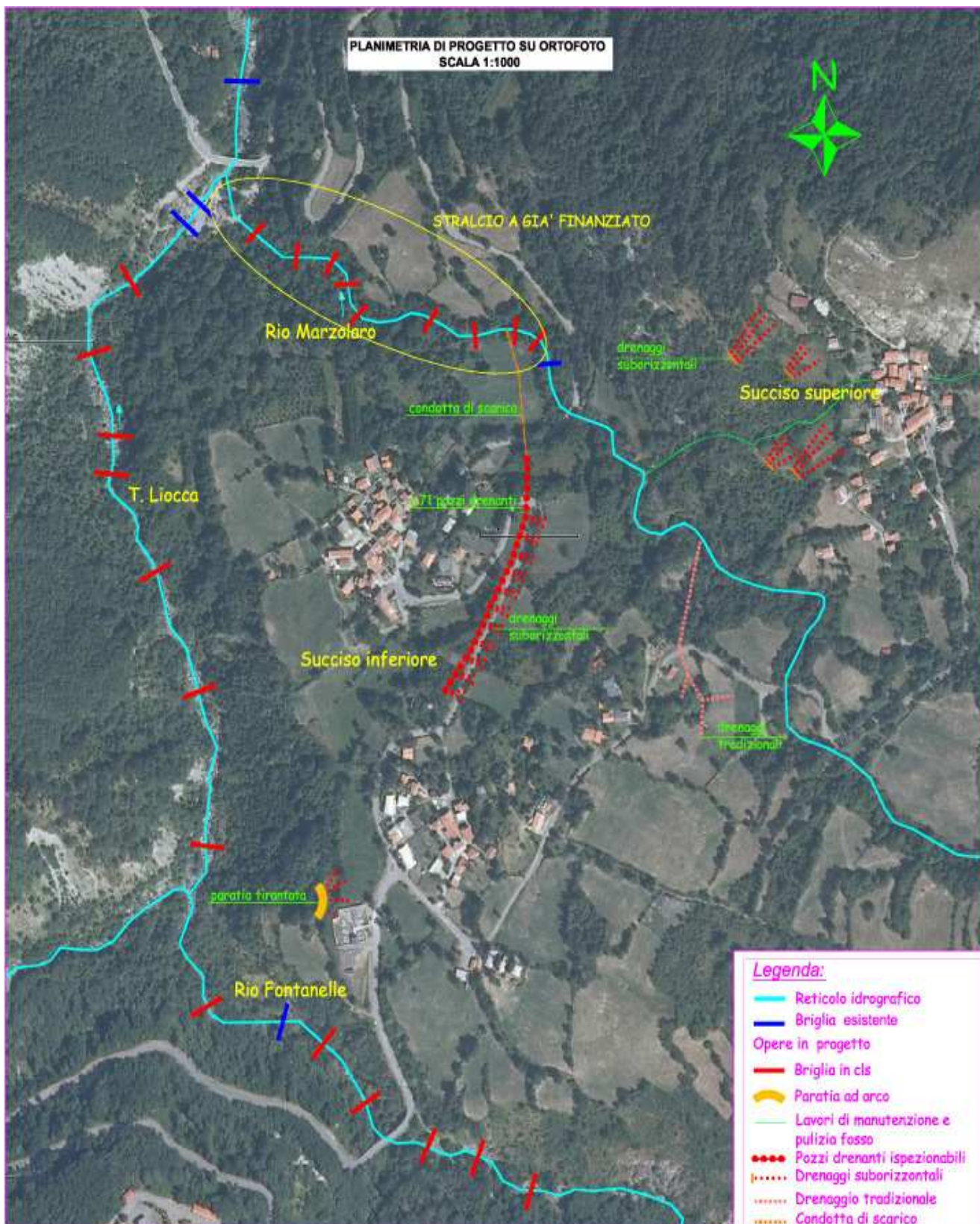


Fig.2: Ubicazione su orto fotografia degli interventi di consolidamento proposti dal Servizio Tecnico di Bacino degli affluenti del Po (sezione Reggio Emilia).

Alla luce dei risultati visti nella modellazione numerica, le opere proposte dal Servizio Tecnico di Bacino appaiono sufficienti al conseguimento delle condizioni di stabilità generali del versante di Succiso.

Se, a seguito della costruzione delle briglie sul tratto del Torrente Liocca che interessa Succiso, non si riscontrano miglioramenti consistenti delle condizioni di alveo, si potrebbe considerare l'ipotesi di realizzare, ai piedi del versante di Succiso, una serie di opere di difesa spondale.

Infatti i risultati della modellazione numerica hanno evidenziato numerosi punti plastici in corrispondenza del piede del versante: sarebbe quindi opportuno realizzare una serie di opere che limitano l'asportazione di materiale al piede del versante stesso.

Inoltre, ai fini del miglioramento delle condizioni generali del versante, sarebbe opportuno realizzare una rete di pozzi drenanti anche nella porzione a valle della frazione di Succiso Inferiore.

Dato che il progetto prevede una rete di pozzi nella porzione di versante posta tra le frazioni di Succiso Inferiore e Succiso di Mezzo, sarebbe consigliabile ridistribuire i 72 pozzi previsti nel progetto preliminare, tra la porzione di versante a valle di Succiso Inferiore e la porzione a valle di Succiso di Mezzo (corrispondente alla posizione attuale dei pozzi nel progetto).

BIBLIOGRAFIA

- AA. VV. (1986) – Primi lineamenti del piano di risanamento idrico del Bacino del Torrente Enza, provincia di Reggio Emilia – Assessorato alla pianificazione territoriale Tutela dell'ambiente e difesa del suolo.
- ALMAGIÀ R. (1907) – Studi geografici sopra le frane in Italia. Volume I. parte generale – L'Appennini Settentrionale e il Preappennino Tosco – Romano. Memorie Società Geografica Italiana.
- ANNOVI A. & SIMONI G. (a cura di) (1993) – Atlante dei centri abitati instabili dell'Emilia Romagna. Provincia di Reggio Emilia. Presidenza del consiglio dei Ministri, Dipartimento di Protezione Civile.
- ARCHIVIO IRPI – Ramiseto.
- Art. 6 DL 18/02/1966 n° 976: indica la formale classificazione di Succiso come abitato da trasferire.
- BERTI M. (1999): “Appunti di analisi di stabilità dei versanti all'equilibrio limite”– Corso di aggiornamento professionale per l'ordine regionale dei geologi dell' Emilia Romagna Bologna, 18 Giugno 1999.
Link di riferimento: www.geomin.unibo.it/geoappl/downloads/oger_stabilitaversanti.pdf
- BERTOLINI G. (1995) – Abitato di Succiso. Relazione tecnico – geologica: situazione attuale, conoscenze storiche e le indagini geognostiche eseguite nel 1994. Servizio Provinciale Difesa del Suolo di Reggio Emilia – Regione Emilia Romagna.
- BERTOLINI G. & PELLEGRINI M. (2001) – The landslides of the Emilia Apennines (northern Italy) with reference to those which resumed activity in the 1994-1999 period and required Civil Protection interventions. Quaderni di Geologia Applicata, 8 (1), 27-74.
- BETTELLI G. & DE NARDO M.T. (2001) – Geological outlines of the Emilia Apennines (Italy) and introduction to the rock units cropping out in the areas of landslides reactivated in the 1994-1999 period. Quaderni di Geologia Applicata, 8 (1), 1-26.
- BISHOP A.W., BJERRUM L. (1960): “The relevance of the triaxial test to the solution of stability problems”- ASCE Research Conf. on Shear Strength of Cohesive Soils of Colorado
- BORGATTI L. (2009): Dispense del corso di “Geologia Tecnica LS”, Università degli studi di Bologna, Dipartimento di Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio.
- CALAMITÀ NATURALI: www.vigilidelfuoco.bergamo.it/formazione/CorsoCR/CalNatCR.doc

- CANUTI P. (2007): “Teoria della linea di influenza” – Dispense del corso di Geologia Applicata, Università degli studi di Firenze
- CARTON A. & PANIZZA M. (1988) – Il paesaggio fisico del’Alto Appennino Emiliano. Grafis, Bologna.
- CASAGLI N., GALLIANI G., POMI L., ZINONI F. (2001) – Analisi meteoroclimatologica e soglie pluviometriche di innesco delle frane nella Regione Emilia Romagna negli anni 1994-1996. Quaderni di Geologia Applicata, 8 (1), 75-91.
- CORSINI A. (2007): Dispense del corso di “Geotecnica”, Università degli studi di Modena, Dipartimento di Ingegneria Ambientale e dei Materiali.
- DECRETO MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI dell’ 11 Marzo 1988: “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”
Link di riferimento: www.moliseimpresa.net/Pub/ns_DM_11-3-88.pdf
- DOC 32/25, relativo alla riattivazione dei dissesti nell’autunno del 1959.
- DOC 32/50, relativo alla riattivazione dei dissesti nel giorno 9 Gennaio 1960.
- D.M. 11/03/1988, relativo al Fattore di Sicurezza (Fs) minimo in prossimità di opere pubbliche.
- DPR n° 201 del 14/02/1957, Decreto che sancisce il trasferimento dell’abitato di Succiso.
- FACCIORUSSO J., MADIAI C., VANNUCCHI G. (2007): Dispense del corso di “Geotecnica”, capitolo 18 (Stabilità dei pendii) - Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Civile (Sezione Geotecnica)
Link di riferimento: www.dicea.unifi.it/~johannf/disp_18.pdf
- FRANCESCHINI S. (2005) – Analisi geologico-tecnica delle condizioni di stabilità dell’area di Succiso (alto Appennino Reggiano).
- FREDLUND F.K., KRAHN J. (1977): “Comparison of slope stability methods of analysis”- Canadian Geotechnical Journal, n.14

- LOSACCO U. (1982) – Gli antichi ghiacciai dell’Appennino Settentrionale. Estratto dal volume: atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena, 103 (1982), Mucchi-Modena.
- MELOTTI F. (2002) – Studio della frana di Poviglio in Comune di Ramiseto (Reggio Emilia). Tesi di laurea.
- MONTRUCCOLI V. (1981) – Succiso dal vecchio al nuovo. Tipografia Emiliana - Reggio Emilia.
- PANIZZA M. & PIACENTE S. (1987) – Storia illustrata della Provincia di Reggio Emilia – morfologia del territorio. Aiep editore.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA (1989) – Carta Geologica dell’Appennino Emiliano Romagnolo 1:10000. Edizione Selca, Firenze.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA (a cura di PIZZIOLI M., 1996) – Carta Inventario del dissesto.
- REPORT MISURE TOPOGRAFICHE SUCCISO
Link di riferimento: <http://download.terra.unimore.it/corsini/Report%20Misure%20Succiso>
- RINALDI M. (2001): Dispense del corso di “Processi di versante e dinamica fluviale”- Università degli studi di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Civile
- SARTINI G., CAPUTO G. (2007) – Perimetrazione e zonizzazione dell’abitato di Succiso nel Comune di Ramiseto (Reggio Emilia), Relazione Generale. Servizio Tecnico Bacini Enza e sinistra Secchia.
- SERVIZIO IDROGRAFICO E MEREORAFICO NAZIONALE – Analisi idrologici 1921-1990.
- SKEMPTON A.W. (1964): “Long term stability of clay slopes”
- SKEMPTON A.W. (1970): “First-time slide in over-consolidated clays”
- SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA (1990) – Appennino Ligure-Emiliano. Guide Geologiche Regionali, Be-ma editrice.
- SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA (1990) – Appennino Tosco-Emiliano. Guide Geologiche Regionali, Be-ma editrice.

- TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA APPLICABILI ALLE SISTEMAZIONI IDRAULICHE

Link:

http://www.regione.lazio.it/web2/contents/ingegneria_naturalistica/manuale_settore_idraulico/parte2/CAP13_Schede_tecniche/027-Pennelli_e_repellenti_vivi.pdf

- ZANELLA G. (1982) – Atti del primo convegno di meteorologia appenninica. Amministrazione provinciale di Reggio Emilia, Istituto di Scienze Geografiche, Laboratorio di Climatologia dell'Università di Parma.