

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali

DICAM

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

TESI DI LAUREA

in

GEOLOGIA APPLICATA T

***STUDIO DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO DA FRANA IN
LOCALITA' S.P. DIGA SALTO – BIVIO ROCCA VITTIANA (RI)***

CANDIDATO

Leonardo Bianchi

RELATORE:

Chiar.ma Prof.ssa Lisa Borgatti

CORRELATORE:

Dott. Geol. Fabrizio Millesimi

Anno Accademico 2012/2013

Sessione II

Indice

Introduzione.....	1
Capitolo 1.....	60
1.1 La Provincia di Rieti.....	60
1.2 Inquadramento territoriale e morfologico	62
1.3 Idrologia superficiale	65
1.4 Cenni storici e la costruzione della diga del Salto	66
1.5 Idrografia.....	73
1.6 Inquadramento geologico e geomorfologico	75
1.6.1 Storia geologica.....	75
1.6.2 Geologia.....	77
1.6.3 Geomorfologia	77
1.7 Idrogeologia.....	79
1.7 Il Comune di Varco Sabino.....	81
1.8 Localizzazione geografica.....	83
1.9 Cenni storici.....	86
1.10 Inquadramento geomorfologico.....	87
1.11 Inquadramento geologico.....	90
1.11.1 Stratigrafia	96
1.11.2 Tettonica	99
1.12 Idrografia e Idrogeologia	102
Capitolo 2.....	105
2.1 Inquadramento dei fenomeni franosi nel Lazio	105
2.2 I dati sui fenomeni franosi nella Provincia di Rieti	112
2.2.1 Analisi dei Dati	119
2.3 Rischi da frana connessi ai beni storico – architettonici.....	122
Capitolo 3.....	126

3.1 Elementi strutturali.....	127
3.2 Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso.....	131
3.2.1 Tipologia e volumetria dei massi.....	134
3.3 Verifiche di stabilità.....	135
Capitolo 4.....	138
4.1 La valutazione del rischio	138
4.1.1 Analisi dei possibili crolli.....	142
4.2 Valutazione delle traiettorie e delle energie di scendimento.....	143
4.2.1 Posizionamento barriere paramassi.....	146
4.4 Interventi.....	147
Capitolo 5.....	152
5.1 La manutenzione proposta.....	153
5.2 Stato attuale dei luoghi	155
Bibliografia e sitologia.....	164

Introduzione

Le problematiche inerenti il dissesto idrogeologico rappresentano attualmente uno dei principali interessi sia della comunità scientifica che di tecnici e amministratori preposti alla gestione del territorio.

In base ad approfonditi studi svolti in anni recenti, sono state elaborate dettagliate carte del dissesto idrogeologico del territorio (Figura 1), da cui possiamo capire come il territorio del nostro Paese è per sua natura predisposto a fenomeni di dissesto idrogeologico.

Dal report A.N.B.I. (Associazione Nazionale Bonifiche e Irrigazioni) del 2013, consultabile dal sito dell'associazione stessa, vengono mostrati i risultati sul dissesto idrogeologico e la sua grande diffusione in Italia: interessa, secondo i dati ufficiali, l'82% dei Comuni e comporta che 6 milioni di persone abitino in un territorio ad alto rischio idrogeologico e 22 milioni in zone a rischio medio.

Un'analisi svolta dall'Istituto di Ricerca per la protezione idrogeologica del Consiglio nazionale ricerche (CNR), rivela che tra il 1950 e 2012 si sono registrate 1.061 frane e 672 inondazioni, le cui vittime sono state oltre 9.000 e gli sfollati o "senza tetto" oltre 700.000.

Mentre secondo i dati Ance - Cresme del 2012, tra il 1944 e il 2011, il danno economico prodotto in Italia dalle calamità naturali supera i 240 miliardi di euro, con una media di circa 3,5 miliardi di euro all'anno, le cui calamità idrogeologiche hanno contribuito per circa il 25% al danno complessivo (Fonte A.N.B.I.).



Figura 1 – il dissesto idrogeologico italiano. (Tratta dall'Istituto Nazionale edizione Atlas)

La legislazione italiana, in merito alla difesa del suolo, è da più di un secolo attiva risultando essere piuttosto nutrita e ciò permette facilmente di evidenziare il dissesto idrogeologico come un rischio notevole per la nazione.

Quanto appena detto porta a delle considerazioni importanti:

la normativa sul dissesto idrogeologico ha carattere prevalentemente emergenziale ovvero che le leggi vengono emanate soltanto subito dopo un disastro e non programmate in funzione della prevenzione dello stesso come ad esempio la frana di Sarno, in Figura 2, avvenuta nel maggio del 1998 in cui si contarono circa 160 vittime. Successivamente a tale evento è stata emanata la Legge 267/98, la Legge Sarno.

Quest'ultima considerazione è molto importante perché è confermata anche questo studio, riguardante gli interventi di protezione della S.P. Diga Salto – Bivio Rocca Vittiana nonché della relativa zona a monte. Tali interventi di bonifica, sistemazione, consolidamento, presidio e protezione sono Iniziati nel 1992, solo in seguito ad un evento franoso di crollo, che ha causato gravi conseguenze per un occupante della strada.



Figura 2 - frana di Sarno (SA) del 1998.

Riprendendo quanto detto sulla Legislazione italiana e il suo carattere emergentistico; si può facilmente intuire come il Principio di Precauzione, che può essere riassunto dall'aforisma "prevenire è meglio che curare", viene completamente ignorato. In particolare in materia di interventi ed opere di sistemazione dei versanti non basta prevenire (o al limite curare), ma bisogna garantire anche una sana manutenzione delle strutture e delle sistemazioni messe in opera. Questa è un'altra motivazione che ha spinto allo studio di un fenomeno ricorrente nella provincia di Rieti e in particolare nel comune di Varco Sabino: la caduta massi.

Per giustificare quanto detto pocanzi e tornando al quadro normativo che si vuole descrivere, si riassume brevemente l'iter legislativo dal 1904 ad oggi, in cui si dovrà attendere il 1989 con la Legge 183/89, per avere la prima legge organica in materia di Difesa del Suolo che rappresenta il primo tentativo di un approccio integrato tra suolo – acqua – pianificazione:

- Legge 31/3/1904 – n.140;
- Legge 9/7/1908 – n.445: Norme per il consolidamento di frane minaccianti centri abitati e trasferimenti di abitati in altra sede (1306 abitati da consolidare e 323 da trasferire);
- Legge 17/08/1942 – n.1150: Aggiornamento della precedente (1351 abitati da consolidare e 329 da trasferire);
- Legge 26/11/1955 – n.1117;
- Legge 2/2/1974 – n.64 (art. 13): Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;

- D.P.R. n.616 del 1977 (Nuove disposizione dopo le meditate Proposizioni della Commissione De Marchi del 1970 – 1974);
- D.D.L. n.104 del 1978: “Programma decennale di interventi per la Difesa del Suolo”;
- D.M. Del 21/1/1981: 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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- D.M. Del 1984: Istituzione del G.N.D.C.I. (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche);
- Legge 7/5/1989 – n.183: Norme per il riassetto organizzativo e funzionale Della Difesa del Suolo. Essa è la prima legge che persegue la finalità di protezione del suolo. lo strumento centrale che essa utilizza è la pianificazione nella forma del piano di assetto idrogeologico (PAI) come piano settore e successivamente al D.I. 398/93 come piano stralcio del piano di bacino;
- Legge 267/98 (c.d. legge Sarno): Introduzione di un vero e proprio potere sostitutivo del Consiglio dei Ministri che opere in caso di inerzia delle amministrazioni competenti in merito all’adozione degli atti relativi all’individuazione, perimetrazione e salvaguardia delle aree a rischio idrogeologico;
- Legge 365/00 (legge Soverato): Introduzione di una conferenza programmatica tra Regione, Province, comuni e Autorità di Bacino in modo da assicurare la coerenza tra pianificazione di bacino e pianificazione territoriale;
- D.I. Del 5/10/1993 – n.398: Introduzione del comma 6 dell’articolo 17 della Legge 183/89 atto ad introdurre e definire il PAI come piano stralcio del piano di bacino;
- D.I. Del 11/06/1998 – n.180 (Decreto Sarno): Introduzione di una prima scadenza per l’adozione del PAI al 31/12/1998;
- D.L.132 del 13.05.99 (in seguito convertito dalla L.226/99): Introduzione dello strumento dei piani straordinari per l’individuazione delle aree a rischio idrogeologico più alto.

Oltre a questo iter Legislativo sopraelencato, è doveroso sottolineare il grande lavoro svolto negli ultimi decenni dallo Stato italiano, attraverso il C.N.R. con la collaborazione delle Università che ha permesso alle istituzioni periferiche quali le Regioni, le Provincie e i Comuni potessero disporre di banche-dati per fornire un quadro conoscitivo del territorio sufficientemente esaustivo.

Prima di introdurre l'oggetto di studio di questa tesi di laurea triennale, si vuole riassumere brevemente tutto ciò che concerne il dissesto idrogeologico e il rischio da frana in modo del tutto generale. Non mancherà una panoramica sulle attuali opere di sistemazione dei versanti per la prevenzione e mitigazione del rischio, che ci servirà per condurre lo studio svolto nel medesimo elaborato.

Con il termine "dissesto idrogeologico" si definisce genericamente l'insieme di quei processi che vanno dalle erosioni contenute e lente, alle forme più consistenti della degradazione superficiale e sottosuperficiale dei versanti, fino alle forme imponenti e gravi delle frane. Questi eventi modificano il territorio in tempi relativamente rapidi o rapidissimi, con effetti spesso distruttivi sulle opere, le attività e la stessa vita dell'uomo.

A proposito del concetto di difesa del suolo, la relazione finale della Commissione De Marchi (1970 e 1974) intende:

"ogni attività di conservazione dinamica del suolo, considerato nella sua continua evoluzione per cause di natura fisica e antropica, e ogni attività di preservazione e di salvaguardia di esso, della sua attitudine alla produzione e delle installazioni che vi insistono, da cause straordinarie di aggressione dovute alle acque meteoriche, fluviali e marine o di altri fattori meteorici".

Le cause del dissesto idraulico-geologico sono le alluvioni, i movimenti gravitativi, i terremoti, le erosioni, le valanghe, l'arretramento dei litorali e la subsidenza mentre l'abusivismo edilizio, la realizzazione di opere infrastrutturali non adeguatamente progettate, l'estrazione illegale di inerti, il disboscamento indiscriminato, la cementificazione selvaggia, l'abbandono delle aree montane e l'agricoltura intensiva sono tutti fattori che contribuiscono in maniera determinante a sconvolgere l'equilibrio idrogeologico del territorio.

Per quanto riguarda il concetto di rischio geologico, esso può essere definito come la *"combinazione della pericolosità geologica e della potenziale vulnerabilità antropica 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 alii, 1975). Il rischio geologico rientra nella più ampia categoria di rischio ambientale i cui concetti di

pericolosità ambientale e vulnerabilità territoriale sono ad esso strettamente legati. A tal proposito si riportano le definizioni tratte da PANIZZA (1988):

- pericolosità ambientale: probabilità che un certo fenomeno, naturale o indotto più o meno direttamente dall'antropizzazione, si verifichi in un certo qual territorio, in un determinato intervallo di tempo;
- vulnerabilità territoriale: l'insieme complesso della popolazione, delle costruzioni, delle infrastrutture, delle attività economiche, dell'organizzazione sociale e degli eventuali programmi di espansione e di potenziamento di un certo territorio;
- rischio ambientale: la probabilità che le conseguenze economiche e sociali di un certo fenomeno di pericolosità superino una determinata soglia.

Per quanto riguarda i concetti generali di rischio, pericolosità, vulnerabilità, elementi a rischio ecc. si riportano alcune delle relative definizioni (UNESCO: WP/WLI, 1993 a; WP/WLI 1093 b):

- PERICOLOSITÀ (H): probabilità che un potenziale evento dannoso investa una data area, con una determinata intensità, in un periodo di tempo definito. Si esprime in termini di probabilità annuale. La definizione della pericolosità di un'area è funzione di tre componenti: valutazione dell'area interessata (susceptività); valutazione dell'intensità del fenomeno atteso; valutazione della frequenza dell'evento, cioè del tempo di ritorno.
- ELEMENTO A RISCHIO (E): elemento o insieme di elementi (vite umane, attività economiche, edifici, infrastrutture, reti di servizio, ecc.) esposti alla probabilità che in un dato periodo di tempo possano essere investiti da un evento estremo di una determinata intensità.
- VULNERABILITÀ (V): Grado di perdita prodotto su un elemento o su una serie di elementi (popolazione umana, edifici, infrastrutture, attività economiche, servizi sociali, risorse naturali, ecc.) esposti a rischio (E) risultante dal verificarsi di un evento dannoso di una intensità data. Il suo valore si esprime in una scala da 0 (nessuna perdita) a 1 (perdita totale). Le aree caratterizzate da un determinato livello di pericolosità che potrebbe arrecare danno alle persone e alle cose, costituiscono le aree vulnerabili. In altre parole, la vulnerabilità esprime la correlazione esistente tra l'intensità di un evento e il danno atteso.

- VALORE O ESPOSIZIONE DELL'ELEMENTO A RISCHIO (W): Quantificazione del valore economico o del numero di unità relative ad ognuno degli elementi a rischio in una data area.
- RISCHIO (R): probabilità di perdita di valore di un elemento esposto al pericolo o, in altri termini, come la quantificazione del valore atteso delle perdite (umane e materiali) dovute ad un particolare evento dannoso. Si suddivide in:
 1. Rischio Specifico (R_s): Grado di perdita atteso quale conseguenza di un particolare evento di data intensità, espresso in termini di probabilità annuale o tempo di ritorno. Il rischio specifico è funzione della pericolosità e della vulnerabilità. Può essere espresso come: $R_s = H \times V$.
 2. Rischio Totale (R_t): Valore atteso delle perdite umane, dei feriti, dei danni alle proprietà e delle perturbazioni alle attività economiche dovuti ad un evento dannoso. E' espresso in termini di costo annuo oppure di quantità o unità perse per anno. E' quindi il rischio specifico valutato in termini economici per tutti gli elementi esposti al fenomeno. Può essere espresso come: $R = H \times V \times E = R_s \times E$.

Per una completa valutazione del rischio non basta definire il rischio specifico o totale determinato dall'esistenza di fenomeni idrogeologici potenzialmente distruttivi, ma bisogna passare al confronto tra il valore di rischio determinato e quello di rischio accettabile:

- RISCHIO ACCETTABILE: Rischio compreso entro il limite oltre il quale esso diviene troppo grande per essere tollerato dalla società nella quale si verifica, in funzione del complesso delle caratteristiche culturali, sociali ed economiche.

Secondo una *review* (Pubblicata nella rivista Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2011: Rockfall characterisation and structural protection), in principio stimare il rischio frana richiedeva la valutazione di:

- a) La probabilità temporale (frequenza annuale o tempo di ritorno) e la suscettibilità spaziale delle frane;
- b) La traiettoria 3-D e la massima caduta di blocchi;
- c) La distribuzione dell'intensità della frana in ogni luogo e lungo ogni traiettoria coinvolta.

Esso, in alternativa alla definizione precedente, può anche essere definito come la possibilità che uno specifico luogo in un versante sia raggiunto da un evento franoso di una data intensità e che venga espresso come:

$$H_{ijk} = P(L)_j \times P(T/L)_{ijk}$$

Quando $P(L)_j$ è la probabilità di origine dell'evento franoso nella classe j di magnitudine (Ad esempio, il volume), e $P(T/L)_{ijk}$ è la probabilità raggiunta. Questa è la probabilità che i blocchi vengano stimolati dal medesimo evento per raggiungere il luogo i con un'intensità (cioè, l'energia cinetica) valutata in classe k . Dalla probabilità e dalla forte intensità dipende la magnitudine iniziale (vale a dire, di massa) delle frane, per cui il rischio può assumere differenti scenari di grandezza, esplicitamente o implicitamente associati alla frequenza annuale o a periodi di ritorno. La $P(L)_j$ dipende dalla fisica dei processi di frana e dalla topografia. I modelli più semplici che descrivono la propagazione della frana si basano sull'approccio "*shadow angle*" (metodo empirico e veloce per valutare la massima zona di invasione, senza dover far riferimento a parametri di tipo meccanico, e si basa unicamente sulle caratteristiche geometriche del versante) secondo cui la massima distanza di viaggio dei blocchi è definita dall'intersezione della topografia con una linea energetica avente un'inclinazione stimata empiricamente (Figura 3).

Gli elementi esposti a rischio non sono considerati nella definizione suddetta. Ciò nonostante, gli approcci alla sua stima possono andare in conflitto con i problemi caratterizzati dalle differenti distribuzioni spaziali di bersagli potenzialmente esposti che possono essere: puntiformi (case), lineari (strade, binari) ed areali (villaggi). Inoltre, è probabile che obiettivi di forma e grandezza diversa comportino un numero diverso di traiettorie derivanti dalle molteplici fonti di frana (Figura 2.1), influenzando la locale probabilità di accesso. I metodi di stima potrebbero essere calcolati con la natura spazialmente distribuita del rischio. Nonostante siano stati proposti diversi metodi di valutazione del rischio, pochissimi soddisfano tutti questi requisiti. Essi differiscono gli uni dagli altri nel metodo di calcolo dalla frequenza o suscettibilità della caduta massi e per la probabilità, combinando gli stessi per ottenere classifiche di rischio quantitative o qualitative.

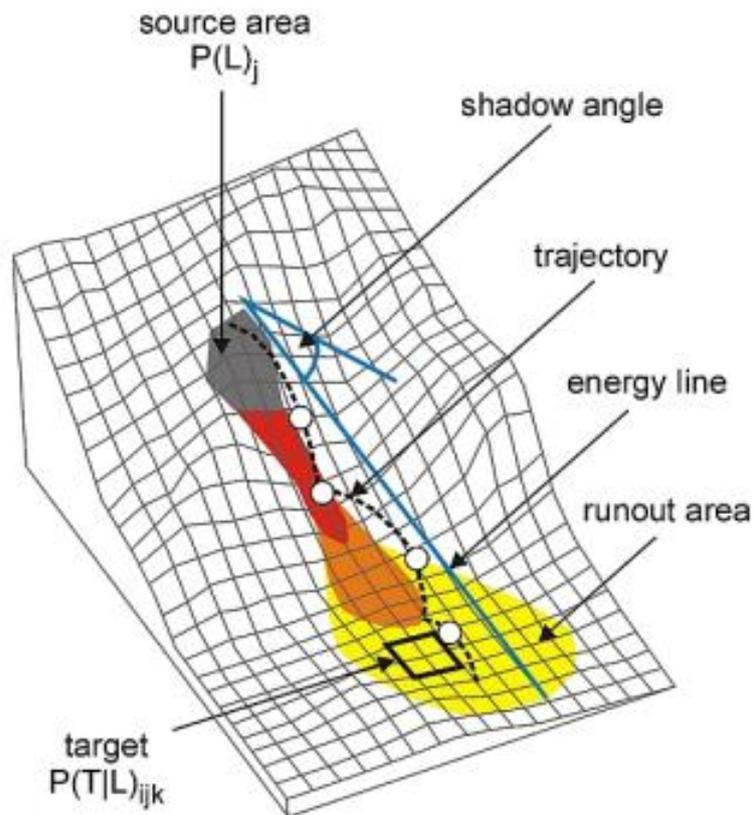


Figura 3 – Definizione di pericolo caduta massi e relativi parametri. (Tratta da Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2011)

I principali fenomeni naturali che causano nel territorio italiano il dissesto idrogeologico sui versanti, classificati in funzione degli agenti morfogenetici esogeni dai quali prendono origine come ad esempio: forza di gravità, acque di dilavamento e neve; sono raggruppati nella Tabella 1 seguendo lo schema proposto dal “quadro sinottico dei fenomeni di dissesto geologico - idraulico sui versanti” proposto nel Manuale sui << fenomeni di dissesto geologico – idraulico sui versanti >> (APAT, 2006).

Tabella 1 - Principali fenomeni naturali che causano il dissesto idrogeologico sui versanti.

DISSESTI DOVUTI ALLA GRAVITA'	
FRANE	Crolli <i>falls</i>
	Ribaltamenti <i>topples</i>
	Scorrimenti rotazionali <i>Rotational slides</i>
	Scorrimenti traslativi <i>Traslational slides</i>
	Colamenti lenti <i>Flows</i>
	Colate rapide di detrito e fango <i>Debris flows, mud flows</i>
	Espansioni laterali <i>Lateral spreading, lateral spreads</i>
	Movimenti complessi <i>Comple slope movements</i>
	Insaccamenti (o colate in roccia) <i>Rock flows</i>
DEFORMAZIONI GRAVITATIVE PROFONDE DI VERSANTE	Scorrimenti in blocco di roccia <i>Block slides</i>
	Espansioni laterali <i>Lateral spreads</i>
	Soliflussi <i>Solifluction</i>
MOVIMENTI LENTI SUPERFICIALI	Reptazioni <i>Soil creep</i>
	Aree soggette a frane superficiali diffuse
ALTRI FENOMENI DI DISSESTO	Aree soggette a crolli e/o ribaltamenti diffusi
	Sprofondamenti <i>Sinkholes</i>
	DISSESTI DOVUTI AL DILAVAMENTO
Erosione areale per ruscellamento diffuso <i>Sheet erosion</i>	
Erosione per ruscellamento concentrato a rivolti e a solchi <i>Rill erosion, gully erosion</i>	
DISSESTI DOVUTE ALLE VALANGHE	

Il contenuto della Tabella 1 propone una classificazione basata sulle caratteristiche litologiche, geometriche, cinematiche ed evolutive per descrivere i fenomeni di dissesto. Lo schema proposto per i dissesti dovuti alla gravità fa riferimento ai più diffusi sistemi di classificazione, i quali risultano: di Varnes (1978), integrato e adattato da Carrara et alii (1985) alla situazione geologica italiana e ripreso in seguito nella "Guida alla compilazione della scheda IFFI" (inventario Fenomeni Franosi in Italia) (Amanti et alii, 2001) per le frane (Figura 4); Di Varnes (1978) per le deformazioni gravitative profonde di versante; Il progetto IFFI (Amanti et alii, 2001) che ha introdotto le tre categorie classificate come "altri fenomeni di dissesto".

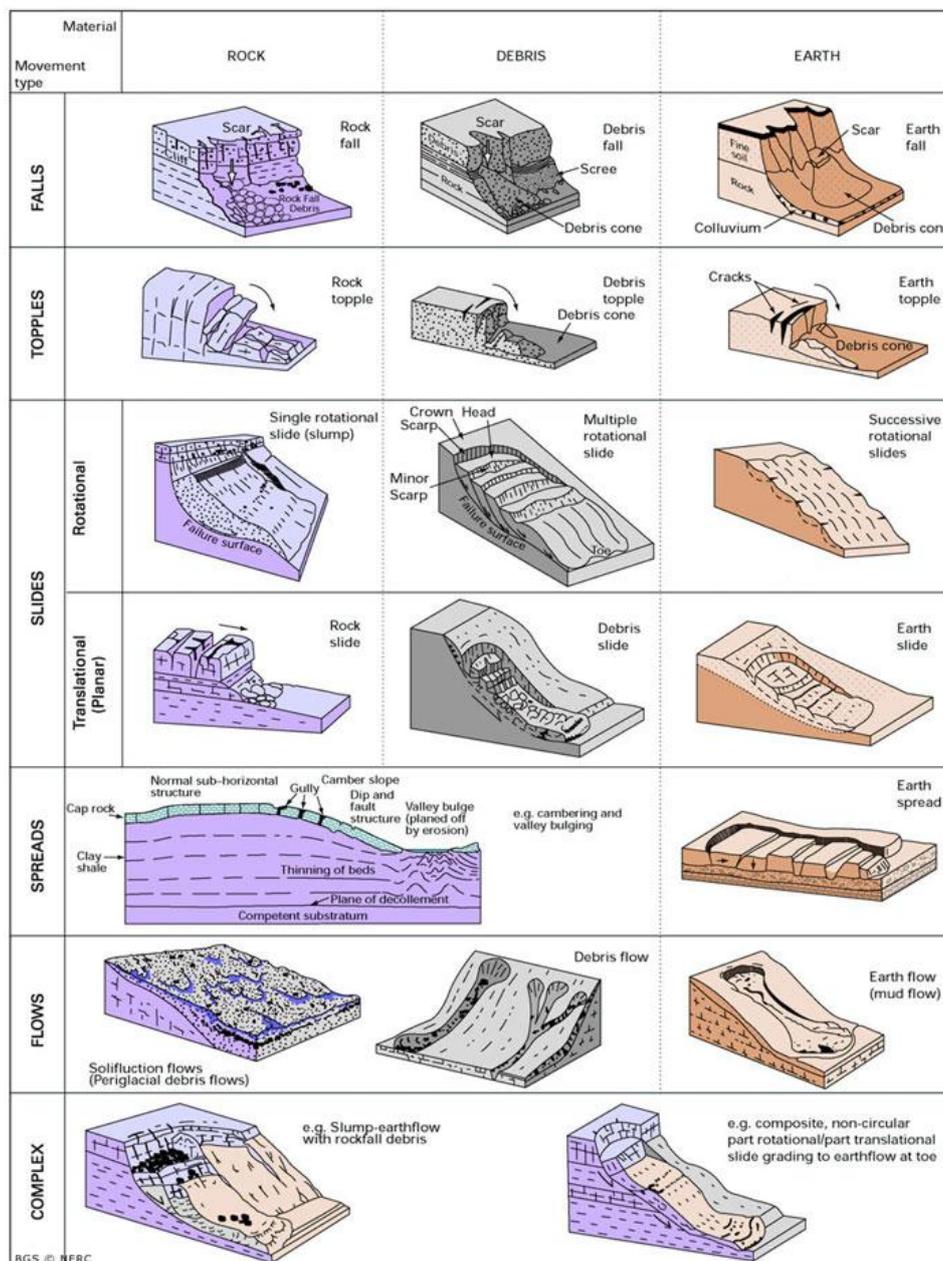


Figura 4 – Classificazione delle frane secondo lo schema base di Varnes (1978) e Cruden & Varnes (1996).

(Tratta dal sito www.bgs.ac.uk)

Generalmente per una buona conoscenza di un fenomeno di dissesto, risulta determinante il tipo di materiale coinvolto, con riferimento alle condizioni vigenti in sito prima del movimento (stato di attività).

I materiali si distinguono in tre classi principali:

- 1) Roccia: aggregato naturale di grani minerali legati da forza coesive elevate e permanenti;
- 2) Detrito: aggregato naturale di granuli, costituiti prevalentemente da elementi maggiori di 2 mm, non legati tra loro;
- 3) Terra: aggregato di granuli, costituito prevalentemente da elementi inferiori a 2 mm, non legati fra loro.

Come riportato da Carrara et alii (1985), vengono fornite delle precisazioni riguardo le variazioni che i materiali possono subire nel corso dell'evoluzione di un fenomeno di dissesto:

“il tipo di materiale coinvolto è classificato secondo il suo stato prima del movimento iniziale, oppure, se il movimento cambia, secondo il suo stato al momento nel quale è avvenuto il cambiamento”.

Per quanto riguarda lo stato di attività di un fenomeno di dissesto, esso fornisce informazioni relativamente al tempo in cui esso si è verificato. La terminologia adottata nella descrizione dello stato di attività fa riferimento alle raccomandazioni del WP/WLI (1993a) e del Glossario Internazionale delle Frane (WP/WLI 1993b) nonché su quanto proposto da Cruden & Varnes (1996). Le fonti di informazione sulla cui base viene definito lo stato di attività di un fenomeno sono:

- 1) Indicatori cinematici visibili sul terreno per mezzo di rilevamento tradizionale, aerofotogrammetria, telerilevamento;
- 2) Monitoraggio di tipo geodetico (topografia tradizionale, GPS) o con strumentazioni quali ad esempio inclinometri;
- 3) Informazioni di tipo bibliografico, cartografia geomatica, banche dati, testimonianze.

In particolare lo stato di attività di una frana si suddivide in:

- Attivo (*active*):
 1. Attivo: fenomeno attualmente in movimento;
 2. Sospeso: fenomeno che si è mosso entro l'ultimo ciclo stagionale ma che non si muove attualmente;
 3. Riattivato: fenomeno di nuovo attivo dopo essere stato inattivo.

- Inattivo (*Inactive*) se l'ultima fase di attività risale a prima dell'ultimo ciclo stagionale o stabilizzato (*Stabilized*):
 4. Quiescente: fenomeno che può essere riattivato dalle sue cause originali;
 5. Naturalmente stabilizzata: fenomeno che non è più influenzato dalle sue cause originali;
 6. Artificialmente stabilizzata: fenomeno che è stato protetto dalle sue cause originali da misure di stabilizzazione;
 7. Relitta: fenomeno che si è sviluppato in condizioni geomorfologiche o climatiche considerevolmente diverse dalle attuali.

Nella Figura 5 vengono rappresentate le possibili successioni evolutive dello stato di attività di una frana da ribaltamento.

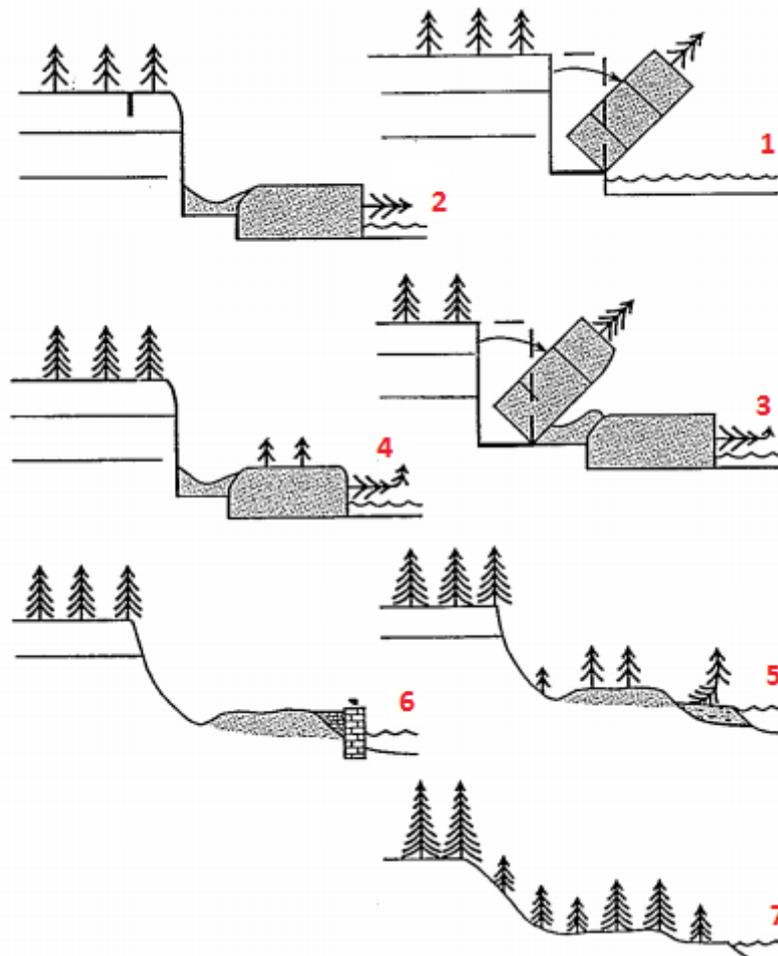


Figura 5 – frane da ribaltamento con diversi stati di attività. (Tratta dal Glossario Internazionale delle Frane Wp/WLI 1993b)

I fenomeni di tipo franoso e in particolare il “rischio da frana”, rappresenta uno degli eventi più catastrofici insieme alle alluvioni, per gli ingenti danni arrecati ai beni e all’uomo.

La memoria storica ci porta a ricordare i maggiori eventi calamitosi degli ultimi 50 anni: la frana del Vajont del 1963 (Figura 6); la grande frana di Ancona del 1982 (Figura 7); la frana della Valtellina del 1987 (Figura 8); tutto ciò ha causato movimenti franosi di dimensioni enormi, decine di milioni di metri cubi di terreno mobilitato, che hanno investito centri abitati, opere d’arte e vie di comunicazione di primaria importanza, causando perdite di vite umane e danni calcolabili in migliaia di miliardi (Menotti, et alii, 1992).



Figura 6 - Frana del Vajont del 1963. (Tratta dal sito www.sici.irpi.cnr.it)



Figura 7 - Frana di Ancona del 1982. (Tratta dal sito www.sici.irpi.cnr.it)

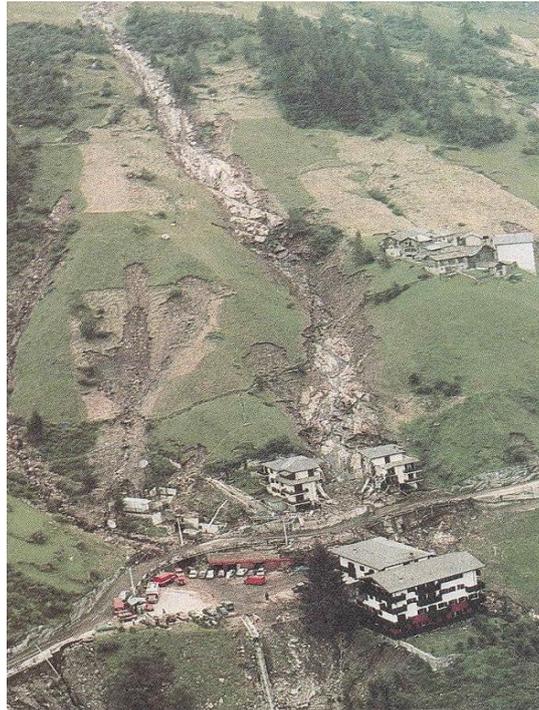


Figura 8 - Frana della Valtellina del 1987. (Tratta dal sito www.sici.irpi.cnr.it)

La frana è un processo estremamente rapido sviluppatosi a lunga distanza geografica. Per questa ragione, quando esso si manifesta, la possibilità di compiere un'azione evasiva è pari allo zero e, quindi, il rischio di danno o di perdita risulta elevato. In alcuni casi, comunque, è necessario adottare le possibili misure di protezione.

Nel tempo sono state proposte diverse definizioni per descrivere tale evento, come già dal 1910 Almagià R. scrive:

“È frana ogni forma accelerata e catastrofica della demolizione subaerea che sia effetto più o meno diretto della gravità”.

La definizione viene ampliata da Desio A. nel 1959:

“Col termine frana non si intendono soltanto tutti i movimenti, più o meno rapidi, di masse rocciose, ma anche movimenti relativamente lenti, come le colate d'argilla. Con esso viene indicato sia il movimento franoso sia i suoi effetti, rappresentati in genere da uno squarcio sul terreno e da un accumulo di detriti più a valle”.

Con maggior dettaglio Valdinucci A. e Brugner W. (1972) affermano:

“Sotto la denominazione generica di ‘frane’ sono accomunati tutti quei più o meno complessi e multiformi fenomeni, sia dovuti a processi naturali e sia artificialmente provocati, consistenti nello spostamento gravitativo, da lento a

rapido, continuo o discontinuo, di masse rocciose da coerenti ad incoerenti, morfologicamente evidenziate da fenditure e fratture che denunciano la presenza di una superficie di distacco o di rottura (separante le porzioni in movimento da quelle in posto) e da una zona di accumulo o di progressiva accumulazione nel caso che il movimento franoso non si esaurisca in una sola fase”.

In particolare si definisce frana il rischio naturale che, comparato ad altri, presenta solamente un impatto ridotto a piccole aree, il cui danneggiamento di infrastrutture o persone direttamente coinvolte può essere comunque alto e di serie conseguenze.

Vi è una larga varietà di misure protettive contro il fenomeno frana: questa include protezione naturale per mezzo delle foreste, strutture semi-naturali come dighe o fossi oppure strutture interamente artificiali: recinzioni, gallerie o muri.

Per quanto riguarda la riduzione del rischio esso fa parte della prevenzione e mitigazione che si occupa di ridurre la Pericolosità H (per cui riguarda l'evento idrogeologico) o la vulnerabilità V. Per ridurre la pericolosità è evidente che si deve agire sulle cause di innesco del fenomeno (Frane, Inondazioni, Terremoti, Acquiferi ecc.) tramite strategie di correzione. Nel diagramma in Figura 9, viene indicata una generica situazione di rischio (funzione del valore degli elementi a rischio $R_S = R/E$) oltre la soglia del rischio accettabile, con i relativi tentativi di riduzione del rischio rappresentati dai vettori di origine $(H_1;V_1)$.

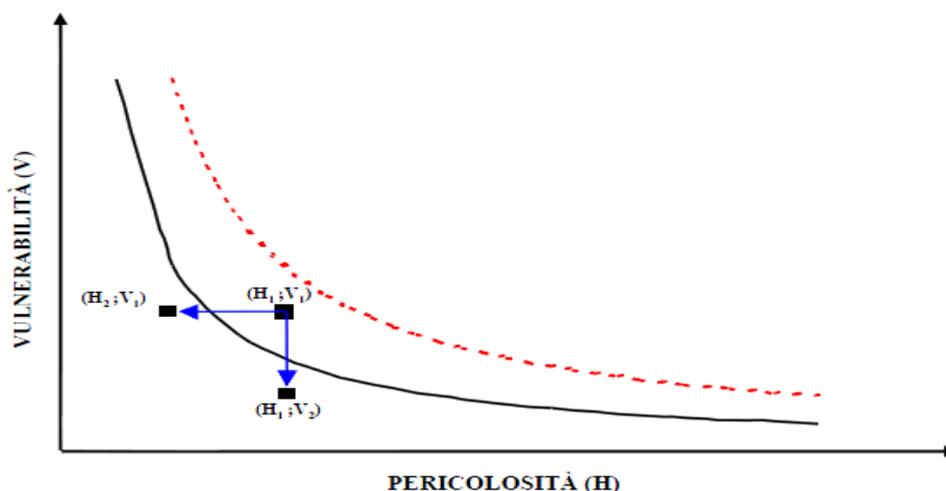


Figura 9 – Rappresentazione schematica dell'effetto delle differenti strategie di mitigazione del rischio: la curva in nero ed in rosso schematizzano la soglia del rischio accettabile per un dato valore degli elementi a rischio, i vettori in blu le strategie di correzione (vettore orizzontale) e di desensibilizzazione degli elementi a rischio (vettore verticale). (Tratta dalle “Linee guida per la stabilizzazione delle frane” –

UNIFI/DST, ADBARNO)

Si parla di mitigazione del rischio naturale e non di eliminazione (o azzeramento) in quanto, un rischio residuo – per quanto piccolo – permane sempre.

La mitigazione si può perseguire con interventi di tipo strutturali e non strutturali ma quasi sempre si interviene con entrambe le tipologie di intervento, soprattutto in casi ad elevata pericolosità.

Per ridurre la pericolosità si deve intervenire sull'evento con l'applicazione di opere di mitigazione (difesa) che possono essere di due tipi:

- Difesa attiva: Evitano che il fenomeno franoso possa avvenire, cercando di eliminarle le cause scatenanti (drenaggio delle acque superficiali e sotterranee, inerbimenti ecc.);
- Difesa passiva: Si effettuano quando il movimento franoso è già in atto e servono a proteggere i beni di interesse.

Le cause del dissesto idrogeologico, anche in relazione agli interventi da realizzare, si possono suddividere in:

- a) Erosione al piede del pendio;
- b) Circolazione idrica superficiale e profonda;
- c) Eccessiva pendenza.

Inoltre prima di affrontare qualsiasi intervento di sistemazione di una frana è necessario analizzare e quantificare:

1. La natura geologica, sismica e pedologica del versante;
2. L'orografia;
3. Il clima;
4. L'idrologia;
5. La copertura vegetale.

Prima di introdurre la situazione a monte della strada Provinciale Diga del Salto – Bivio Rocca Vittiana nel comune di Varco Sabino (RI) oggetto di questo studio, di seguito verranno elencate le principali opere di sistemazione dei versanti e verranno citate due aziende che operano nel campo.

La descrizione di tali opere, come precedentemente sottolineato, risulterà propedeutica per gli studi effettuati per eliminare situazioni di rischio connesse alle condizioni orografiche e del suolo nella zona considerata. Pertanto, le principali tipologie di interventi strutturali in uso con le relative varianti, partendo dalle opere superficiali, eseguite con i metodi dell'Ingegneria Naturalistica, fino ad arrivare a quelle profonde eseguite con tecnologie speciali, sono:

Opere per il controllo dell'erosione superficiale: Le acque piovane una volta raggiunta la superficie terrestre, possono in parte infiltrarsi in profondità nel suolo, in parte possono scorrere sulla superficie se questa è appena inclinata, originando un flusso superficiale diretto secondo la massima pendenza. Questo fenomeno provoca sulla superficie del terreno l'asportazione e il trasporto di particelle solide, di suolo e di roccia, verso la parte bassa del versante, dove il materiale eroso può accumularsi formando depositi colluviali. In tali processi l'acqua interviene come agente diretto di erosione e in particolare le acque di dilavamento danno luogo all'erosione superficiale. Da non trascurare anche gli effetti del vento e delle escursioni termiche.

Danni derivanti dai fenomeni erosivi nel loro complesso sono riportati nella seguente tabella 2.

Tabella 2: Conseguenze derivanti dai fenomeni erosivi, differenziate tra quelle prodotte direttamente là dove l'erosione si è verificata e quelle indotte in luoghi lontani. (Giordano, 2002).

EROSIONE IDRICA	
DANNI IN SITU DOVE L'EROSIONE SI È VERIFICATA	DANNI OCCORSI IN LOCALITÀ LONTANE DAL LUOGO DOVE L'EROSIONE SI È VERIFICATA
asportazione degli orizzonti organici dalla superficie del suolo;	alluvioni;
rimozione di sostanze nutritive;	polluzione dell'acqua;
distruzione della struttura e compattazione della superficie del suolo;	interrimento delle opere di sbarramento o dighe, dei bacini di raccolta dell'acqua, dei canali, dei corsi d'acqua;
riduzione di produttività del suolo;	modifiche dell'andamento o dell'assetto dei corsi d'acqua;
riduzione dell'infiltrazione;	sedimentazione di materiali sabbioso-argillosi sui campi;
diminuzione nella ricarica della falda freatica;	deterioramento dei luoghi di pesca;
erosione superficiale;	eutrofizzazione dei corsi d'acqua.
asportazione di materiale fine e aumento di elementi grossolani in superficie;	
formazione di incisioni;	
sradicamento di vegetali.	

Le opere per il controllo dall'erosione superficiale realizzano coperture vegetali che consentono un efficace controllo e mitigazione dei fenomeni d'erosione, proteggendo il terreno dall'azione aggressiva dei fenomeni suddetti. Le tecniche costruttive ed i materiali impiegati sono differenti in relazione alle caratteristiche litologiche, pedologiche, morfologiche e climatiche della zona d'intervento. Le tipologie di opere che trovano applicazione nell'ambito degli interventi di sistemazione e difesa dall'erosione e dalle frane dei versanti sono riportate nella tabella 3, insieme alle opere di stabilizzazione superficiali, compresi dei relativi campi di applicazione. È opportuno sottolineare che le opere di protezione dall'erosione superficiale determina, come visto precedentemente, anche la regimazione delle acque superficiali ed ipodermiche e possono produrre la sottrazione di acqua dal terreno. A tal proposito non si è voluto inserirle nella categoria delle opere di drenaggio, la cui descrizione si rimanda nel seguito, poiché si vuole distinguere più chiaramente la loro funzione tecnica-naturalistica.

Tabella 3: Opere per il controllo dell'erosione superficiale e per la stabilizzazione superficiale.

(Tratta dalle "Linee guida per la stabilizzazione delle frane" – UNIFI/DST, ADBARNO)

STRUTTURE DI PROTEZIONE SUPERFICIALE		ROCCIA		TERRA		DETRITO
		SCIVOLAMENTI	CROLLI	SCIVOLAMENTI	COLATE LENTE	COLATE RAPIDE
OPERE PER IL CONTROLLO DALL'EROSIONE SUPERFICIALE	Rivestimenti con materiale biodegradabile			•		•
	Rivestimenti con materiale sintetico			•		•
	Inerbimenti			•		•
OPERE DI STABILIZZAZIONE SUPERFICIALE	Piantumazioni			•		•
	Gradonature			•		•
	Fascinate			•		•
	Viminate e palizzate			•		•
	Palificate			•		•
	Grate			•		•
	Materassi			•		•

In merito alle tipologie di opere per la difesa dall'erosione superficiale si hanno i Rivestimenti antierosivi con materiali biodegradabili (Figura 10), usati quasi sempre in associazione con idrosemina o con l'impianto di talee e piantine, negli interventi di sistemazione e consolidamento di pendii o scarpate o di altre opere di ingegneria. I materiali utilizzati sono caratterizzati da una biodegradabilità totale (fibre di paglia, cocco, juta, sisal ecc.), da permeabilità e capacità di ritenzione idrica elevate e da spiccate proprietà protettive superficiali del terreno. Essi trovano una vasta applicazione in numerosi interventi idraulico-forestale, di consolidamento dei pendii instabili ed in numerose opere di ingegneria. Si classificano in funzione del materiale, della struttura e delle tecniche costruttive:

- Biotessili:
 - Bioreti: Fibre naturali (cocco, juta o sisal) tessute a maglie aperte, annodate e/o saldate in modo da formare una struttura tessuta aperta e deformabile per adattarsi al supporto;
 - Biofeltri: Teli non tessuti composti da fibre vegetali (paglia, cocco, trucioli di legno) sciolte o pressate, ottenuti grazie alla capacità "feltrante" dei filamenti.
- Biostuoie: Formate da strati di fibre naturali biodegradabili (paglia, cocco, juta) spesse una decina di mm, assemblati in modo da formare una struttura intrecciata, semiaperta e deformabile che si adatta facilmente al terreno sulla quale viene stesa.



Figura 10 – Rivestimenti antierosivi con materiali biodegradabili: a sinistra Biorete in fibra di juta, al centro Biofeltro in paglia ricoperto con materiale plastico fotodegradabile, a destra Biostuoia in fibra di cocco ricoperta con materiale plastico fotodegradabile. (Tratta da REGIONE LIGURIA, 1997)

In alternativa si hanno i Rivestimenti antierosivi sintetici (Figura 11) realizzati con dei prodotti prefabbricati che svolgono oltre all'azione di protezione meccanica superficiale (su pendii e/o scarpate naturali o artificiali), anche funzioni di contenimento e di stabilizzazione corticale; così facendo questi materiali permettono lo sviluppo di una copertura vegetale stabile in grado di svolgere un'efficace ruolo autonomo di consolidamento superficiale e di rinaturalizzare

contesti degradati dalla costruzione di opere di ingegneria. Tali rivestimenti sono utilizzati spesso in scarpate molto ripide per impedire i piccoli rilasci gravitativi.

Materiali e tecniche più comunemente utilizzate sono:

- Geostuoie tridimensionali: Materiali costituiti da filamenti di materiale sintetico (polietilene ad alta densità, poliammide, polipropilene), aggrovigliati in modo da formare un materassino molto flessibile dello spessore di 10-20 mm;
- Geocompositi antierosivi: Materiali prefabbricati costituiti dall'associazione di prodotti geosintetici e non. In particolare le geostuoie rinforzate (geostuoia tridimensionale unita con un elemento di rinforzo) sono una categoria importante di geocompositi, utilizzate per il controllo dell'erosione su scarpate in terra o in roccia alterata molto ripide;
- Rivestimenti vegetativi: Tecnica che vede la posa in successione di una biostuoia o geostuoia tridimensionale, e di una rete metallica a doppia torsione a maglie esagonali in trafilato d'acciaio zincato, con funzione di contenimento;
- Geocelle: Geosintetici a struttura alveolare flessibili, resistenti e leggeri. Vengono utilizzate come sistemi di stabilizzazione corticale per impedire lo scivolamento e l'erosione di strati di terreno di riporto su forti pendenze.



Figura 11 – Impiego di Geostuoia rinforzata con rete metallica a doppia torsione durante la fase della posa (a sinistra) e dopo l'idrosemina (a destra). (Tratta da ANPA, 2002)

Infine, si hanno le tecniche di Inerbimento (Figura 12). Esse sono utilizzate per vincere la sterilità biologica dei pendii in terra poiché, come si è visto, la realizzazione di rivestimenti vegetali è importante e sufficiente per proteggere gli strati più superficiali del terreno dall'azione aggressiva delle acque correnti meteoriche e superficiali, del vento e delle escursioni termiche. Le tecniche più comuni d'inerbimento sono:

- Semina a spaglio: si spargono con mezzi meccanici o a mano ed in modo uniforme sui versanti con acclività non superiore ai 20°;

- Coperture di zolle erbose: si utilizzano soprattutto in quota o su pendii ripidi, ove l'attecchimento dei semi è difficoltoso;
- Sistema Nero-Verde: formazione di una pellicola bituminosa protettiva che protegge i semi e i concimi sparsi su uno strato di paglia o cellulosa. Essa è una tecnica molto costosa, utilizzata in alta quota e con impatti paesaggistici elevati;
- Idrosemina: soluzione di acqua, semi e collanti spruzzata ad alta pressione su pendii anche molto acclivi e degradati. Si utilizza anche per il recupero ambientale di cave e discariche e per inerbimenti di piste da sci.
- Pacciamatura: creazione di uno strato superficiale di diversi materiali organici (fieno, fibra di legno, paglia ecc.) e inorganici (bitume, leganti chimici ecc.) al fine di mantenere l'umidità del suolo, proteggere dall'erosione e dall'azione della pioggia. Si adatta a diverse situazioni morfologiche.



Figura 12 – Risultati degli interventi di inerbimento a distanza di pochi mesi dall'ultimazione dei lavori: a sinistra inerbimento tramite la tecnica dell'idrosemina, a destra inerbimento tramite il sistema nero-verde. (Tratte da ANPA, 2002 e www.Vandeborre.it)

In questa categoria si inseriscono anche tutti quegli interventi che uniscono all'azione di controllo dell'erosione superficiale un'azione di stabilizzazione del materiale di copertura dei versanti, tramite la realizzazione di strutture di rinforzo del terreno entro cui impiantare talee o piantine radicate; i materiali vegetali vivi, hanno una funzione di rinaturalizzazione ma anche tecnica perché le piante impediscono l'erosione superficiale, intercettando e rallentando il deflusso delle acque meteoriche, e rinforzando il terreno con il loro sviluppo del loro apparato radicale.

La realizzazione di opere di consolidamento superficiale che utilizzano materiali vegetali vivi (legname o altro materiale), hanno un basso impatto ambientale e inoltre consentono un ottimo recupero naturale delle aree degradate, favorendo il

consolidamento dei pendii e lo sviluppo successivo della copertura vegetale (ripristino di ecosistemi danneggiati, figura 13). Queste opere si classificano come:

- Piantumazioni: Tecnica che riguarda la messa a dimora di talee di salici, tamerici ed altre specie o piantagione di semenziali o trapianti di arbusti, di alberi e/o di specie pioniere. E' importante che prima di effettuare l'intervento, si valuti la possibile presenza di fenomeni franosi profondi, in aggiunta a quelli di natura superficiale, tramite un'attenta indagine geomorfologica dell'area e opportune verifiche di stabilità.
- Gradonature: Tecnica che prevede quattro tipologie costruttive, differenziate soprattutto in funzione del materiale vegetale impiegato:
 1. Cordonate;
 2. Gradonate con talee (salici, tamerici, pioppi);
 3. Gradonate con piantine radicate (pioppi, salici ecc. di 2-3 anni di vita);
 4. Gradonate miste di piantine e talee.
- Fascinate: Tecnica utilizzata negli interventi di sistemazione dei versanti con pendenza non superiore ai 30°-35°. Si distinguono due tipologie costruttive di fascinate vive che si differenziano in base al materiale vegetale impiegato:
 1. Fascinate vive con ramaglia;
 2. Fascinate vive con piantine.
- Viminate e Palizzate: Le Viminate sono una tecnica mista tra materiali vivi (astoni e talee) e materiali morti mentre le Palizzate sono una tecnica che unisce l'impiego di talee con strutture fisse in legno. Viminate e palificate possono essere utilizzate in scarpate artificiali (rilevati stradali, argini, ecc.) e in aree di alimentazione di colate detritiche esistenti o potenziali.
- Palificate: Tecnica che vede la realizzazione di strutture cellulari in pali di legno abbinata alla messa a dimora di talee e/o piantine, comunemente utilizzate nel consolidamento delle sponde fluviali in dissesto. A seconda delle modalità costruttive si possono distinguere due tipi di palificata:
 1. A parete semplice;
 2. A parete doppia.
- Grate: Tecnica più complessa rispetto ad altri sistemi d'ingegneria naturalistica con talee e/o con piantine, ma molto efficace negli interventi di stabilizzazione e rinverdimento di versanti e di scarpate ad elevata acclività (pendenze comprese tra 45°-65°).

- **Materassi:** Si tratta di opere di rivestimento e rinverdimento di superfici rocciose caratterizzate da pendenze superiori ai 35°-40° in cui il semplice riporto di terreno non stabilizzato risulterebbe inefficace.



Figura 13 – Rimboschimento e rinfoltimento di un versante dissestato mediante l’impianto di conifere (Appennino Umbro Marchigiano). (Tratta da ANPA, 2002)

Opere di sostegno: Le opere di sostegno sono tutti quegli interventi volti ad ottenere la stabilizzazione del corpo di frana tramite l’applicazione di forze esterne (FE) che si oppongono alle forze destabilizzanti (FD); in cui il ruolo della statica diventa predominante negli interventi delle opere strutturali.

Le forze esterne applicate alla massa da stabilizzare, si distinguono in due differenti maniere per la valutazione del fattore di sicurezza (Hoek & Bray, 1981):

1. Forze che incrementano le forze resistenti (FR), considerate forze applicate passive, ossia assenti prima del movimento e mobilitate dal movimento stesso (rientrano in questa categoria le strutture di sostegno non tirantate). In questo caso il fattore di sicurezza $FS = (FR + FE) / FD$.
2. Forze che diminuiscono quelle destabilizzanti (FD), considerate forze applicate attive, ovvero presenti prima che il movimento abbia luogo (rientrano in questa categoria le strutture di sostegno tirantate). In questo caso il fattore di sicurezza $FS = FR / (FD - FE)$.

Le opere di sostegno possono essere flessibili o rigide in funzione alla capacità di adattarsi alle deformazioni e/o cedimenti dei terreni o degli ammassi rocciosi senza che esse subiscano rotture; queste strutture presentano varie tipologie di intervento i cui relativi campi di applicazioni sono riportati nella tabella 4.

Tabella 4: Opere di sostegno del materiale. (Tratta dalle “Linee guida per la stabilizzazione delle frane” – UNIFI/DST, ADBARNO)

STRUTTURE DI SOSTEGNO		ROCCIA		TERRA		DETRITO
		SCIVOLAMENTI	CROLLI	SCIVOLAMENTI	COLATE LENTE	COLATE RAPIDE
STRUTTURE A GRAVITÀ	Muri in muratura			•		
	Muri in calcestruzzo			•		
	Gabbionate			•		
	Muri cellulari			•		
STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO	Muri a mensola			•		
	Muri a contrafforte			•		
STRUTTURE SPECIALI	Paratie			•		
	Palificate			•		
	Muri tirantati			•		

Le Strutture a Gravità (Figure 14, 15, 16) sono quel complesso di opere che contrastano il movimento del Terreno (spinta del terreno) essenzialmente tramite il loro peso (funzione delle dimensioni della struttura) e l'attrito alla loro base. In questa categoria rientrano:

- Muri in muratura: Possono essere sia le murature in pietrame a secco o quelli in muratura veri e propri che utilizzano come legante tra gli elementi costituenti (Pietrame o Mattoni), la malta idraulica. I primi hanno altezze che non superano i 2 - 3 m, hanno un maggiore spessore rispetto ai muri con malta e necessitano di periodiche manutenzioni; tuttavia essi offrono notevoli vantaggi nei riguardi della stabilizzazione del terreno che sostengono perché, la loro permeabilità, consente un buon drenaggio del terreno ed una conseguente diminuzione della spinta della terra e delle sovrappressioni idrauliche.
- Muri in calcestruzzo: Sono opere di sostegno rigide utilizzate per sostenere terreno o altro materiale con altezze minori di 4 - 5 m.

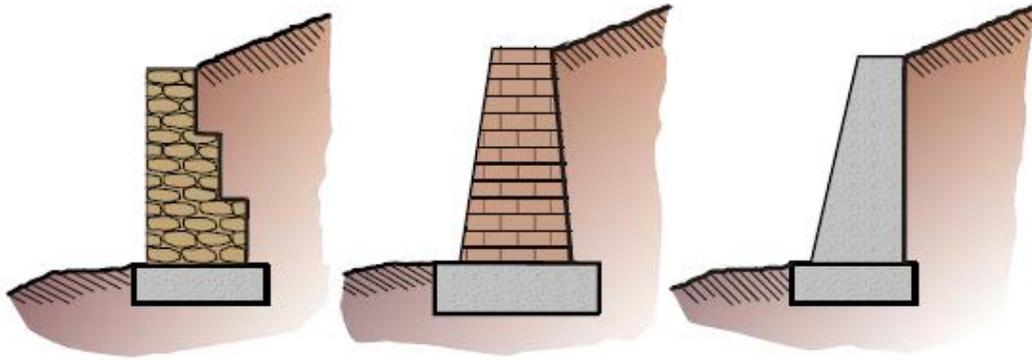


Figura 14 – Muri di sostegno a gravità: a sinistra in muratura di pietrame con malta idraulica; al centro in mattoni con malta idraulica; a destra in calcestruzzo gettato in opera. (Tratte da ANPA, 2002)

- **Gabbionate:** Struttura nata in Italia che ha avuto un’ampia diffusione, soprattutto come opera di sostegno e drenaggio, negli interventi di consolidazione e sistemazione di versanti instabili. sono strutture di sostegno formate da “scatole” in rete metallica (a maglia esagonale a doppia torsione), riempite con pietrame a secco e disposte le une sulle altre in maniera tale da realizzare una struttura a gravità monolitica, flessibile e con ottime capacità drenanti.

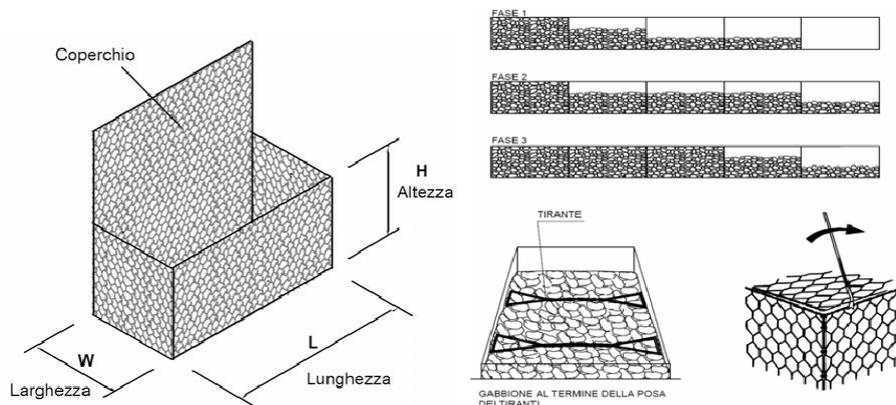


Figura 15 – Gabbionate: a sinistra particolare di un gabbione prima del riempimento; a destra: in alto successive fasi di riempimento della gabbionata, in basso realizzazione dei tiranti sopra ogni strato di pietrame e chiusura del gabbione (schemi tratti dal catalogo OFFICINE MACCAFERRI S.p.A.)

- **Muri cellulari a gabbia o “Cribb Walls”:** Strutture realizzate mediante l’interconnessione di elementi prefabbricati (in legname per opere temporanee, altrimenti in calcestruzzo o in metallo), posti in opera in maniera tale da realizzare delle strutture tridimensionali a maglia rettangolare. L’altezza di tali strutture in genere non supera i 4 - 5 m.



Figura 16 – Muri cellulari a gabbia: a sinistra realizzati con elementi in legno; a destra realizzati con elementi prefabbricati di calcestruzzo. (Tratte dalle “Linee guida per la stabilizzazione delle frane” - UNIFI/DST, ADBARNO e ANPA, 2002)

Per quanto riguarda le strutture in Cemento Armato (Figura 17), esse hanno una struttura di base a mensola, nei quali la resistenza al movimento del terreno è garantita, oltre che dal peso della struttura, anche da quello del terreno che agisce alla base del muro per cui agiscono a “semigravità”. L'altezza del muro verticale può arrivare fino ai 5 – 6 m, mentre per altezze maggiori, dovendo limitare gli spessori, la struttura viene dotata di contrafforti interni e/o esterni, oppure di tiranti d'ancoraggio sul muro per cui si distinguono due (tre) diverse categorie di muri in cemento armato:

1. Muri a Mensola (ad elementi prefabbricati in cemento armato o in cemento armato gettato in opera);
2. Muri a Contrafforte;

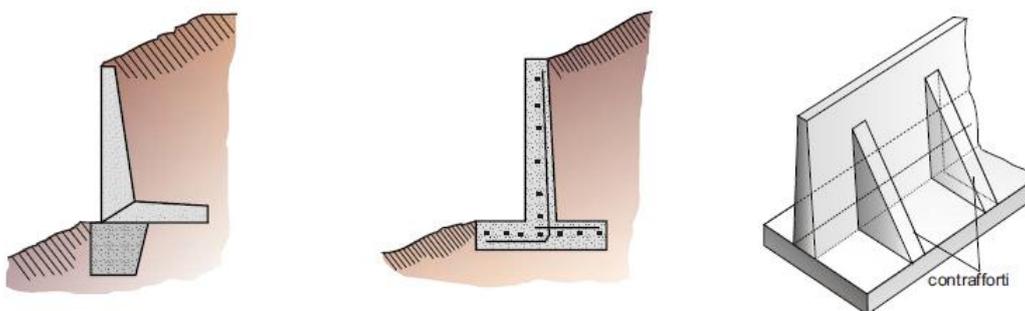


Figura 17 – Muri di sostegno in cemento armato: a sinistra muro a mensola ad L costituito da elementi prefabbricati in cemento armato; al centro muro a mensola a T rovescia in cemento armato gettato in opera; a destra muro a contrafforte. (Tratte da ANPA, 2002)

L'applicazione di tiranti di ancoraggio, colloca la categoria di muri in cemento armato ancorati con tiranti (Figura 18) nelle strutture speciali in cui si rimanda la loro descrizione:

3. Muri ancorati con Tiranti.



Figura 18 – muro ancorato con tiranti, realizzato per la stabilizzazione del versante nord-ovest di Marcialla nel comune di Certaldo (FI) – (Tratta dalle “Linee guida per la stabilizzazione delle frane” - UNIFI/DST, ADBARNO)

Infine le Strutture Speciali sono tutte quelle opere di sostegno nelle quali l’opposizione al movimento del terreno non è ottenuta dal peso dell’opera stessa (strutture a gravità) e/o da quello del terreno che grava sulla base di fondazione (strutture in cemento armato), bensì dalla resistenza passiva del terreno mobilizzata dallo spostamento della porzione infissa della struttura (paratie e palificate) e/o dalla presenza di sistemi di ancoraggio. In questa categoria si distinguono:

- **Paratie:** Strutture di sostegno verticali che in funzione alla spinta del terreno che devono contrastare, sono immorsate nel terreno fino ad una certa profondità (Figura 19). Possono essere tirantate (con tiranti passivi o attivi) o meno. Sono generalmente ubicate lungo il corpo di frana a valle dell’area della quale si debbano contrastare i movimenti.



Figura 19 - Sezione schematica di una paratia: a sinistra senza tiranti, a destra tirantata. (Tratta dalle “Linee guida per la stabilizzazione delle frane” - UNIFI/DST, ADBARNO)

- **Muri tirantati:** Muri in cemento armato fissati al substrato stabile tramite ancoraggi pretensionati; presentano uno spessore ridotto (20 – 30 cm). Essi possono essere utilizzati al piede di frane di scivolamento di medie

dimensioni (Figura 20), nel caso in cui si debbano contrastare elevate spinte del terreno con spazi di intervento ristretti o comunque tali da impedire il ricorso ad opere più “ingombranti”, quali ad esempio le strutture a gravità.

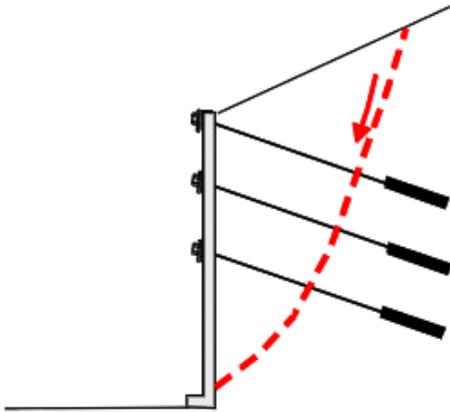


Figura 21 – sezione schematica di un muro tirantato; la linea rossa tratteggiata rappresenta la superficie di scivolamento. (Tratta dalle “Linee guida per la stabilizzazione delle frane” - UNIFI/DST, ADBARNO)

- Palificate: Strutture lunghe cilindriche, utilizzate in terreni di scarsa capacità portante (Figura 22). Svolgono una funzione di addensamento del terreno migliorandone la capacità portante oppure permettono di trasferire il carico superficiale in profondità ad uno strato più resistente. I primi si dicono pali di costipamento mentre i secondi sono detti pali portanti.



Figura 23 – Palificate poste in opera. (Tratte da www.Cerrovì.com)

Esistono tipologie di intervento che presentano alcune analogie con le opere di sostegno viste in precedenza. Queste opere, invece di introdurre forze esterne,

sono finalizzate a migliorare le caratteristiche meccaniche del materiale tramite l'induzione di forze interne in modo da aumentare le capacità di autostostegno. Nella tabella 5 sono riportate le varie tipologie di intervento e i relativi campi di applicazione.

Tabella 5: Interventi di rinforzo interno del materiale. (Tratta dalle "Linee guida per la stabilizzazione delle frane" – UNIFI/DST, ADBARNO)

OPERE DI RINFORZO INTERNE		ROCCIA		TERRA		DETRITO
		SCIVOLAMENTI	CROLLI	SCIVOLAMENTI	COLATE LENTE	COLATE RAPIDE
RINFORZO DEL MATERIALE	Ancoraggi	•	•	•		
	Terre rinforzate	•		•		
	Chiodatura del terreno	•		•		
	Cemento proiettato		•			
	Micropali		•	•		

Per quanto riguarda gli ancoraggi (Figura 24) si tratta di un'applicazione di tiranti, bulloni e chiodi nell'ammasso roccioso che sono elementi metallici di rinforzo. Questi sistemi sono definiti "attivi" perché aumentano le forze di coesione (resistenza al taglio) e quindi migliorano lievemente le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso. In particolare i "chiodi" sono ancoraggi costituiti da aste metalliche totalmente connesse al terreno in cui l'elemento strutturale non viene pretensionato e la tensione di sostegno da trasferire alla massa ancorata è indotta dagli spostamenti della massa stessa. Mentre per quanto riguarda i bulloni e i tiranti (sollecitati in esercizio da sforzi di trazione),

l'elemento strutturale viene pretensionato al momento della loro installazione, trasferendo direttamente alla massa instabile la tensione di sostegno.

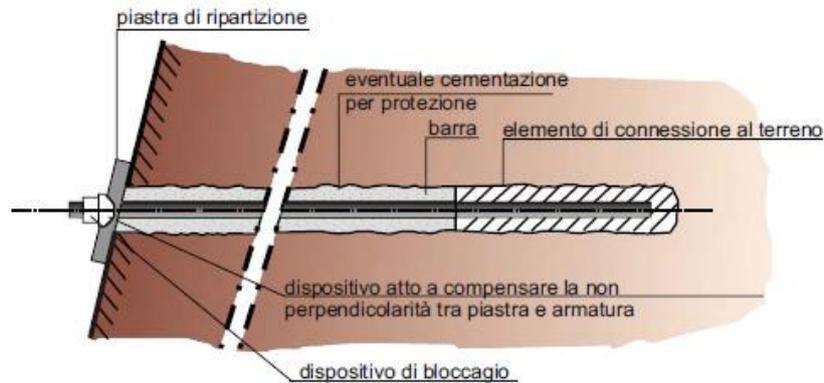


Figura 24 – Esempio tipico di ancoraggio con cementazione del bulbo. (Tratta da ANPA, 2002)

Per Terre Rinforzate (Figura 25) si intendono quei sistemi che si basano sul principio di migliorare le caratteristiche meccaniche del terreno conferendogli resistenza a trazione, assente per natura nei terreni. Gli elementi di rinforzo utilizzati possono essere metallici (inestensibili o estensibili) o geosintetici (tessuti in polipropilene, geogriglie in HDPE estruse ecc.), che si comportano come elementi passivi (la resistenza offerta dall'elemento è mobilitata dalla deformazione della massa rinforzata). Sono posti in opera orizzontalmente a separazione di successivi strati di terreno precedentemente compattati.



Figura 26 - Consolidamento di una scarpata stradale in frana in Alta Valtellina (Sondrio) mediante la costruzione di un'opera di sostegno realizzata in Terra Rinforzata rinverdibile. (Tratta da ANPA, 2002)

Con la tecnologia standard della “terra armata” si basa il principio della Chiodatura del terreno che coniuga i sistemi di stabilizzazione dei fronti di scavo dei tunnel mediante l’uso di chiodi infissi nella roccia o terreno e di rivestimento esterno di spritz beton (Figura 27). Utilizzati per fenomeni di creep o frane non particolarmente profonde.

Per “spritz beton” si intende la tecnica di rivestimento con cemento proiettato, spesso rinforzato tramite fibre di acciaio. È un metodo impiegato in associazione con altre strutture di rinforzo come gli ancoraggi o altre strutture di rinforzo (reti), negli interventi di stabilizzazione e consolidamento di pareti rocciose caratterizzati da crolli di masse di limitata estensione o come protezione dall’erosione.

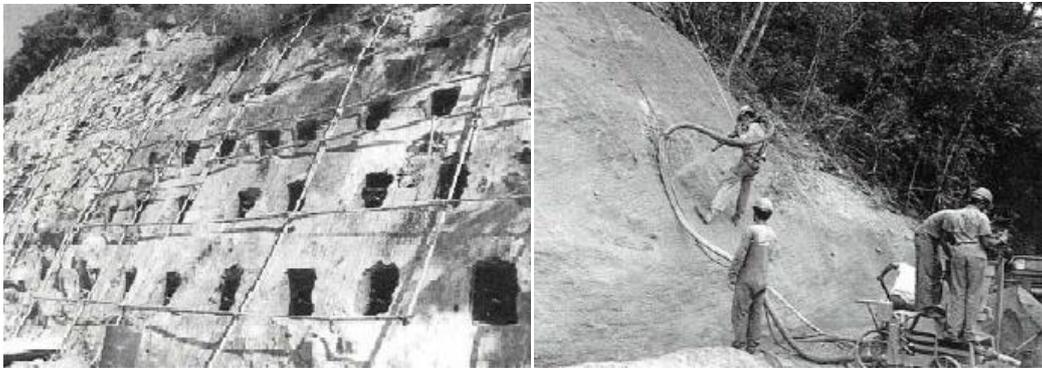


Figura 28 – Chiodatura del terreno: a sinistra prima del rivestimento con cemento proiettato (le teste dei chiodi sono alloggiate in nicchie profonde una ventina di centimetri, scavate nel terreno); a destra dopo la fase di rivestimento del versante (con cemento proiettato). (Tratte da ORTIGAO & SAYAO, 2004)

Infine, in analogia con quanto visto nelle strutture di sostegno speciali quali le palificati, esiste una variante di esse, ma considerata come opera di rinforzo interna del materiale: i Micropali. Essi sono dei pali in calcestruzzo di piccoli diametro (100 – 300 mm), rinforzati con barre di acciaio nella parte centrale o attraverso particolari armature in acciaio, realizzati con tecniche “non distruttive” senza scavi di alcun tipo, mediante la perforazione del terreno con attrezzature speciali. Sono realizzati all’interno del corpo di frana con lo scopo di connettere la zona instabile con quella stabile al di sotto della superficie di rottura, garantendo un incremento della resistenza al taglio sulla superficie di scivolamento.

Opere di drenaggio: Il drenaggio è un intervento che ha lo scopo di allontanare e convogliare le acque superficiale e sotterranee dai pendii instabili o dai terreni di fondazione da bonificare e consolidare, in modo da diminuire le pressioni interstiziali e conseguentemente le spinte del terreno.

Questi interventi, per l'importante ruolo giocato dalla pressione interstiziale sulla riduzione della resistenza al taglio, sono spesso tra i rimedi più efficaci nella sistemazione dei versanti. La grande capacità di stabilizzazione, in relazione ai costi di realizzazione, fa sì che le varie opere di smaltimento delle acque superficiali e profonde risultino i metodi di stabilizzazione più diffusi e quelli che generalmente consentono di ottenere, a parità di costi, i risultati migliori.

È importante però, come sottolinea Bromhead (1992) che, nel caso di stabilizzazioni a lungo termine, la sua funzionalità nel tempo dipende dalla manutenzione dei dreni che molto spesso viene trascurata perché troppo costosa e di difficile realizzazione, soprattutto nel caso dei drenaggi sub-superficiali.

In relazione alla natura delle acque da allontanare, gli interventi di drenaggio si possono suddividere in tre gruppi principali:

1. Opere di drenaggio di tipo superficiale;
2. Opere di drenaggio di tipo sub-superficiale;
3. Opere di drenaggio di tipo profondo.

Nella tabella 6 sono i vari tipi di intervento e il loro relativo dominio d'applicazione.

Tabella 6: Opere di drenaggio. (Tratta dalle “Linee guida per la stabilizzazione delle frane” – UNIFI/DST, ADBARNO)

OPERE DI DRENAGGIO		ROCCIA		TERRA		DETRITO
		SCIVOLAMENTI	CROLLI	SCIVOLAMENTI	COLATE LENTE	COLATE RAPIDE
DRENAGGI SUPERFICIALI	Canalette superficiali	•	•	•	•	
	Fossi di guardia	•	•	•	•	•
	Dreni intercettori			•	•	•
	Riprofilatura del versante			•	•	
	Sigillatura ed impermeabilizzazione delle fessure beanti			•	•	
DRENAGGI SUBSUPERFICIALI	Cuneo filtrante			•		
	Dreni sub-orizzontali			•	•	
	Trincee drenanti			•	•	
	Speroni drenanti			•	•	
DRENAGGI PROFONDI	Pozzi drenanti			•	•	
	Gallerie drenanti	•		•	•	

I drenaggi superficiali sono interventi eseguiti immediatamente dopo il verificarsi di un evento franoso, utilizzati per la regimazione ed il drenaggio delle acque superficiali e per la sistemazione del pendio instabile. In questa categoria di drenaggi rientrano:

- Canalette superficiali (Figura 29): hanno l'obiettivo di captare e allontanare le acque superficiali non limitandosi a quelle meteoriche ma anche a quelle stagnanti entro eventuali depressioni. In funzione delle modalità costruttive e del materiale di costruzione si distinguono:
 1. Canalette in terra;
 2. Canalette in legname e pietrame;
 3. Canalette prefabbricate in calcestruzzo;
 4. Canalette con rivestimento rigido in calcestruzzo;

5. Canalette prefabbricate in lamiera.

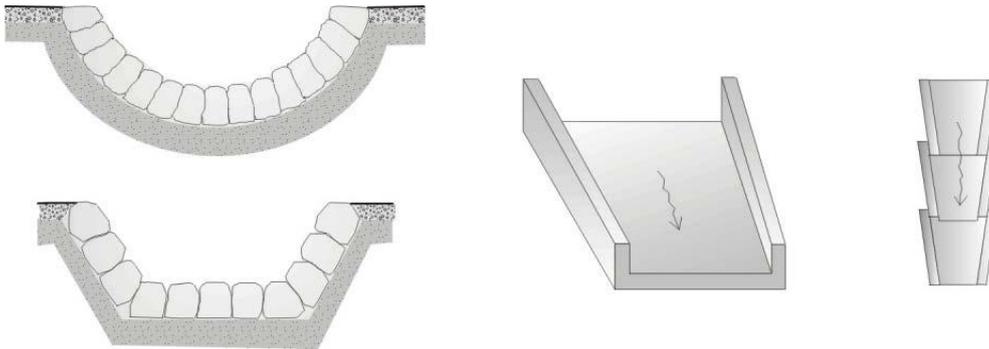


Figura 29 - Canalette superficiali in pietrame sbozzato, a sinistra, e ad elementi prefabbricati in calcestruzzo a destra (Tratte da ANPA, 2002)

- Fossi di guardia: Posti immediatamente a monte della nicchia di distacco in modo da intercettare le acque correnti superficiali lungo il versante ed allontanarle dall'area instabile;
- Dreni intercettori: Realizzati immediatamente a monte della nicchia di distacco ed a valle del fosso di guardia, spinti in profondità fino ad intercettare l'eventuale superficie piezometrica della falda. La raccolta e l'allontanamento delle acque sono garantiti da un tubo fessurato in PVC;
- Riprofilatura del versante: Interventi preliminari ad altre opere di drenaggio e/o stabilizzazione che consistono in movimenti di terra aventi lo scopo di eliminare le depressioni o le altre forme presenti nel versante in frana che sono sede di ristagno d'acqua;
- Impermeabilizzazione delle fessure: Si utilizza materiale come l'argilla adeguatamente costipata, per impermeabilizzare e sigillare le fessure beanti, presenti soprattutto nella parte alta dell'area di frana che risultano essere una delle più importanti vie di infiltrazione delle acque meteoriche superficiali in profondità.

Per quanto riguarda i drenaggi sub-superficiali si hanno:

- Cunei filtranti: Struttura che non ha nessuna funzione statica che prevede la disposizione di materiale drenante di riempimento (ciottoli, pietrisco o ghiaia), disposto con la stessa pendenza del versante, alla base di una scarpata da stabilizzare. Di solito l'opera viene completata con la messa a dimora di specie vegetali (es. talee di salice) contribuendo alla stabilizzazione del corpo drenante;

- Dreni sub-orizzontali: Dreni formati da tubazioni microfessurate in PVC, rivestiti con geotessili per evitare intasamenti e inseriti in fori pre-scavati ad andamento sub-orizzontale o leggermente inclinati verso l'alto. In genere questo tipo di intervento è associato ad altre opere di drenaggio come gallerie e pozzi drenanti;
- Trincee drenanti: Strutture allungate disposte parallelamente alla linea di massima pendenza del versante con profondità limitate, il cui scopo è quello di abbassare permanentemente il livello di falda del terreno con conseguente aumento delle forze resistenti al potenziale movimento franoso;
- Speroni drenanti: Utilizzati nel caso in cui c'è bisogno di abbinare all'azione drenante anche un'azione resistente nei confronti delle spinte dei terreni in movimento, in modo da poter costituire un sistema auto consolidante senza ricorrere ad altre opere di sostegno.

Infine si hanno i drenaggi profondi che hanno un carattere definitivo e necessitano di opere e di attrezzature complesse per la loro installazione per cui risultano più costosi di quelli visti precedentemente. Nonostante questi svantaggi essi garantiscono una maggiore efficacia nella stabilizzazione di versanti in frana. Le principali opere di drenaggio profondo sono:

- I Pozzi drenanti: Strutture realizzate quando non è noto, con sufficiente approssimazione, l'andamento delle linee di flusso delle acque sotterranee utilizzati per funzioni di drenaggio e controllo delle falde freatiche permettendo anche di abbattere sensibilmente il livello di falda. Nel caso in cui i pozzi vengono immorsati nel terreno stabile al di sotto della potenziale superficie di rottura, essi possono esercitare una funzione aggiuntiva di sostegno del corpo di frana. I pozzi possono essere realizzati isolatamente oppure accostati tra loro in modo da formare una paratia drenante;
- Gallerie drenanti: Opere di drenaggi profondo ad elevati costi di realizzazione; per questo motivo si ricorre ad essi solo in caso di condizioni di vulnerabilità di infrastrutture civili o insediamenti abitativi causate da frane di dimensioni molto estese.

In figura 30 si riassume un sistema di consolidamento di un versante in frana mediante la realizzazione di opere di drenaggio superficiali, sub-superficiali e profonde.

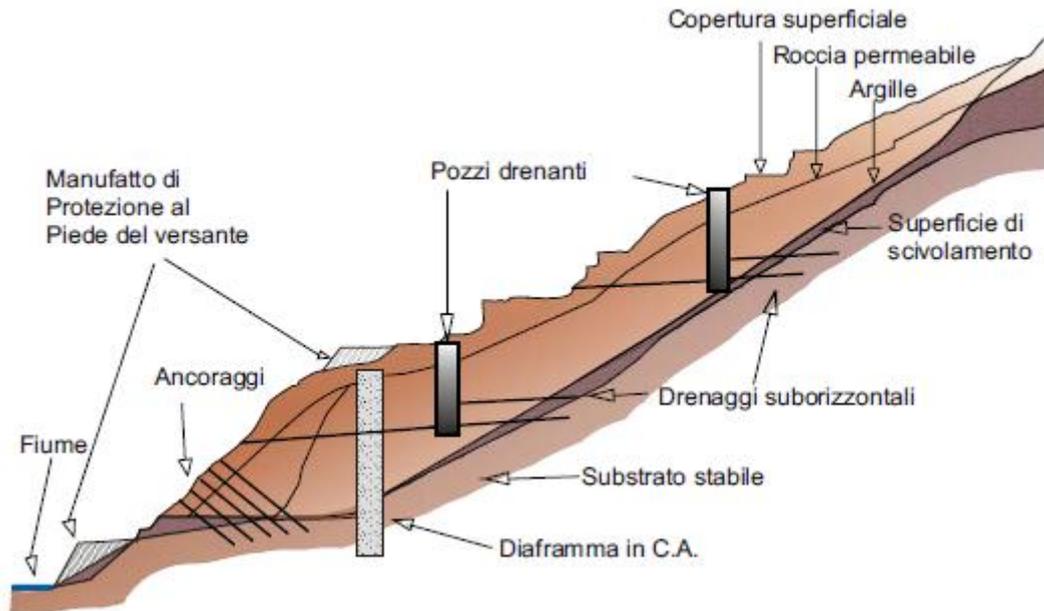


Figura 30 – Esempio di un complesso di opere di drenaggio per la sistemazione e consolidamento di un versante in frana. (Tratta da ANPA, 2002)

Opere di difesa dalla caduta massi: Il distacco e la caduta di porzioni rocciose da pareti e versanti, costituisce uno dei maggiori rischi geologici per le persone e le infrastrutture. Nell’ambito della classificazione dei movimenti franosi vista in precedenza, il fenomeno della “caduta massi” rientra nella tipologia di frane per crollo, normalmente in roccia (Figura 31).

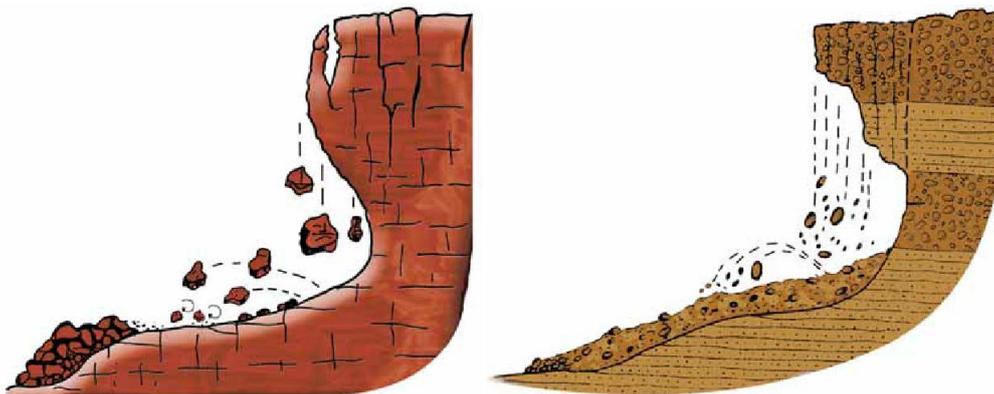


Figura 31 – Modelli schematici di crolli: a sinistra schema di crolli in materiali litoidi fratturati e fessurati; a destra schema di crolli in depositi detritici stratificati, con grado variabile di coesione. (Tratte da VALLARIO, 1992)

La progettazione delle opere di difesa presuppone una serie di indagini (geologiche, geomeccaniche, geomorfologiche ed ambientali) preventive ed

accurate; occorre in ogni caso considerare le fasi principali del movimento: il distacco, la successiva caduta e l'arresto.

Le opere di difesa dalla caduta massi sono distinte in due principali categorie:

1. Opere di difesa attiva: esse hanno la funzione di prevenire, impedire o ridurre il distacco, la caduta e il rotolamento delle masse rocciose e comprendono:
 - Interventi che inducono forze resistenti nell'ammasso roccioso con un conseguente aumento della resistenza meccanica, come ad esempio: tiranti, chiodi, bulloni, iniezioni di consolidamento, rivestimenti con rete metallica ecc.;
 - Opere di rivestimento e protezione dall'erosione che permettono di ridurre i processi di degradazione fisica e di erosione superficiale dell'ammasso roccioso, come ad esempio: reti metalliche addossate, reticolo di funi metalliche, rivestimenti con reti metalliche e tasche vegetative e/o con geosintetici;
 - Interventi che migliorano e controllano la circolazione idrica superficiale e sotterranea, come ad esempio: drenaggi dell'ammasso roccioso con dreni sub-orizzontali o con opere di drenaggio di grande diametro (gallerie drenanti), opere di regimazione delle acque meteoriche ecc.

2. Opere di difesa passiva: esse hanno la funzione di rallentare, deviare, ostacolare la caduta, il rotolamento e il movimento delle masse detritiche e comprendono:
 - Reti paramassi;
 - Interventi di riprofilatura dei versanti con formazioni di berme di rallentamento, valli (trincee) e rilevati paramassi;
 - Costruzione di barriere ed ostacoli artificiali resistenti come ad esempio: muri in calcestruzzo, muri in terre rinforzate, muri cellulari, muri in gabbioni, gallerie artificiali paramassi.

Le principali tipologie di opera di difesa dalla caduta di massi, sia attive che passive, e il loro relativo campo di applicazione sono riportati in tabella 7.

Tabella 7: Opere di protezione. (Tratta dalle “Linee guida per la stabilizzazione delle frane” – UNIFI/DST, ADBARNO)

OPERE DI DIFESA DALLA CADUTA MASSI		ROCCIA		TERRA		DETRITO
		SCIVOLAMENTI	CROLLI	SCIVOLAMENTI	COLATE LENTE	COLATE RAPIDE
OPERE DI PROTEZIONE	Barriere paramassi rigide		•			
	Barriere paramassi elastiche		•			
	Reti paramassi		•			
	Valli e rilevati paramassi		•			
	Gallerie paramassi		•			•

Come strutture di difesa passive precedentemente elencate; le barriere paramassi sono opere che presentano una grande versatilità perché possono essere utilizzate lungo i versanti con qualsiasi giacitura a protezione di persone, infrastrutture e centri abitati.

Queste strutture sono prodotte in regime di qualità UNI-EN-ISO9001:2008 secondo la normativa ETAG – EOTA (“European Organization for Technical Approvals”) che fornisce la linea guida ETAG 27 (Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits”), in cui vengono descritte le indicazioni circa le modalità di svolgimento di crash test per la certificazione di barriere paramassi a rete, per attribuire una classe energetica per le reti paramassi espressa in kJ e che generalmente per esse varia tra 100 – 5000 kJ. Le capacità d'assorbimento energetico, limite nominale d'esercizio e ultimo, sono state testate, da Istituti Universitari nazionali e internazionali, sia in campo prove attrezzato con teleferica sia a caduta verticale.

Per la normativa EOTA, Il crash test consiste nell’impatto sulla barriera paramassi di un blocco omogeneo e regolare (Figura 32), impattante a una velocità maggiore o uguale a 25 m/s. Il test può essere condotto, su campo prove

a caduta verticale o inclinata. Il test deve essere eseguito su un prototipo di barriera, di altezza nominale h_N che viene misurata in modo ortogonale al pendio di riferimento ed è la distanza minima tra la fune superiore e la linea di connessione tra la base dei montanti, prima dell'impatto.

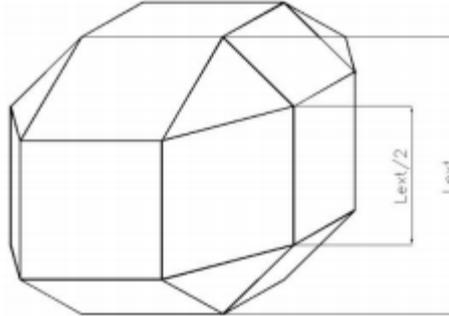


Figura 32 – Blocco di prova – (Tratta da www.Geologivda.it, norma EOTA)

Il blocco di prova deve seguire le caratteristiche e la forma dettate dalla normativa EOTA. La cui densità del blocco di cemento non deve essere inferiore a 2500 kg/m^3 . È importante che la dimensione massima del blocco (L_{ext}) deve essere tre volte minore della h_N della barriera.

La barriera per essere certificata (marcata CE) deve sottoporsi a due prove distinte ovvero la prova MEL ((Maximum Energy Level) e la prova SEL (Service Energy Level) tale che dalle prove risulti che l'energia SEL sia 1/3 dell'energia MEL.

Per la classificazione della classe energetica per le barriere paramassi, nella tabella 8 come riportato dalla sintesi proposta della normativa ETAG-EOTA da Geologivda, sono espressamente codificati dalla norma EOTA tutti i corrispondenti valori.

Tabella 8: classificazione delle barriere paramassi in base all'energia di servizio. (Tratta da www.Geologivda.it, norma EOTA)

Classificazione energia di servizio	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SEL [kJ]	-	85	170	330	500	660	1000	1500	>1500
MEL [kJ] ≥	100	250	500	1000	1500	2000	3000	4500	>4500

Queste indicazioni ci serviranno come base di partenza per il capitolo successivo, quando verranno mostrate le nuove tecnologie offerte da società all'avanguardia come la GEOBRUGG e la MACCAFERRI con cui noteremo un

grande passo avanti grazie alla ricerca ed evoluzione di nuovi sistemi di protezione ed acciaio ad alta resistenza, per proteggere persone e infrastrutture nei casi più estremi di caduta massi ad elevate energie di impatto.

Per quanto riguarda l'aspetto tecnico-funzionale delle barriere paramassi; esse vengono realizzate in genere lungo la base dei pendii rocciosi instabili, dimensionate ed ubicate in modo tale da arrestare blocchi e masse di grosse dimensioni e materiale detritico mobilizzato. Il loro comportamento fisico e il materiale insieme alle modalità costruttive, permettono di distinguere due tipi principali di strutture:

- Barriere paramassi elastiche: Strutture leggere, deformabili con elementi altamente resistenti di alta qualità che possono essere installata anche in zone montuose di difficile accessibilità grazie alla loro leggerezza e semplicità della struttura, nonché della loro facile manutenzione (Figura 33). Sono ubicate lungo i versanti con lo scopo di rallentare, intercettare o arrestare del tutto la caduta di blocchi isolati o materiale detritico di dimensioni contenute.

In funzione delle tipologie costruttive e dei materiali impiegati è possibile diversificare varie configurazioni di barriere elastiche:

1. Barriere composte da rete flessibili installate su strutture di sostegno rigide come ad esempio muri in cemento armato;
2. Barriere composte da pannelli di reti flessibili in acciaio, con piedritti ed elementi di rinforzo (tiranti di ancoraggio), infissi direttamente nel terreno o sulla sommità di opere di sostegno quali ad esempio muri in gabbioni ecc.



Figura 33 – Barriere paramassi elastiche: verticale a sinistra e a sacco a destra. (Tratta dalle “Linee guida per la stabilizzazione delle frane” - UNIFI/DST, ADBARNO)

I singoli pannelli in rete estensibile (con maglie a forma quadrata, romboidale o circolare) che formano le barriere paramassi elastiche, sono ad alto assorbimento d'energia cinetica che varia a seconda del tipo di barriera a sua volta in funzione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità degli elementi che la costituiscono (reti, montanti, ancoraggi, dissipatori di energia e funi) e delle loro connessioni (Figura 34). Secondo GIANI (1997) in merito alle sperimentazioni svolte da un contratto di ricerca e consulenza tra il Dipartimento DISTART dell'Università di Bologna e il Consorzio Triveneto Rocciatori di Fonzaso (BL), queste opere possono raggiungere capacità di assorbimento di oltre 2000 – 3000 kJ.

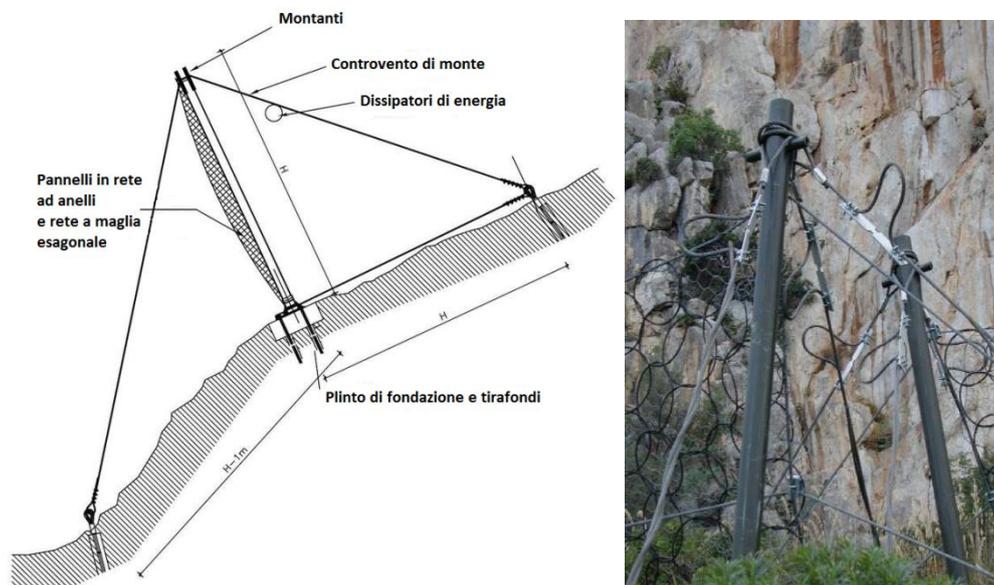


Figura 34 – A sinistra schematizzazione di una barriera paramassi elastica; a destra particolare dei pannelli di rete in funi metalliche a maglie tonde, dei supporti tubolari e delle funi in acciaio che trasmettono gli sforzi ai dispositivi di frenaggio e di dissipazione d'energia. (Tratte da www.provincia.bz.it e ANPA, 2002)

- Barriere paramassi rigide: Strutture generalmente realizzate in calcestruzzo armato, con o senza contrafforti, che risultano poco deformabili, pesanti e di grandi dimensioni (Figura 35). Esse riescono ad opporsi con notevole forze resistenti agli impatti e sono opportunamente ancorate al terreno stabile con micropali o tiranti di ancoraggio. Presentano un maggiore impatto ambientale rispetto alle barriere di tipo elastico e il loro uso di solito è da preferirsi laddove il rischio di movimenti di masse rocciose e/o di materiale detritico di grosse dimensioni richieda una maggiore resistenza della struttura, anche se talvolta si utilizzano per il controllo di piccoli crolli (barriere rigide in metallo o in legname). Nel

caso di pendii particolarmente ripidi è possibile associare a questa struttura altri sistemi di difesa passiva quali ad esempio l'uso di muri in gabbioni metallici.



Figura 36 – Barriere paramassi rigide: a sinistra barriera rigida in cemento; a destra barriera rigida, costituita da pannelli in legname incastrati su travi metalliche a doppio T – (Tratte da ANPA, 2002)

L'aspetto che si vuole sottolineare è la importanza della manutenzione e delle precauzioni che si dovrebbero adottare per garantire che l'opera rimanga funzionale nel tempo; nel sopralluogo svolto nella località di Varco Sabino (RI), ai piedi del versante oggetto di studio della tesi di laurea triennale, si è riscontrato direttamente come la manutenzione, invece, sia stata trascurata e forse dimenticata.

Per quanto riguarda la manutenzione da condurre sulle barriere rigide, i blocchi di dimensioni rilevanti presenti lungo il pendio, potenzialmente in grado di distruggere la barriera, devono essere stabilizzati (con chiodi, contrafforti, reti ancorate o cavi) o disgiunti. È necessaria inoltre una periodica rimozione dei blocchi accumulatisi alle spalle della barriera; questo rappresenta anche il primo criterio per una corretta gestione di barriere elastiche, a cui seguono sostituzioni dei pannelli danneggiati e controllo delle condizioni di efficienza di rete e tiranti.

Nella progettazione di opere di protezione devono essere considerati:

1. Le dimensioni massime dei blocchi che possono impattare sulla barriera;
2. Le possibili traiettorie di caduta di massi integrate da simulazioni di caduta massi tramite software in 2D come ad esempio ROCFALL (ROCSCIENCE, 2005) e/o in 3D;
3. La stima dell'energia posseduta dal masso di progetto lungo la probabile traiettoria di caduta, valutabile tramite software specifici come ROCFALL;
4. La stima della sollecitazione dinamica indotta sulla barriera.

Per le barriere rigide si devono considerare:

- 1) Il grado di fratturazione dell'ammasso roccioso e la localizzazione delle zone più adatte per il posizionamento di ancoraggi;
- 2) Le dimensioni dei blocchi per la scelta della maglia più idonea della rete;
- 3) I disgiunti o gli ancoraggi delle masse rocciose il cui crollo possa compromettere l'efficacia della rete;
- 4) Dei fossati di raccolta dei blocchi da realizzare alla base.

La simulazione dell'evento di caduta massi e del comportamento delle barriere difensive, svolta con modelli teorici, rappresenta uno dei sistemi più usati per il dimensionamento preliminare e l'ubicazione corretta delle strutture difensive (Figura 37). La raccolta di informazioni sulle caratteristiche litologiche del pendio sono un'indagine imprescindibile per una corretta definizione dell'ubicazione e delle caratteristiche delle strutture da adottare poiché influenzano le traiettorie e i movimenti dei massi caduti sul pendio (Figura 38).

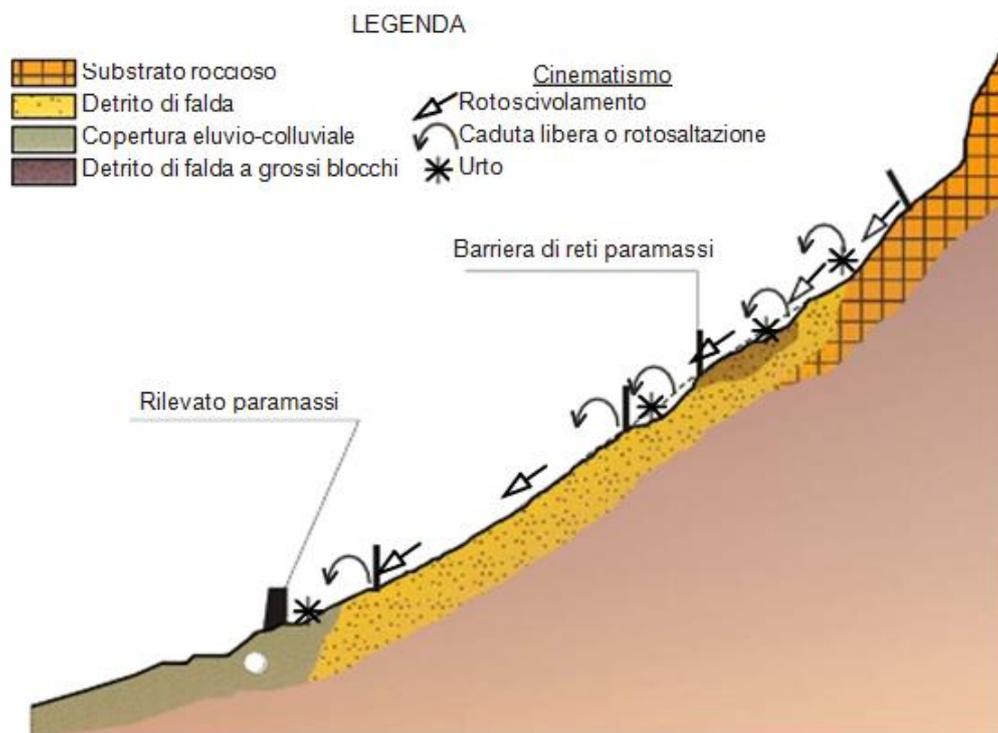


Figura 37 – Processo di caduta massi e del comportamento delle barriere (Tratta da APAT, Manuali e Linee guida 10/2002)

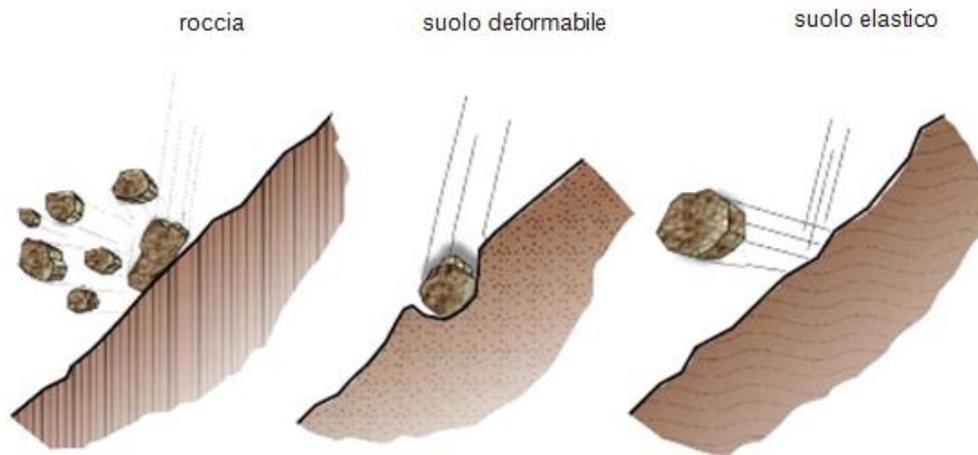


Figura 38 – Influenza delle caratteristiche litologiche del pendio (Tratta da APAT, Manuali e Linee guida 10/2002)

Sempre nell'ambito delle difese passive si hanno le Reti paramassi: Esse sono strutture elastiche posizionate a contatto diretto con la parete rocciosa e ancorate tramite bulloni (nella parte sommitale, intermedia e nel piede del versante); vengono adoperate per il rivestimento di pareti rocciose che presentano fenomeni di caduta massi, crolli e detrito con dimensioni massime degli elementi di circa 60-100 cm. Le reti paramassi sono costituite da fili di acciaio zincato tessuti in modo da formare una struttura a doppia torsione con maglie esagonali (Figura 39). Queste strutture hanno anche la caratteristica di guidare dei blocchi verso fossette di raccolta per impedirne pericolosi rimbalzi.

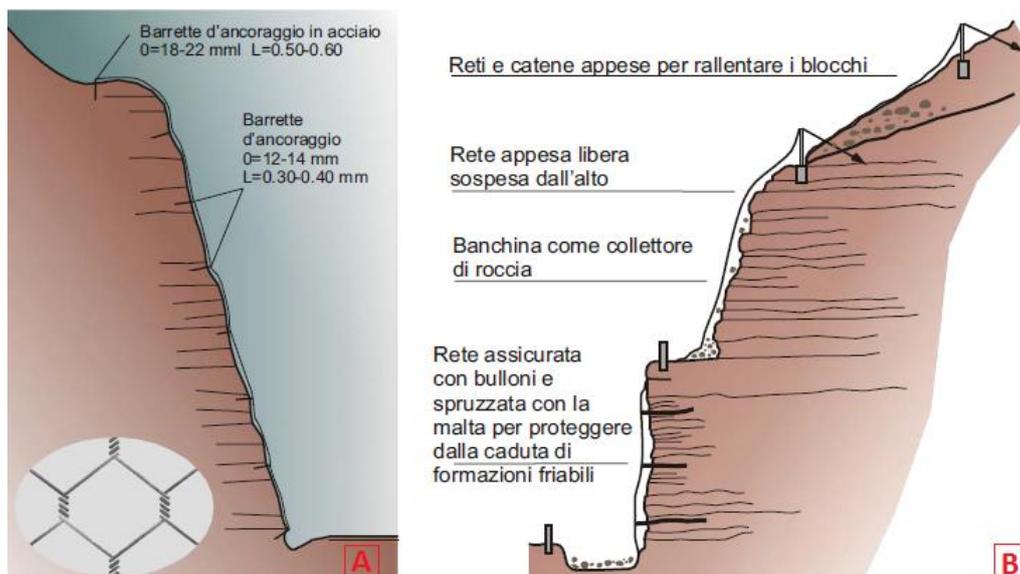


Figura 40 - Schema costruttivo tipo di rivestimento di una parete rocciosa con rete metallica: (A) sezione tipo di stabilizzazione di una parete rocciosa con particolare di rete metallica a maglie esagonali; (B) sezione tipo con particolari di ancoraggio. (Tratte da ANPA, 2002)

Altri interventi di difesa passiva sono i Valli e i Rilevati paramassi (Figura 41) che si realizzano in genere alla base dei versanti rocciosi caratterizzati da ingenti fenomeni di crollo e per protezione da grandi colate di detrito.

Utilizzando materiale reperibile nella zona di intervento si possono realizzare i Rilevati paramassi, costituiti da un terrapieno a sezione trapezoidale, costruito appunto con materiale grossolano oppure in terra rinforzata con la capacità di assorbire, deformandosi, l'energia totale posseduta dal materiale impattante.

Il Vallo paramassi (posto a monte del rilevato), che costituisce un'opera di difesa anche in assenza del Rilevato, è realizzato mediante lo scavo di un cunettone opportunamente sagomato e riempito con uno strato di materiale granulare, in funzione delle caratteristiche morfologiche e della pendenza della scarpata a monte dell'opera. Qualora le condizioni logistiche locali non permettano uno scavo di larghezza adeguata, si può installare una barriera paramassi elastica o in alternativa proteggere il settore a valle dello scavo tramite gabbioni metallici sormontati da rete metallica. Quest'ultima soluzione prende il nome di "scavi sagomati protetti".

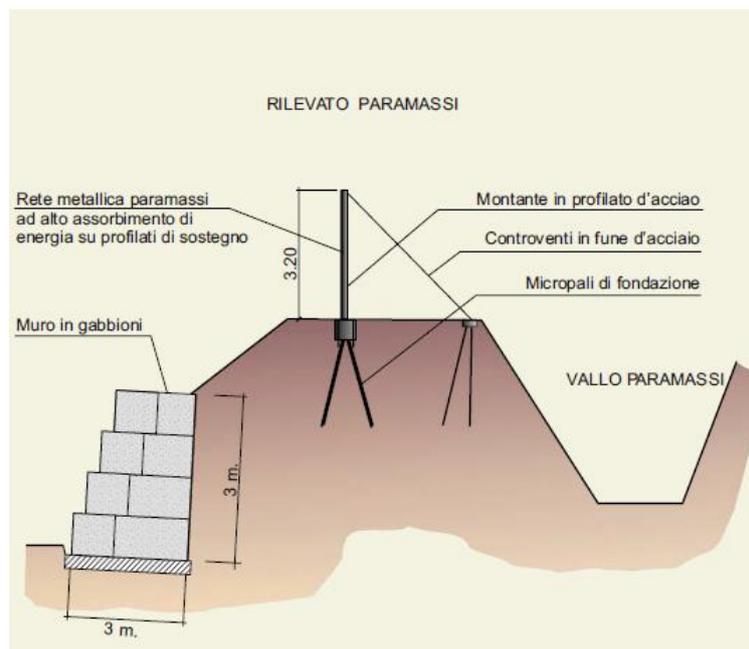


Figura 41 – Sezione tipo di "Vallo e Rilevato paramassi" – (Tratta da ANPA, 2002)

Infine, per tutte quelle zone dove non sono realizzabili altre forme di protezione più economiche tali da proteggere infrastrutture viarie o ferroviarie di particolare importanza, si hanno le Gallerie Paramassi Artificiali (Figura 42). Queste strutture sono realizzate in calcestruzzo armato gettato in opera o in elementi prefabbricati in calcestruzzo ad alta resistenza sulla cui copertura della galleria è posto uno

strato di materiale detritico che favorisce lo sviluppo della vegetazione spontanea e ha inoltre la funzione di assorbire gli impatti di massi, caduti o rotolati giù dalle scarpate.

Di solito il lato di valle della struttura è aperto e formato dai pilastri di sostegno della volta, mentre il lato di monte a contatto con la parete presenta un muro di controripa; alla struttura di base si unisce all'imbocco della galleria una barriera paramassi rigida e, nelle zone a rischio elevate, si completa con la realizzazione sul versante a monte di barriere paramassi elastiche.



Figura 42 – Galleria artificiale paramassi nella località di Fondovalle di Casotto (CN) – (Tratta da www.tensiter.com)

Opere speciali: Nei capitoli precedenti, sono state trattate tutte quelle opere finalizzate a garantire il sostegno o l'autosostegno del versante, rispettivamente con l'introduzione di vere e proprie strutture di sostegno (Strutture a gravità, in cemento armato o speciali) che applicano forze esterne al versante con lo scopo di fornire un contrasto agli spostamenti; oppure aumentando la resistenza meccanica del materiale con l'induzione di forze interne (Opere di rinforzo interno quali ad esempio gli ancoraggi). In analogia con le opere di rinforzo interno esistono altre opere considerate speciali. Quest'ultime rientrano nella stessa categoria delle prime poiché il loro scopo è quello di incrementare la resistenza interna del terreno, inducendo forze interne, ma con la differenza che esse vanno a modificare le caratteristiche fisico-chimiche del materiale, tramite l'aggiunta di additivi di vario tipo (iniezioni) o trattamenti di tipo chimico, elettrico e termico. L'impiego di questi metodi, per la stabilizzazione di pendii instabili, risultano essere limitati poiché i costi di esecuzione sono molto elevati viste anche le indagini molto approfondite ed uno studio progettuale, basato sui risultati di

prove pilota eseguite in sito, da svolgere impiegando attrezzature complesse e personale specializzato. Nella tabella 9 si riportano le varie tipologie di intervento speciali ed i loro relativi campi di applicazione.

Tabella 9: Opere speciali di rinforzo interno del materiale. (Tratta dalle “Linee guida per la stabilizzazione delle frane” – UNIFI/DST, ADBARNO)

OPERE SPECIALI		ROCCIA		TERRA		DETRITO
		SCIVOLAMENTI	CROLLI	SCIVOLAMENTI	COLATE LENTE	COLATE RAPIDE
MIGLIORAMENTO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL MATERIALE	Iniezioni di miscele consolidanti	•	•	•		
	Gettiniezione (jet grouting)			•		
	Trattamenti chimici			•	•	
	Trattamenti elettrici (elettroosmosi)			•	•	
	Trattamenti termici			•	•	

La naturale predisposizione del territorio Italiano al dissesto idrogeologico che di per sé risulta una problematica mondiale, ha permesso a molte aziende operanti nel campo di svolgere un grande lavoro di ricerca, fornendo soluzione e sistemi per la difesa del suolo all'avanguardia come la GEOBRUGG e la MACCAFERRI di seguito elencate:

La GEOBRUGG®: È società svizzera del gruppo BRUGG, che in Italia (Geobrug Italia Srl) come nel resto del mondo (Installazioni in più di 40 differenti paesi) , sviluppa e realizza interventi di messa in sicurezza impiegando sistemi tecnologicamente innovativi ed evoluti, sotto un grande lavoro di ricerca in collaborazione con Istituti Universitari di primaria importanza.

Si occupa in particolare di progettare e produrre strutture protettive dinamiche e statiche contro la caduta massi, valanghe, colate detritiche, instabilità delle scarpate, opere idrauliche e consolidamento di gallerie, testate secondo gli

standard internazionali (Normativa ETAG – EOTA). Inoltre il campo di applicazione della GeobruGG spazia anche in ambito militare ed opere carcerarie. Elemento di base delle soluzioni GeobruGG è lo sviluppo di fili d'acciaio per reti e reticolati ad alta resistenza che presentano un'elevata resistenza al taglio, grande capacità d'assorbimento di energia e durabilità grazie ad interventi di manutenzione pressoché minimi. A favore di quest'ultima considerazione si aggiunge l'impiego di un sistema di protezione dalla corrosione (GEOBRUGG SUPERCOATING® e GEOBRUGG ULTRACOATING®) che prevede una copertura in zinco-alluminio per le funi e le reti che, confrontandolo con le reti in acciaio galvanizzate con il solo zinco viste nel capitolo precedente, risultano avere una durata da sei a dieci volte maggiore per fili trattati con ULTRACOATING®, e da due a tre volte maggiore per quelli trattati con SUPERCOATING®.

Le barriere paramassi GeobruGG (Barriere paramassi GBE), testate con le linee guida ETAG 27 rilasciate dall'EOTA, svolgono i crash test con velocità di impatto di almeno 25 m/s (90 km/h) poiché considerano le punte eccezionali di velocità d'impatto nelle cadute massi naturali che generalmente si aggirano intorno ai 10 – 20 km/h.

In funzione al potenziale rischio determinato, la GeobruGG sviluppa le barriere paramassi GBE in base alla capacità propria di assorbimento che varia da barriere con capacità di assorbimento di 100 kJ fino a capacità di assorbimento elevate per le quali GeobruGG vanta il record mondiale dal 2011, quando nel test di collaudo principale MEL, la barriera paramassi GBE-8000A® ha fermato un blocco di calcestruzzo di 20 t con altezza nominale h_N di 43 m a una velocità di 103 km/h la cui energia d'impatto è di 8000 kJ (Figura 43).



Figura 43 – Barriera paramassi GBE-8000A® durante il bloccaggio del blocco prova in calcestruzzo di 20 t.

(Tratta da www.GeobruGG.com)

Le reti montate sulle barriere sono diverse in base alle resistenze d'impatto richieste:

- Rete TECCO®: Utilizzata per barriere GBE con impatti fino a 1000 kJ, ordita da filo d'acciaio tenace ad alta resistenza di 4 mm, avente una resistenza nominale di 1700 N/mm² a fronte delle resistenze delle reti convenzionali viste nel capito precedente di 500 N/mm²;
- Rete SPIDER®: È una rete a fune spiroidale utilizzate come rete primaria per barriere GBE per impatti da 2000 a 3000 kJ. Viene ordita da filo d'acciaio ad alta resistenza di 4 mm con una resistenza nominale di 1770 N/mm² come la rete TECCO®; quest'ultima per barriere da impatti di 3000 kJ è utilizzata come rinforzo e quindi come rete secondaria.
- Rete ROCCO®: È una rete ad anelli utilizzate per barriere GBE per impatti da 5000 a 8000 kJ. Gli anelli della rete ROCCO®, formata da un filo d'acciaio di 3 mm con una resistenza minima di 1770 N/mm², per formarli servono da 16 a 19 spire di filo riuniti in fasci. L'effetto protettivo viene potenziato da una reticella a maglie fine.

La grande capacità di deformazione delle reti di questa categoria permette di proteggere le funi portanti, le asole frenanti e gli ancoraggi; questa caratteristica mostra la tecnologia modello portata avanti dalla Geobru gg. È possibile descriverla brevemente da tre condizioni (figura 44):

1. Gli anelli della rete ROCCO® iniziano a manifestare una deformazione plastica solo quando si esaurisce totalmente la capacità di assorbimento elastico della rete (Nella figura 3.2-1, la zona interessata dalla deformazione plastica è indicata in giallo);
2. Dopo un cosiddetto "evento quotidiano" vengono sollecitati solo i pacchetti di anelli mentre gli altri elementi del sistema non vengono sollecitati (Figura 3.2-2);
3. Durante un "grande evento", la deformazione plastica dei pacchetti d'anelli della rete garantisce la dissipazione dell'energia. Le asole frenanti e le strutture portanti del sistema di barriera devono assorbire solo l'energia residua (Figura 3.2-3).

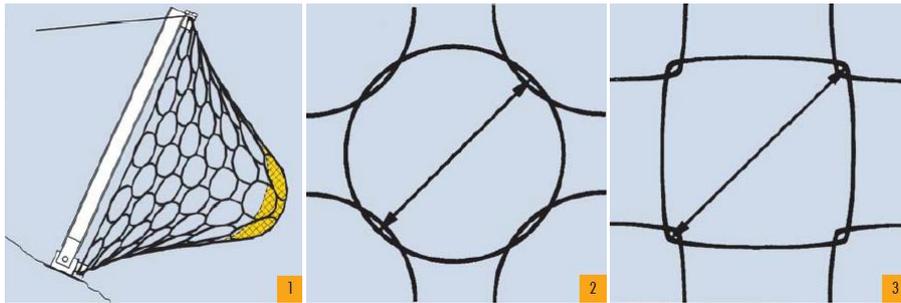


Figura 44 – 1) Zona di deformazione plastica; 2) Pacchetti di anelli prima e dopo un “evento quotidiano”; 3) Deformazione plastica dei pacchetti di anelli. (Tratte da sito www.Geobrugg.com)

I grandi passi avanti svolti dal team di ricerca della Geobrugg che hanno portato alla realizzazione di barriere paramassi GBE a rete ROCCO® per cadute massi con energia d’impatto di 5000 a 8000 kJ che possono sfondare le gallerie in calcestruzzo, sono ad oggi una delle soluzioni più all’avanguardia esistenti per la difesa del suolo e inoltre si prestano come alternativa laddove per motivi topografici o estetici non è realizzabile un vallo, per cui il sistema è idoneo tanto all’integrazione quanto alla sostituzione di tali opere. A tal proposito come mostrato in figura 45, si mostrano, sulla base delle energie di assorbimento, le soluzioni più opportune prese in maniera assoluta, trascurando altre opportune valutazioni che comunque restano imprescindibili nella scelta dell’opera più adatta per proteggere la zona a rischio interessata.

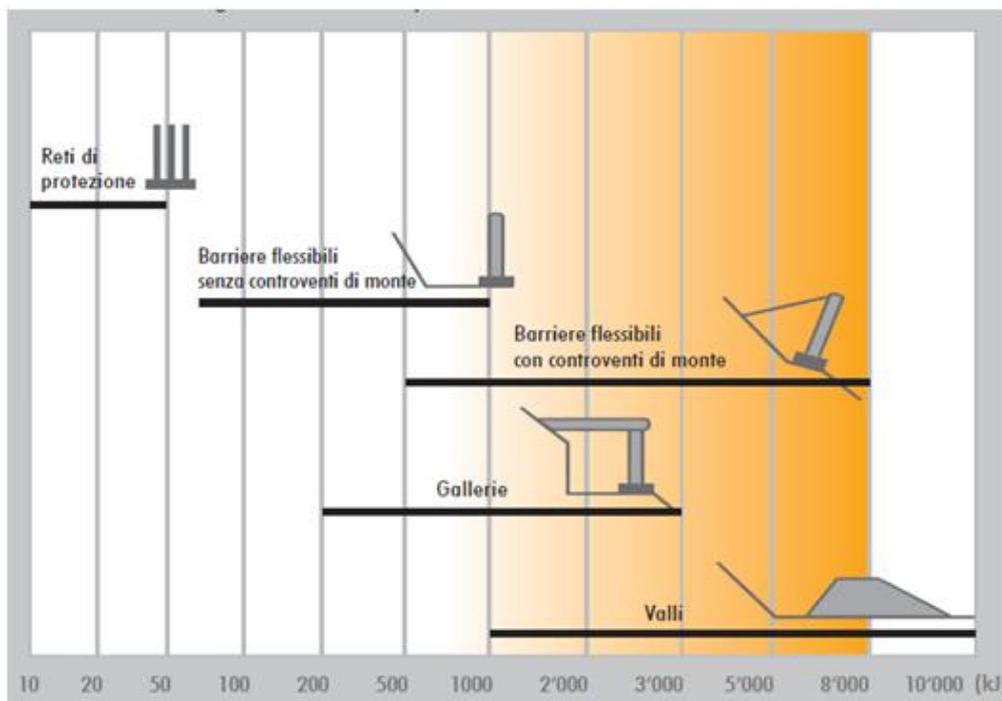


Figura 45 – Quadro riassuntivo dei sistemi paramassi sulla base delle energie di assorbimento espresso in kJ (Tratta da www.Geobrugg.com)

Infine, sempre in materia delle barriere paramassi GBE, le Geobruugg sviluppa un sistema di monitoraggio a distanza delle barriere detto: "Impact Sentinel". Questo supporto permette di controllare lo stato dei sistemi di protezione inviando un messaggio d'allarme qualora si verificasse un evento pericoloso. Lo scopo di questo sistema è di prevenire potenziali incidenti con danni a persone o cose e di ottimizzare gli intervalli di manutenzione. Tale strumento viene montato direttamente sulle barriere come mostrato in figura 46.



Figura 46 – Sistema di monitoraggio "Impact Sentinel". (Tratta da www.Geobruugg.com)

Per quanto riguarda le instabilità di versante, la Geobruugg ha sviluppato delle opere di protezione che presentano notevoli vantaggi e valide alternative rispetto alle costruzioni descritte nel capitolo precedente. A tal proposito si vuole citare, in analogia con le reti precedentemente elencate, il sistema TECCO[®] che ha lo scopo di stabilizzare scarpate soggette a degradazione meteoriche, il sistema SPIDER[®] per impedire il distacco di blocchi da scarpate rocciose e barriere protettive contro le colate detritiche.

Il sistema TECCO[®], realizzato con l'analogo filo d'acciaio ad alta resistenza di 4 mm (TECCO[®]); rispetto a muri di sostegno, calcestruzzo a proiezione e pannelli di rete in fune d'acciaio, esso ha vantaggi importanti poiché è dimensionabile, i punti d'ancoraggio sono determinabili liberamente, dopo l'inerbimento rimane invisibile ed il bilancio di CO₂ è nettamente migliore rispetto ad applicazioni di calcestruzzo a proiezione.

Il sistema SPIDER[®], invece è composto dall'analogo rete a fune spiroidale in filo d'acciaio ad alta resistenza di 4 mm (SPIDER). Rispetto a travi d'ancoraggio, rivestimenti in calcestruzzo a proiezione o pannelli di rete in fune d'acciaio con strallatura; presenta vantaggi determinanti come la libera scelta dei punti

d'ancoraggio, montaggi rapidi anche su grandi superfici ed è adatto al rafforzamento di opere di consolidamento esistenti.

Per eventi come flussi detritici (debris flow) che hanno un potenziale distruttivo paragonabile a quello di cadute massi e valanghe; la Geobruugg sviluppa delle barriere flessibili con rete ad anelli collocate in stato vuoto nell'alveo offrendo uno spazio di ritenuta sufficiente per trattenere grandi quantità di materiale di debris flow (Figura 47).

Tutti i test riguardo queste reti sono testati dalla Geobruugg nel canale debris flow Illgraben in Svizzera in collaborazione con l'Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio WSL/FNP, per cui i prodotti sono garantiti e certificati. Vantaggi delle barriere in rete ad anelli, si riscontrano in alternativa a briglie in calcestruzzo, costruzioni di travi in acciaio e opere di protezione con gabbioni essendo soprattutto più semplici da svuotare dopo un evento e più facili e rapide da montare.



Figura 47 – Barriere protettive contro colate detritiche. (Tratta da www.Geobruugg.com)

La MACCAFERRI®: Presente nel territorio dell'Emilia Romagna, con sede a Bologna, da più di 130 anni è presente il Gruppo Officine Maccaferri (1879). Essa è un'azienda storica, attorno alla quale si è sviluppato il Gruppo Industriale Maccaferri gestito da S.E.C.I., ed è un punto di riferimento mondiale nella ricerca, progettazione e realizzazione di soluzioni innovative legate all'ingegneria civile la cui missione è di realizzare e promuovere prodotti in filo di acciaio a maglia esagonale, geosintetici e fibre in tutti e cinque i continenti.

Nel settore delle infrastrutture, la Maccaferri risulta essere una delle aziende leader in Italia per la vasta gamma di soluzione che offre abbracciando un ampio spettro di opere infrastrutturali tra le quali:

- Rinforzi del manto stradale per aumentare la durata delle strade asfaltate;
- Rinforzi del suolo per permettere e sostenere pendenze maggiori;
- Soluzioni per tunnel per il consolidamento del fronte di scavo con fibre di vetro o per il rinforzo del rivestimento in calcestruzzo e dei conci prefabbricati con fibre di acciaio;
- Reti paramassi Steelgrid HR e barriere paramassi dinamiche per ridurre il rischio della caduta massi;
- Opere di sostegno;
- Sistemi di drenaggio per il controllo del flusso dell'acqua in prossimità di strutture.

In merito alle opere paramassi, la Maccaferri ha sviluppato nel tempo il sistema MAC.RO. (MACcaferri ROckfall protection system) che permette di fornire una risposta differenziata alle diverse necessità.

Le soluzioni offerte dal sistema MAC.RO sono riportate nella tabella 10.

Tabella 10: MAC.RO. SYSTEM. (Tratta da www.Officinemaccaferri.com)

MAC.RO. SYSTEM	RETI SEMPLICI (STEELGRID MO)
	SOIL NAILING (MACMAT R, STEELGRID BO)
	RAFFORZAMENTI CORTICALI (STEELGRID BO, HEA PANEL)
	BARRIERE PARAMASSI (CTR 05/07/B – 20/04/A, OM CTR 50/07/B)
	RILEVATI PARAMASSI (TERRAMESH BIFACCIALI)

L'applicazione di Rivestimenti semplici, analoghi alle reti paramassi descritte nel capitolo precedente, è tipica in ammassi rocciosi la cui superficie può ridursi in frammenti aventi, come ordine di grandezza, una dimensione non inferiore a quella della maglia della rete a doppia torsione e comunque non superiore a 0,5 m di diametro equivalente. Tale rivestimento, come è noto, viene utilizzato per controllare la caduta massi consentendone l'accumulo al piede della parete, per proteggere strade o centri abitati situati direttamente adiacenti al piede di scarpate di scarpate di scavo o pendii naturali e per contenere il distacco di piccoli elementi rocciosi in pendii soggetti ad alterazioni meteoriche e naturali.

Per ovviare al problema della smagliatura della rete in caso di rottura accidentale di qualche filo (tipico delle reti a semplice torsione), la Maccaferri utilizza la

suddetta rete metallica a doppia torsione, che risulta essere la soluzione ideale per evitare questo tipo di problema e per la flessibilità in ogni direzione. Inoltre l'azienda ha sviluppato STEELGRID, un tipo di rete a doppia torsione che si colloca a metà strada tra le reti rinforzate con funi e i rivestimenti corticali armati con pannelli in fune il cui geocomposito è detto STEELGRID MO (mono oriented).

La tecnica del Soil nailing viene usata sia in pendii naturali che lungo fronti di scavo che prevede il fissaggio con opportuni ancoraggi sullo strato superficiale del versante, un rivestimento che può essere di tipo rigido, flessibile strutturale (Rete metallica a doppia torsione, Steelgrid) o leggero non strutturale. Il sistema risulta essere in grado di migliorare la resistenza al taglio dei terreni riducendo allo stesso tempo i fenomeni di erosione superficiale o di degradazione fisica, grazie al successivo inerbimento artificiale. Lo scopo principale è quello di realizzare una connessione tra gli elementi superficiali instabili e la parte profonda e stabile del pendio. La tecnica del Soil nailing si distingue nettamente da un rivestimento corticale in quanto essi risolvono un problema di stabilità.

Per Rafforzamenti corticali, si intendono tutti quegli interventi che hanno la funzione di consolidare la parte corticale dell'ammasso roccioso e di contenere eventuali distacchi. La Maccaferri ha sviluppato due diverse tipologie di rivestimenti per questo tipo di intervento che sono:

1. HEA Panel: Sistemi costituiti da pannelli in fune tipo HEA, o rinforzato con funi metalliche;
2. Steelgrid BO (bi oriented): Geocompositi ad alta rigidità e deformazione.

Le Barriere paramassi sviluppate dalla Maccaferri sono in grado di garantire l'assorbimento di energia cinetica da 500 a 5000 kJ e sono costituite da un sistema di pannelli in fune e rete metallica a doppia torsione, funi di collegamento ed elementi strutturali di dissipazione ed ancoraggio. Queste opere strutturali sono progettate in campo prova, in accordo alle normative ufficiali di riferimento ETAG 27.

Infine si hanno i Rilevati paramassi che hanno il fine di proteggere le strutture abitative, le strade ecc. Esse vengono situate a ridosso di rilievi montuosi a rischio caduta massi in cui non è possibile un rivestimento del fronte roccioso per alcuni impedimenti tecnici (presenza parziale o totale della vegetazione ecc.), con lo scopo primario di intercettare ed arrestare massi in caduta e deviare le potenziali colate detritiche. La Maccaferri in questa categoria ha sviluppato il

sistema Terramesh con strutture a terra rinforzata con la peculiarità di essere costituiti da elementi in rete metallica a doppia torsione.

Quest'ultimo sistema sviluppato dalla Maccaferri ha trovato il Suo impiego sulla tangenziale di Bologna quando nel febbraio del 2005, la società di "Autostrade per l'Italia SpA" ha conseguito diversi piani di investimento per migliorare la rete stradale italiana. Il settore dell'autostrada A14 che corre per 14 km da Borgo Panigale a San Lazzaro, adiacente alla tangenziale di Bologna (figura 48), aveva bisogno di ampliare le due corsie a tre. Per questo motivo c'era la necessità di realizzare un terrapieno per supportare la nuova corsia. La soluzione è stata trovata dalla Maccaferri con un sistema Terramesh rinforzato e rinverdito; in figura 3.6 è mostrato lo stato dei luoghi subito dopo i lavori (figura 49a) ed attuale (figura 49b).



Figura 48 - Mappa dei settori autostradali coinvolti nella strada di ampliamento di opere. (Tratta da www.officinemaccaferri.com)



Figura 49 – Sistema Terramesh per la tangenziale di Bologna. a) Subito dopo i lavori (Novembre 2005); b) Stato attuale dei luoghi. (Tratta da www.officinemaccaferri.com)

L'area posta a monte della strada provinciale Diga Salto – Bivio Rocca Vittiana del comune di Varco Sabino (RI), è stata risanata dopo che l'Amministrazione Provinciale di Rieti ha indetto un appalto concorso esteso a tutto il territorio nazionale nel 1990. A seguito degli interventi di bonifica e consolidamento della zona suddetta, nonché di protezione e presidio del sottostante tratto di S.P. (Figura 50) con le relative proposte di manutenzione ad oggi non pervenute, si è voluto intraprendere questo studio, mostrando le soluzioni adottate in passato e confrontandole con lo stato dei luoghi al 2013.

Tutto ciò è nato dalla consapevolezza e conoscenza del territorio reatino e dalla sua propensione al dissesto, che già dall'età romana e dalla metà del '900, ha subito profondi cambiamenti a seguito di considerevoli opere di bonifica e sistemazioni territoriali come la realizzazione dei bacini artificiali del Salto e del Turano per rendere più agevole l'insediamento e la colonizzazione dei terreni della Piana di Rieti, anticamente occupata dalle acque del *Lacus Velinus*. Proprio dove fu eretta la diga del Salto sotto Rocca Vittiana di Varco Sabino, corre la strada provinciale e quel suo sciagurato tratto di 500 m bersaglio di massi in caduta libera dal monte sovrastante.



Figura 50 - A sinistra Ortofoto (2008) dell'area di interesse per la bonifica e il consolidamento; a destra fronte dell'area oggetto di studio (In rosso il tratto di S.P. interessato)

Le frane per crollo appaiono tra i dissesti maggiormente pericolosi e frequenti e, nel contempo, i meno considerati negli studi geologici.

Nella Provincia di Rieti sono ricorrenti i fenomeni di questo tipo di frana, questo tipo di risultato è emerso nell'ambito di un programma di ricerca congiunto tra l'Assessorato ai Lavori Pubblici della Provincia di Rieti ed il Gruppo Protezione Civile del C.N.R. – I.R.O.E., finalizzato << ad una più approfondita conoscenza dei dissesti idrogeologici in atto e delle relative situazioni di rischio >> (Menotti et alii, 1992).

Nel reatino, a volte, le situazioni sono le stesse, come ad esempio la Strada Provinciale << Tancia >>, che taglia a mezza costa un versante montuoso sito nel Comune di Salisano (RI) interessato da una instabilità diffusa con rischio di crolli, ribaltamenti e scorrimenti (Figura 51).

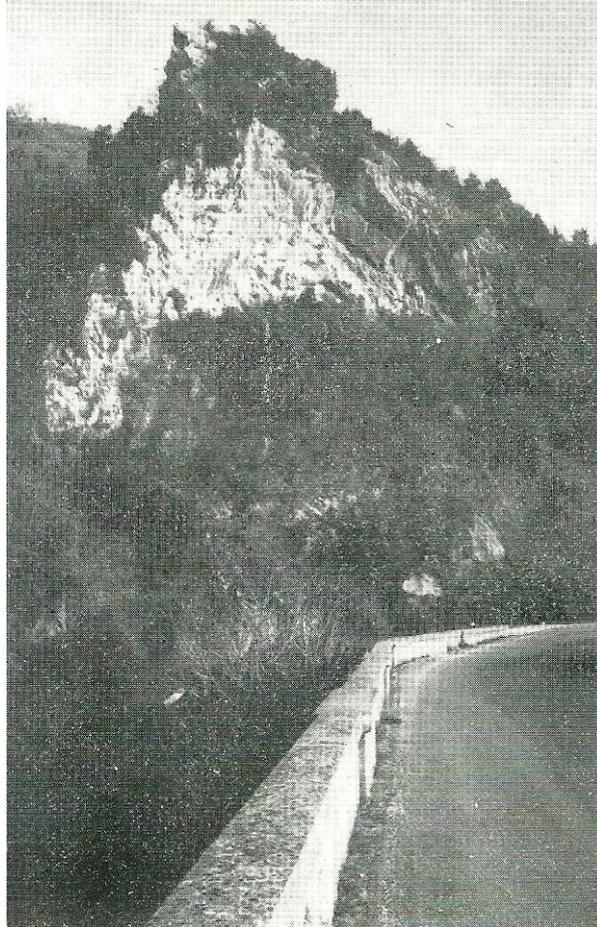


Figura 52 - Strada Provinciale << Tancia >> (Poggio Mirteto – Salisano). Versante instabile a ridosso della carreggiata. (Menotti R. M. et alii, 1992)

Tornando all'area oggetto di studio mostrata in Figura 50; essa ricopre una superficie di circa 14 ha, raggiungibile da Rieti mediante la strada statale Salto-Cicolana, situata a ridosso della strada provinciale Diga del Salto – Bivio Rocca Vittiana, dalla progressiva 0.000 (Figura 53) alla progressiva 0.500 (Figura 54).



Figura 53 - Progressiva 0.000 S.P.

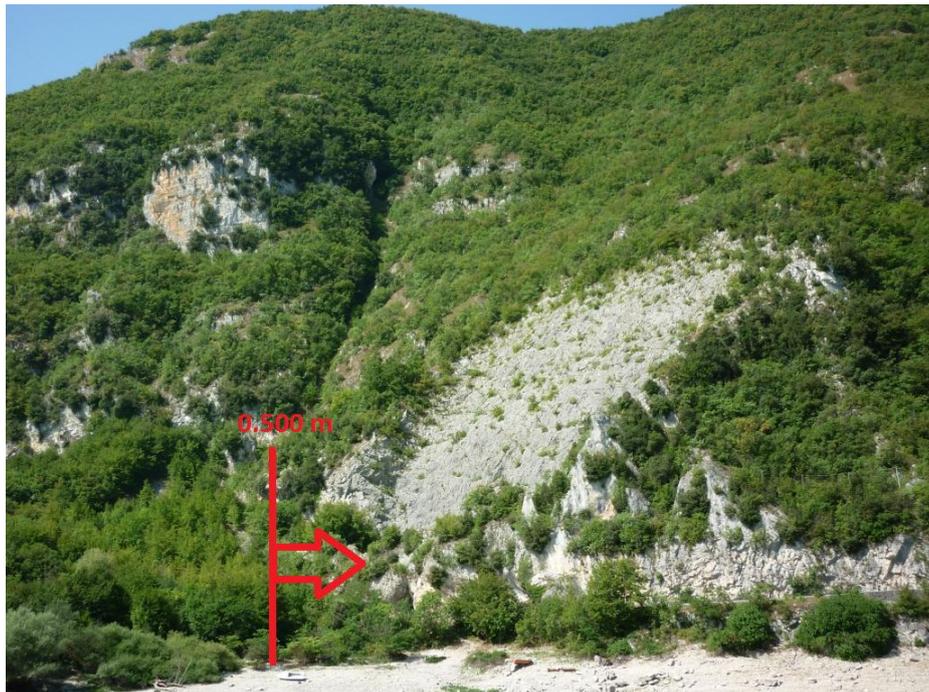


Figura 54 - Progressiva 0.500 S.P.

Capitolo 1

Inquadramento geografico, geologico e geomorfologico della Provincia di Rieti e del Comune di Varco Sabino

1.1 La Provincia di Rieti

Lo studio sistematico dei movimenti franosi conseguito nel corso degli anni, come il lavoro di ricerca precedentemente citato svolto dall'Assessorato ai Lavori Pubblici della Provincia di Rieti ed il Gruppo Protezione Civile del C.N.R. – I.R.O.E., ha evidenziato non poche situazioni di rischio che interessano i centri abitati, la viabilità principale della Provincia di Rieti e il patrimonio architettonico. Alcuni centri storici sono stati nel tempo oggetto dei decreti integrativi della Legge 445/1908 che prevedevano il trasferimento o il consolidamento a cura e spese dello Stato di una parte o dell'intero abitato come ad esempio l'intero abitato di Varco Sabino.

A causa dell'alta sismicità del territorio reatino, i terremoti che anche recentemente hanno colpito la regione sono certamente da porre fra le principali cause predisponenti e talvolta direttamente innescanti i fenomeni franosi.

La zona sismica della Provincia di Rieti indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 e la n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche (Figura 1.1), aggiornate con la Delibera della Giunta Regionale del Lazio n. 387 del 22 maggio 2009; risulta

essere in “Zona 2” secondo la classificazione adottata. In particolare, per le differenti caratteristiche sismologiche e geologiche fra la zona della Piana reatina e del Monte Terminillo, il territorio del Comune di Rieti è stato suddiviso in due Unità Amministrative Sismiche (UAS), classificate in due sottozone della medesima zona sismica 2 (Figura 1.2).

Zona sismica	Fenomeni riscontrati	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni
1	Zona con pericolosità sismica alta . Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$a_g \geq 0,25g$
2	Zona con pericolosità sismica media , dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0,15 \leq a_g < 0,25g$
3	Zona con pericolosità sismica bassa , che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 \leq a_g < 0,15g$
4	Zona con pericolosità sismica molto bassa . E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse.	$a_g < 0,05g$

Figura 1.1 - Zone sismiche dell'intero territorio italiano. La suddivisione in 4 zone è stata svolta sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido o pianeggiante “ a_g ”, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni. (Tratta dal sito www.tuttitalia.it)

Zona sismica 2A	Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti. La sottozona 2A indica un valore di $a_g \geq 0,20g$. Comprende l'area del Comune di Rieti ubicata sulla sinistra orografica del fosso della Papena e del fosso Ranaro e sulla destra orografica del fosso Pantana.
Zona sismica 2B	Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti. La sottozona 2B indica un valore di $a_g < 0,20g$. Comprende la restante area del comune di Rieti.

Figura 1.2 - Zonazione sismica del comune di Rieti. (Tratta dal sito www.tuttitalia.it)

Nel Lazio 366 comuni, il 97% del totale (378), sono classificati a rischio idrogeologico dal ministero dell'Ambiente collocando il Lazio al sesto posto nella graduatoria nazionale del dissesto di cui 234 comuni sono a rischio frana e altri 129 a rischio sia frana che alluvione. La natura dei terreni della provincia di Rieti fa sì che la zona della conca reatina sia una zona a elevato rischio idrogeologico secondo Ecosistema rischio 2008, dossier di Legambiente.

1.2 Inquadramento territoriale e morfologico

La provincia di Rieti è una provincia del Lazio di 160.467 abitanti e 73 comuni che ha come capoluogo Rieti, ubicato all'interno della tavoletta topografica "Rieti", nel foglio 347 dell'istituto Geografico Militare Italiano (Figura 1.3 e Figura 1.4). Essa è stata costituita nel 1927 unendo il territorio del circondario di Rieti (già parte della provincia di Roma) al territorio dell'ex circondario di Cittaducale (già parte della provincia di Aquila degli Abruzzi) e ha una superficie di 2749 km² (Figura 1.5).



Figura 1.3 - IGM serie storica – scala 1:50000 – Foglio n°138 II – “Rieti” (levata al 1893). (Tratta da www.dista.unibo.it)



Figura 1.4 - IGM serie 25 DB – Scala 1:25000 (riproduzione fuori scala) – Foglio n°347 Sezione II – “Rieti” (Edizione 1, 2004) – (Tratta da www.dista.unibo.it)



Figura 1.5 - Localizzazione geografica della provincia di Rieti (in rosso). (Tratta da www.wikipedia.it)

La provincia è situata in corrispondenza del centro geografico dell'Italia, in particolare la città di Rieti è tradizionalmente ritenuta l' *Umbilicus Italiae* e sorge su una piccola collina al margine di una fertile pianura denominata Piana Reatina, che si estende per circa 92 km², ad un'altitudine di 405 m s.l.m., alle pendici del Monte Terminillo, sulle sponde del Fiume Velino. Denominazione ricorrente e attribuita alla Piana Reatina è quella della “conca di Rieti”, che ha

forma pressoché rettangolare. In età pleistocenica era quasi tutta sommersa da un grande lago, le cui rive coincidevano con l'isoipsa di 380 m.

Il territorio reatino presenta una morfologia essenzialmente collinare e montuosa, senza alcuno sbocco sul mare. La Piana è racchiusa dal Monte Terminillo e dai Monti Reatini, di cui fa parte, ad est, dai Monti Sabini ad ovest ed è tagliata dal Fiume Velino che riceve in essa le acque dei fiumi Salto e Turano.

La provincia confina ad ovest, lungo il Fiume Tevere, con la provincia di Viterbo e la provincia di Roma; a est con la provincia di Ascoli Piceno (Marche) e la provincia dell'Aquila e la provincia di Teramo (Abruzzo); a nord con la provincia di Perugia e la provincia di Terni (Umbria).

La morfologia è caratterizzata da dorsali a prevalente andamento appenninico (NW-SE), con cime che superano i 2000 m s.l.m. come i Monti Reatini e i Monti della Laga. Sono presenti anche altri massicci meno elevati quali i Monti Sabini, Monti del Cicolano, Monti Nuria ed altri, più la presenza di vallate interne e altopiani (Piana Reatina, Piana di Leonessa, Piana di S. Vittorino), ed estese valli terrazzate come la Valle Tiberina. In particolare, le estese pianure intramontane si sono sviluppate a quote diverse e corrispondono ad ampie depressioni di origine tettonica tuttora subsidenti; la Conca di Rieti risulta essere la più ampia e si è formata una fase pleistocenica e olocenica.

Importante sia per la storia che per il mutamento dell'assetto territoriale, sono i due laghi artificiali del Salto e del Turano, entrambi databili al ventennio fascista, situati rispettivamente nella Valle del Salto, appartenente alla zona del Cicolano oggetto di studio di questa tesi di laurea triennale, e in alta Sabina (Figura 1.6).

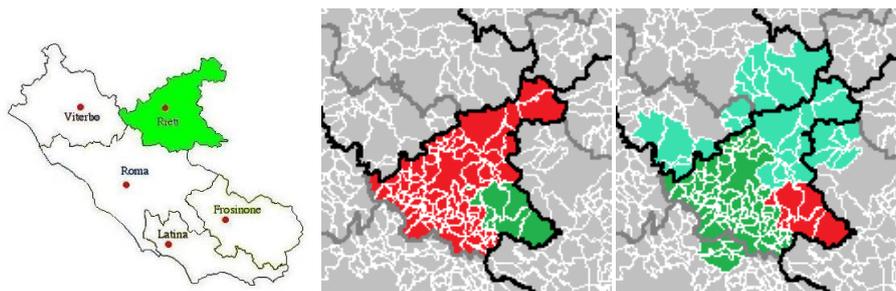


Figura 1.6 - La Provincia di Rieti: a sinistra la regione Lazio con la provincia di Rieti (in verde); al centro la zona del Cicolano (in verde) con la Sabina laziale (in rosso); a sinistra la zona dell'alta Sabina (verde scuro), della bassa Sabina (verde chiaro) e ancora la zona del Cicolano (in rosso). (Tratte da www.lazionauta.it e da www.wikipedia.it)

La provincia di Rieti ha notevoli risorse idriche: in essa si trovano le sorgenti del Peschiera (che fornisce molta dell'acqua necessaria a Roma, circa 550 milioni di metri cubi ogni anno), Santa Susanna, del Cantaro e di Cottorella. Inoltre si registra anche la presenza di undici laghi in tutto il territorio.

1.3 Idrologia superficiale

La Conca di Rieti si presenta come un tipico bacino intermontano tra i Monti Sabini ad Ovest e quelli reatini ad Est. Le acque al suo interno provengono fondamentalmente dal settore meridionale ed orientale della stessa; corsi d'acqua più importanti sono il Velino, il Turano, il Santa Susanna, il Canera ed il Salto (Figura 1.7) (Serva L. et alii, 1991).

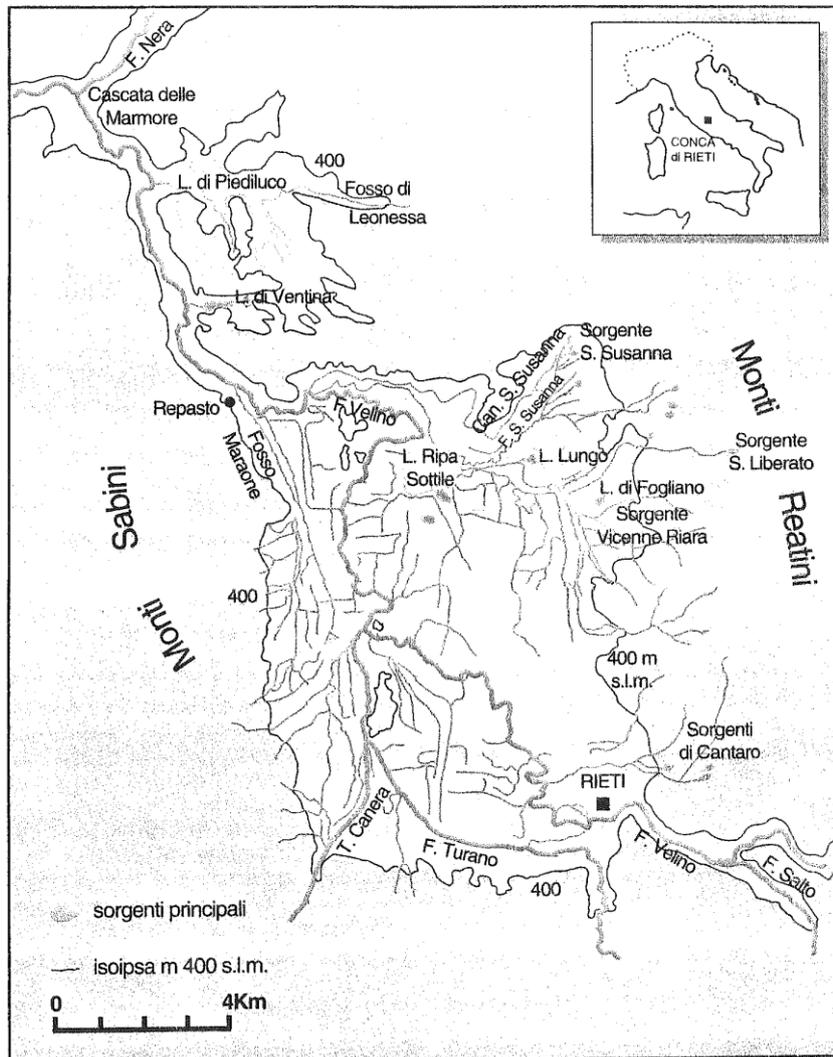


Figura 1.7 - Idrografia della Conca di Rieti. (Serva L. et alii, 1991)

1.4 Cenni storici e la costruzione della diga del Salto

Negli ultimi ventimila anni la Conca di Rieti è stata sottoposta a continue fasi di colmamento e di svuotamento, responsabili di alluvionamenti e oscillazioni dei bacini lacustri via via formatisi. Sotto il profilo morfogenetico, un ruolo importante ha giocato e continua a giocare, l'azione svolta dall'uomo negli anni con le numerose opere di bonifica; la prima risale all'età romana quando si aprì un varco tra il calcare accumulatosi negli anni presso Marmore, generando così l'omonima cascata. In un poderoso banco di travertino si effettuò lo scavo delle Marmore che servì per la creazione di un canale in grado di accelerare il deflusso delle acque ma che in seguito, risultò essere stato il nodo principale del problema perché il solo scavo avrebbe dovuto trovare supporto in una serie di altre operazioni complementari per garantire uno spostamento stabile dell'equilibrio. La bonifica della Conca reatina con l'apertura del Canale delle Marmore, suddivise in specchi d'acqua minori l'antico lago suddetto: il *lacus velinus*. Il suo prosciugamento, grazie alla costruzione artificiale Cascata delle Marmore, ha modificato l'intero ecosistema della zona. Dell'antico lago sono rimasti solo dei laghetti residui nelle zone più depresse. Tale bonifica fu dovuta al console romano Manio Curio, circa nel 272 a.C. (Serva L. et alii, 1991).

Il motivo che spinse allo scavo delle Marmore va ricercato ancor prima, a partire dal Quaternario post-villafranchiano, quando i fiumi Velino e Nera, originariamente comunicanti sullo stesso piano, iniziarono a subire una forte differenziazione di livello dovuta alla duale attività incrostante ed erosiva, rispettivamente, causata dalla composizione chimica delle acque dei due fiumi. Tutto ciò portò alla incisione della sua stessa valle. Proprio in corrispondenza delle Marmore, laddove avveniva la confluenza dei due fiumi, si generò pian piano un massiccio blocco di travertino che, come una diga, finì per ostacolare il deflusso del Fiume Velino nel Nera causando il progressivo alluvionamento della pianura circostante e portando alla formazione di un ampio lago che fu detto in epoca storica Velinus (Il lago Velino storico). Col passare dei secoli, tuttavia, a causa della inalterata attività incrostante delle acque del Fiume Velino, la Cava delle Marmore denominata Curiana, caratterizzata inoltre da una debole pendenza, finì per ostruirsi definitivamente. A partire dai secoli X e XI, ci fu una nuova fase alluvionale che fece sì che lentamente molte delle terre emerse in seguito allo svuotamento parziale della conca determinato dalla Cava Curiana

venissero di nuovo occupate dalle acque, creando nei periodi di piena, una vera e propria distesa lacustre.

Solo nell'ultimo decennio del XVI secolo si conseguì una soluzione atta a incrementare il deflusso (medio), aumentando la pendenza dell'alveo (0,41 cm per metro), rimasta inalterata sino ai giorni nostri, che permise di imprimere alle acque la velocità di più di 2 m/s, tale da rendere impossibile tanto la sedimentazione quanto l'azione incrostante che, sommandosi, originano il travertino. Questo fu realizzato con uno scavo adiacentemente al vecchio tracciato della Cava Curiana, con sezione trasversale e profondità maggiori rispetto ai precedenti canali: la cava Clementina (grazie ad essa vennero bonificati circa 5400 ettari di terreno paludoso). La cascata delle Marmore assunse in tal modo l'aspetto che anche attualmente conserva con tre salti per un totale di 165 m (Figura 1.8).



Figura 1.8 - La cascata delle Marmore: si trova a circa 7,5 km di distanza da Terni, in Umbria, quasi alla fine della Valnerina, la lunga valle scavata dal fiume Nera. (Tratta da www.labro.gov.it)

A seguito delle bonifiche della Piana di Rieti, il paesaggio fu segnato da continui mutamenti come la generazione del Fiume Velino che si rese indipendente dal lago. Tra il fiume e il lago rimase tuttavia una zona paludosa che poi venne bonificata.

Per concludere questa breve trattazione sulla storia delle bonifiche che ha subito il territorio di Rieti; è importante e propedeutico descrivere brevemente gli eventi in età contemporanea, che finirono per modificare del tutto il paesaggio e che, in parte, sono connessi all'instabilità del versante a monte della S.P. Diga del Salto

– Bivio Rocca Vittiana. Nei primi decenni del Novecento la crescente domanda di forza motrice da parte delle industrie determinò la realizzazione di un progetto di razionalizzazione della gestione delle risorse idroelettriche del sistema del Velino-Nera, nel cui ambito il Lago di Piediluco ha assunto la funzione fondamentale di elemento di regolazione e accumulo. Nel 1939 ci fu l'inaugurazione delle dighe del Salto e del Turano che crearono i due invasi artificiali, con la sommersione delle due vallate, e alla formazione dei due grandi invasi paralleli. Con la realizzazione dei due bacini artificiali, risultò più agevole l'insediamento e la colonizzazione dei terreni della Piana di Rieti. Con la svolta idroelettrica per la provincia di Rieti, si metterà in movimento il processo di "infrastrutturazione" dei fiumi, che porterà ad un profondo mutamento dei paesaggi (Figura 1.9 e Figura 1.10).

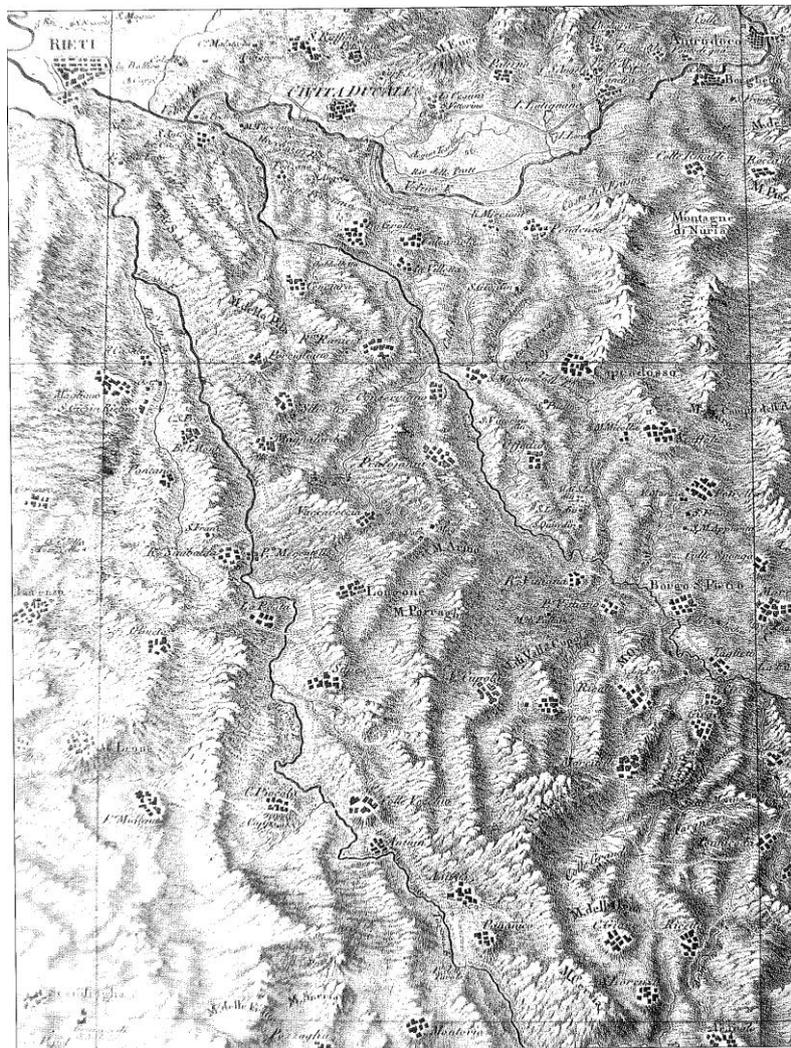


Figura 1.9 - Il Bacino del Velino, con le valli del Salto e del Turano, nel particolare dell'Atlante del Regno di Napoli del Rizzi Zannoni del 1808. (Tratta da "La bonifica reatina", Marinelli R., 2011)

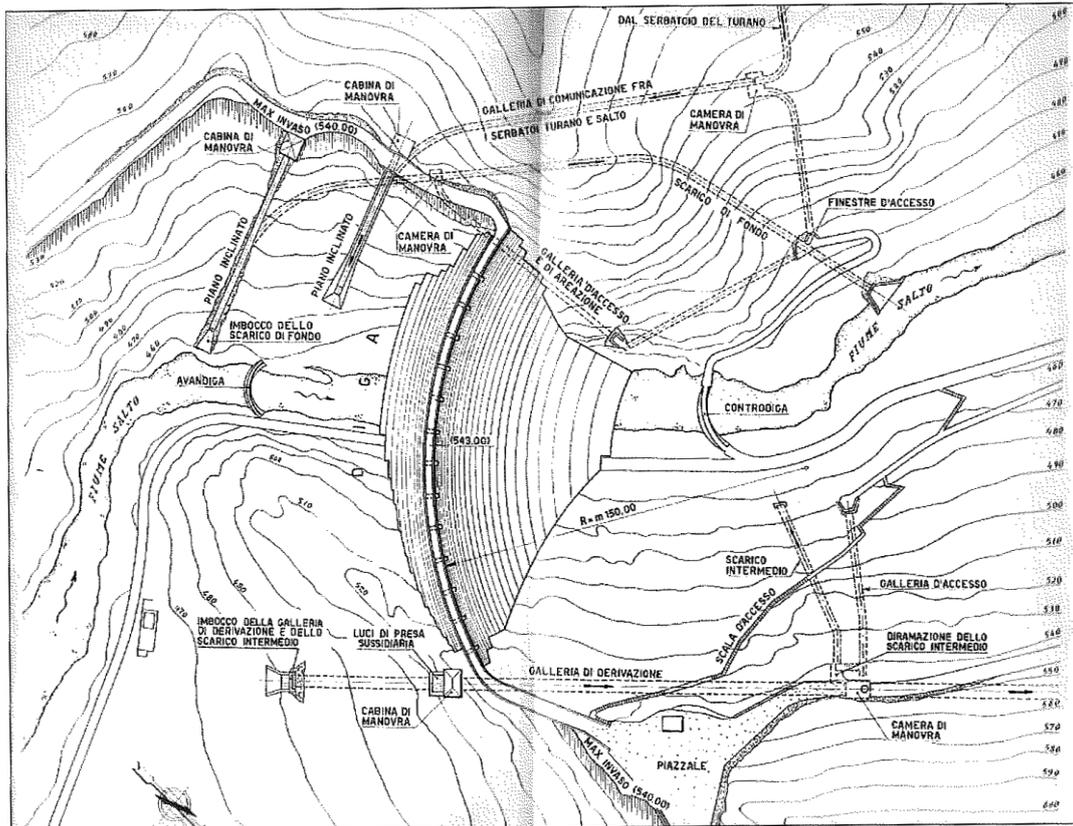


Figura 1.10 - Planimetria della Diga del Salto, con tutti gli impianti effettivamente realizzati. (Tratta da “La bonifica reatina”, Marinelli R., 2011)

Spostando l'attenzione esclusivamente sulla Valle del Salto sita sotto Rocca Vittiana di Varco Sabino dove fu eretta la diga nel 1940, si ricercano tutti quei mutamenti dovuti all'attività antropica.

La diga del Salto è una diga a gravità, alta 108 metri; fu costruita mediante lo sbarramento del fiume Salto con l'intento di realizzare l'invasamento della valle del Cicolano. Il bacino, della capacità di 280 milioni di metri cubi, è collegato a quello del Turano mediante un canale artificiale lungo circa 9 km e del diametro di 2,5 m scavato nel Monte Navegna (Figura 1.11 e Figura 1.12).

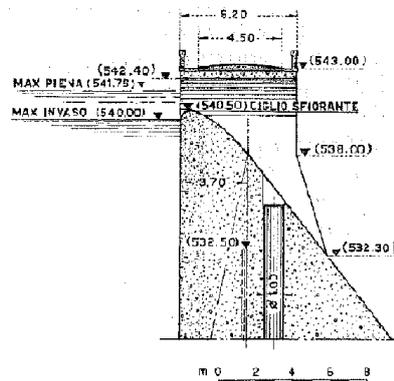
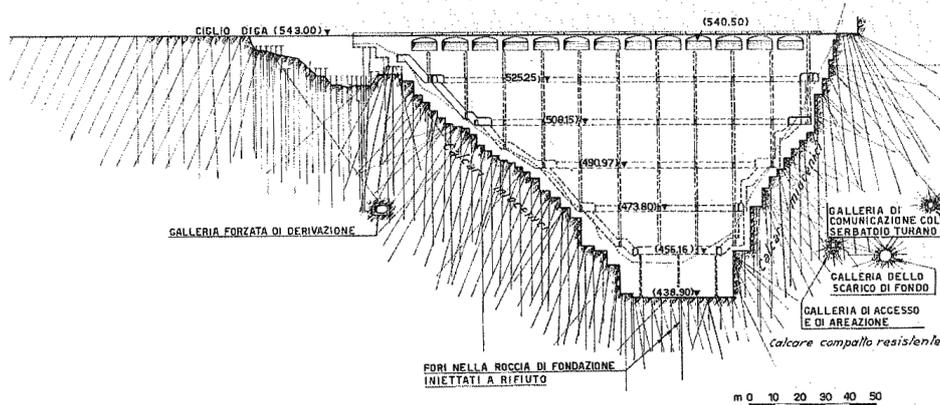
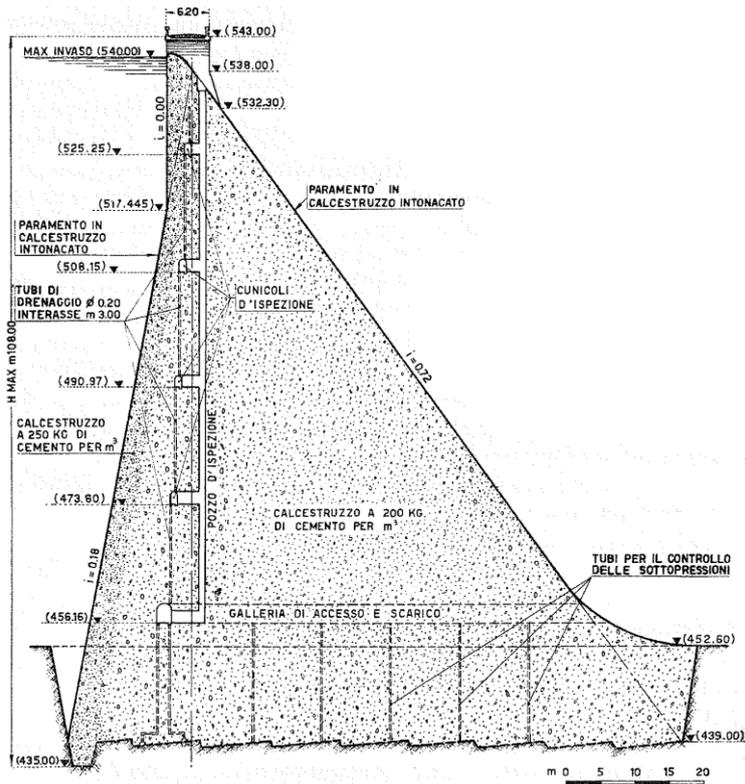


Figura 1.11 - Particolari della diga del Salto: Sezione trasversale su una luce sfiorante (a sinistra); Prospetto effettivo della diga (in alto a destra); Particolare di una luce sfiorante (in basso a destra). (Tratta da Marinelli R., 2011)



Figura 1.12 - Diga del Salto: a sinistra foto storica della vista posteriore della diga del Salto in cui è presente l'inizio della S.P. Diga del Salto – Bivio Rocca Vittiana (Dalla progressiva 0.000 m) oggetto di questo studio; a destra vista anteriore della diga al 2013.

Per la realizzazione di tale diga, si è dovuto sventrare il versante sulla sponda sinistra del lago del salto per la realizzazione di una cava di breccia, utilizzata ampiamente per la costruzione della stessa, in cui si estrassero centinaia di migliaia di metri cubi di materiale (Figura 1.13).

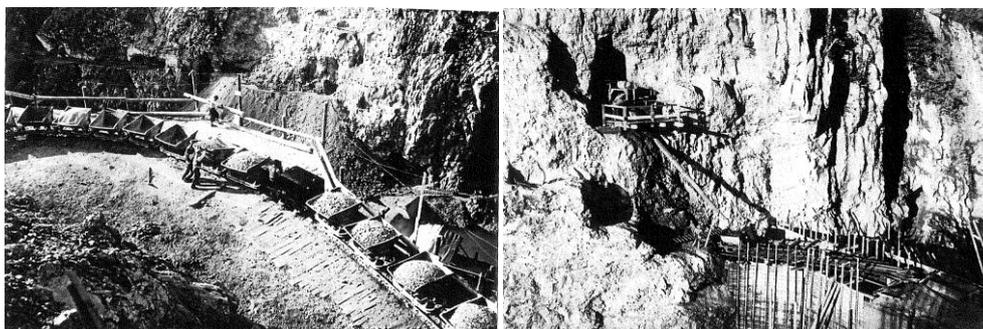


Figura 1.13 - Il Cantiere della Diga del Salto nella zona di estrazione del materiale sulla sponda sinistra del Lago del Salto. (Tratta da "La bonifica reatina", Marinelli R., 2011)

I processi di estrazione lasciarono sul posto un gigantesco cratere centrale e svariati cunicoli annessi, con le tramogge di roccia viva e le caverne di captazione del materiale breccioso visibili a livello stradale, che ad oggi sono ancora ben visibili, il che lascia riflettere su quanto nel tempo il versante sia stato ampiamente disturbato (Figura 1.14).



Figura 1.14 - Uno degli accessi alle miniere di estrazione del materiale che si affaccia lungo la S.P. in prossimità del bivio per Rocca Vittiana.

Molte tensioni seguirono alla realizzazione del bacino artificiale del Salto tra le popolazioni di ben quattro paesi sommersi dalle acque e ricostruiti più a monte con la Prefettura di Rieti; uno dei principali problemi era la richiesta del Podestà di Varco Sabino del mantenimento o il ripristino a norma di legge, della viabilità esistente al momento della realizzazione dell'invaso artificiale. Il Podestà protestava contro l'inevitabile isolamento a cui sarebbe andato incontro il comune di Varco Sabino, che per mezzo di un Ponte (Ponte di Poggio Vittiano) ormai prossimo alla sommersione, collegava direttamente con Rieti e Avezzano.

Ad oggi la strada che collega Varco Sabino con Rieti e Avezzano è proprio la S.P. Diga del Salto – Bivio Rocca Vittiana. La sua realizzazione fu parallela alla costruzione della diga, poiché serviva come strada di cantiere per permettere la movimentazione del materiale da estrazione dai fronti di scavo all'imponente struttura che stava per innalzarsi. La realizzazione di questa strada di cantiere, fu eseguita con la detonazione di cariche esplosive nel mezzo lapideo tramite il taglio netto della roccia, con tecniche presumibilmente di tipo *presplitting*, ai piedi del versante sulla sponda sinistra del lago.

A seguito del sopralluogo svolto nell'area di studio, si è verificato come i fori di caricamento siano ancora visibili nella parete rocciosa (Figura 1.15); questo può essere un altro motivo che porta a meditare sull'intenso stato di sollecitazione indotto al pendio a monte della attuale S.P., ottenuta da quella che fu una strada di cantiere.



Figura 1.15 - Fori di caricamento esplosivo.

1.5 Idrografia

Grazie alla consultazione del sito internet della Provincia di Rieti e quello della Protezione Civile, nonché delle trattazioni svolte da Menotti R.M. e Millesimi F. (1999) sugli studi condotti sui <<fenomeni franosi interessanti i centri abitati e la viabilità nella provincia di Rieti>> è stato possibile trarre informazioni di nostro interesse sulla grande risorsa idrica del territorio e dell'inquadramento generale del territorio, oggetto di questo studio, e che segue nei prossimi paragrafi.

Dal punto di vista idrografico, a meno delle sorgenti dell'alto bacino del Fiume Tronto, il territorio appartiene quasi completamente al bacino del Fiume Tevere, con il sottobacino del Fiume Velino (i cui affluenti sono il Salto e il Turano) e una serie di corsi d'acqua minori diretti tributari del Tevere (Torrente Farfa, Fosso Corese, ecc.). In altre parole il reticolo idrografico è caratterizzato da tre bacini idrografici principali (il bacino del fiume Tronto, il bacino del fiume Velino e dei suoi due affluenti principali ed il bacino del fiume Tevere); il territorio della provincia ricade in larga parte nel bacino del fiume Tevere e a Nord Est, per aree molto ridotte, nel bacino del fiume Tronto (Figura 1.16).

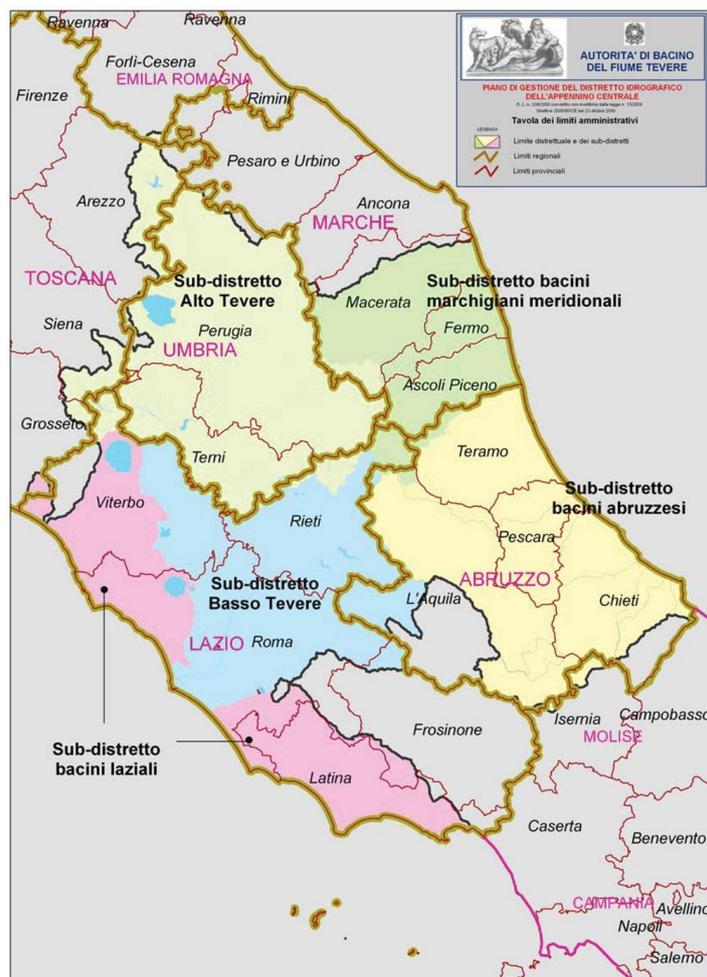


Figura 1.16 - Distretto idrografico dell'Appennino centrale, in particolare si mostra come la provincia di Rieti ricada in larga parte nel bacino del fiume Tevere. (Tratta da www.abtevere.it)

Sono presenti bacini lacuali artificiali di grandi dimensioni, i quali già citati Lago del Salto e Lago del Turano, e il Lago di Scandarello (il cui sbarramento regola l'afflusso di acque del bacino verso il versante Adriatico). Non mancano alcuni laghi naturali che sono: I Laghi Reatini; il Lago di Ventina; i Laghi di Paterno; il Lago della Duchessa; di dimensioni meno estesa.

I Corsi d'acqua ricevono l'apporto di numerose sorgenti, quali Peschiera e Le Capore che sostengono in modo determinante il fabbisogno idropotabile della città di Roma. Da non trascurare anche le fonti termali e minerali presenti nel territorio: le Terme di Cotilia e Fonte Cottorella.

1.6 Inquadramento geologico e geomorfologico

1.6.1 Storia geologica

L'Appennino centrale, che è la zona di interesse per il nostro studio sul territorio della provincia di Rieti, come riferisce il piano provinciale di protezione civile consultabile sul sito web della provincia di Rieti afferma che esso è caratterizzato dalla presenza di unità sedimentarie connesse a diversi ambienti paleogeografici e strutturali che hanno interagito tra di loro durante le varie fasi di deformazione tettonica che si sono succedute dal Giurassico inferiore fino ad oggi.

L'orogenesi Appenninica è avvenuta a partire dall'Oligocene e si è prolungata durante tutto il Miocene, procedendo in direzione orientale. Ad oggi l'area centro appenninica è sottoposta ad una tettonica estensionale che trae origine già nel Pliocene, subito dopo il termine delle spinte compressive orogenetiche.

Dal punto di vista geologico, nell'Appennino centrale si possono distinguere due grandi unità strutturali e sedimentarie:

- a) la piattaforma carbonatica laziale – abruzzese interessata da imponenti sollecitazioni tettoniche ma che mantiene ancora una sua sostanziale unità strutturale e che presenta una fascia con caratteristiche sedimentarie di transizione con quelle di mare profondo a W (margine sabino), N (margine aquilano) ed E (margine marsicano e molisano). In Figura 1.17 è possibile visionare lo schema Geologico-Strutturale della piattaforma nell'area del Lago del Salto con la relativa sezione interpretativa;
- b) i grandi bacini pelagici contigui alla piattaforma.

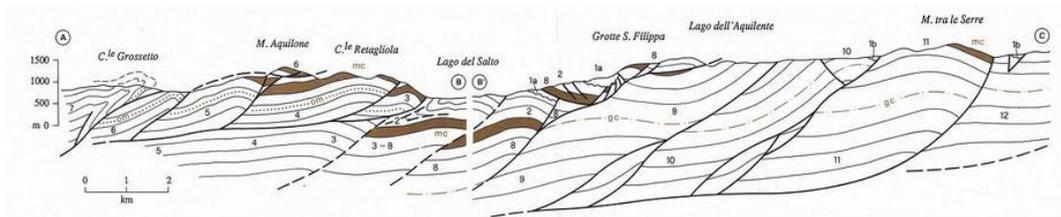
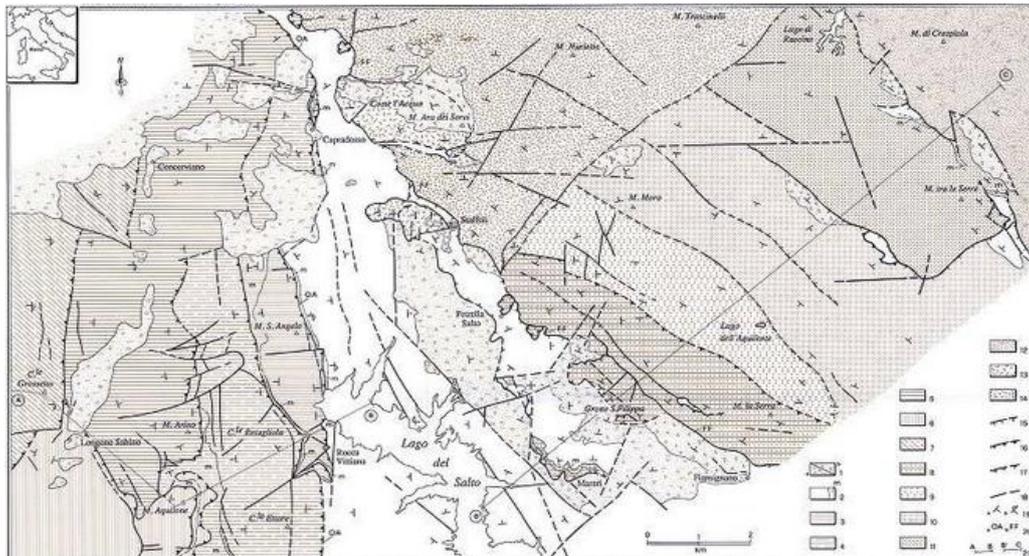


Figura 1.17 - Schema Geologico-Strutturale e relativa sezione interpretativa della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese nell'area del Lago del Salto (RI). (Tratta da www.egeo.unisi.it)

Tali unità, durante le varie fasi dell'orogenesi appenninica, sono state interessate da ingenti apporti silicoclastici torbiditici di età compresa tra l'Oligocene superiore e il Pliocene inferiore (Flysch).

In Figura 1.18 viene mostrata la Carta Geologica, in Scala 1:50000, del settore Meridionale della provincia di Rieti (Appennino Centrale) con in particolare proprio la zona del Fiume Salto.

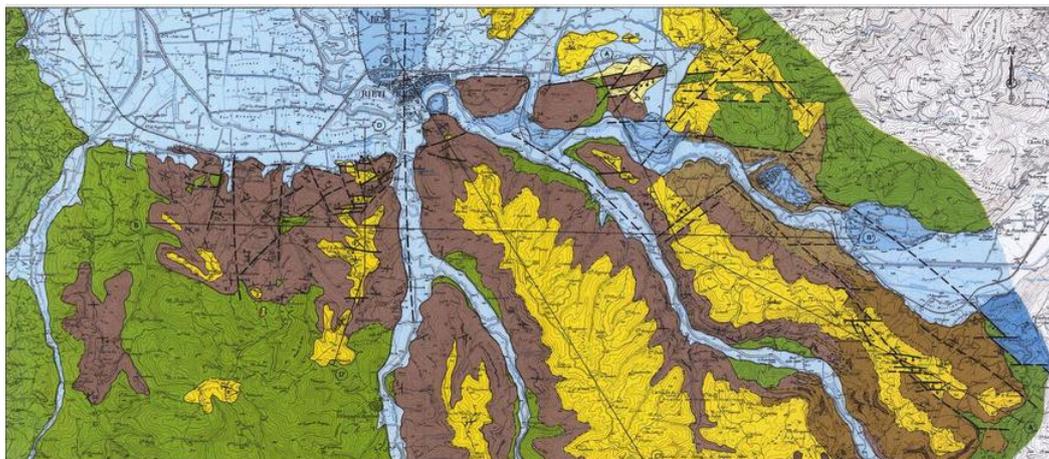


Figura 1.18 - Carta Geologica del settore Meridionale della provincia di Rieti in scala 1:50000 (riproduzione fuori scala). In basso a destra il Fiume Salto e l'inizio della serie carbonatica laziale-abruzzese (Blu scuro).

(G.P. Cavinato, 1993)

1.6.2 Geologia

Dal punto di vista geologico la Provincia di Rieti si colloca in un settore strutturalmente complesso situato nell'area di transizione fra successioni di facies diversa i cui relativi rapporti geometrici sono stati complicati dal succedersi di numerosi fasi tettoniche.

Nel settore nord-orientale del territorio sono presenti sedimenti arenacei (Flysch della Laga), affioranti anche nel Cicolano e nell'alta valle del Turano. Tutte le principali dorsali montuose sono costituite da formazioni carbonati che, con sequenze stratigrafiche della serie umbro-sabina di transizione e di bacino, come ad esempio il Monte Terminillo, e della serie di piattaforma laziale-abruzzese.

Le colline della Sabina sono formate da depositi terrigeni continentali e marini, quali ad esempio: argille, argille sabbiose, sabbie e conglomerati. Essi sono ricoperti da tufi incoerenti e pedogenizzati che sono prodotti vulcanici del vicino Apparato Sabino.

Sono presenti delle grandi bancate di conglomerati fluvio-lacustri plio-quadernarie che bordano la depressione tettonica della Conca di Rieti, dove affiorano depositi alluvionali e lacustri attuali; inoltre estese placche di travertino caratterizzano la Valle del Velino tra la città di Antrodoco (RI) e Rieti.

1.6.3 Geomorfologia

Le direttrici tettoniche principali ad andamento appenninico controllano l'assetto geologico i cui eventi distensivi successivi sono responsabili del collasso delle piane interne. Elemento tettonico di importanza regionale è la linea Olevano-Antrodoco, che mette a contatto i domini di bacino e di piattaforma meso-cenozoici e i depositi flyschoidi miocenici. Lineamenti neotettonici sono indizio dell'elevata e diffusa simiscità del territorio provinciale.

La caratteristica forma subrettangolare della Piana reatina si è il risultato della fase tettonica distensiva plio-pleistocenica che ha interessato i rilievi carbonatici meso-cenozoici dei suoi margini occidentali (Monti Sabini) e orientale (Monti Reatini). La depressione in tramontana così originatasi è stata più tardi riempita da depositi fluvio-lacustri composti da conglomerati, ghiaie, sabbie, limi e argille (Menotti et alii, 2000).

L'assetto geologico-strutturale così definito è visibile nella carta geologica in Figura 1.19, in cui si mostra lo schema geologico-strutturale della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese nell'area del Lago del Salto.

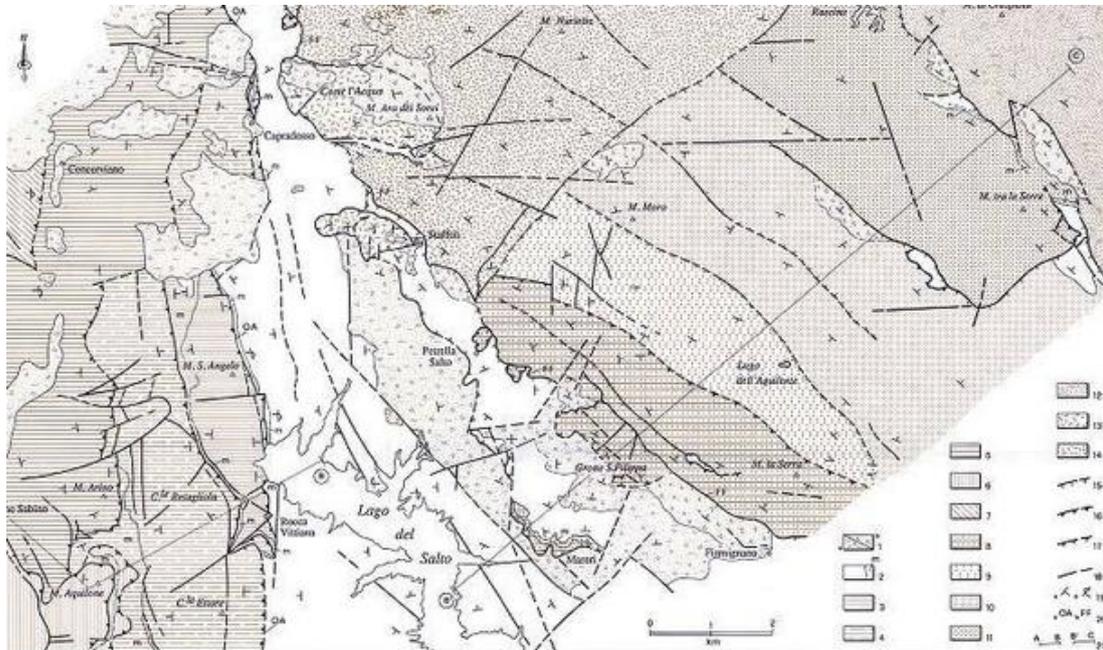


Figura 1.19 - Schema geologico-strutturale della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese nell'area del Lago del Salto (Rieti). (Mariotti G., Capotorti F., 1991)

I movimenti gravitativi di maggiore interesse sono ubicati in due aree della Piana reatina:

- al margine occidentale, dove alcuni debris flow, di piccole dimensioni e una frana per scorrimento con superficie superiore ai 15 ha, interessano principalmente il complesso detritico;
- al bordo nord-orientale, sempre in corrispondenza delle conoidi alluvionali e delle coperture detritiche di falda, dove sono presenti frane per scorrimento e limitatamente al complesso carbonatico alcune frane per crollo.

1.7 Idrogeologia

Le caratteristiche idrografiche precedentemente descritte sono legate alla natura prevalentemente calcarea dell'area, che presenta anche fenomeni carsici, ed è causa di un'elevata permeabilità degli ammassi rocciosi con una circolazione superficiale modesta a vantaggio di quella sotterranea che, alla base delle strutture carbonatiche, alimenta vasti acquiferi che danno origine a numerose sorgenti con portate elevate e regolari.

Oltre all'abbondanza delle acque va evidenziata la presenza di sostanziali differenze nelle caratteristiche chimiche di alcune emergenze, rispetto alle classiche acque bicarbonato-calciche degli acquiferi carbonatici, come quelle evidenti ad esempio nelle acque delle Terme di Cotilia che sono particolarmente ricche in solfati, in anidride carbonica e in altri fluidi gassosi provenienti da elevate profondità nel sottosuolo. La grande circolazione idrica, accompagnata da un'attività tettonica recente che è responsabile sia della risalita dei sopraccitati fluidi profondi, sia di un certo grado di sismicità locale, determina elevati rischi di dissesto idrogeologico come quello nella Piana di S. Vittorino (sede di numerose e copiose emergenze di acque sotterranee).

Tale circolazione, nelle fasce pedemontane limitrofe, risulta essere responsabile anche del fenomeno dei "sinkholes", ovvero di sprofondamenti di forma circolare riempiti di acqua di falda, causati da crolli di cavità nel sottosuolo (Menotti et alii, 1999).

Da sottolineare l'intensa attività tettonica che ha interessato la catena appenninica centro meridionale. Essa ha contribuito allo smembramento delle piattaforme carbonatiche di età Liassica e del Cretacico superiore con conseguente deposizione di flysch nei solchi esistenti tra i diversi frammenti. Tutto ciò ha provocato l'isolamento idraulico delle diverse dorsali carbonatiche che sono dal punto di vista idrogeologico, le principali aree di ricarica della Regione Lazio.

Lo schema idrogeologico della provincia di Rieti risulta essere molto vario.

Qui di seguito viene presentato ed è basato sulla presenza di alcune unità idrogeologiche omogenee che regolano la presenza di sorgenti e di corsi d'acqua all'interno della provincia di Rieti:

- **Unità idrogeologica della Sabina:** qui sono presenti depositi sede di falde discontinue e di limitata estensione la cui produttività risulta essere non abbondante.;
- **Unità idrogeologica della piana Reatina:** al suo interno si distinguono due principali strutture morfologiche (nel settore centro settentrionale tale unità è occupata dalla piana reatina mentre nella parte meridionale presenta una morfologia più collinare): la porzione settentrionale è colmata da depositi clastici eterogenei e da conglomerati mentre per la restante parte da depositi di recente formazione (Pliocene – Pleistocene). Queste sono contornate da terreni trias-miocenici che possono essere impermeabili o permeabili;
- **Unità idrogeologica monti Sabini:** in questa unità si riscontra un complesso molto permeabile per fessurazione e per carsismo nei termini calcarei in cui sono presenti falde generalmente molto profonde e molto produttive ed un complesso che contiene falde discontinue disposte in orizzonti sovrapposti che alimentano piccole sorgenti;
- **Unità idrogeologica dei monti di Giano-Nuria-Velino:** questo sistema idrogeologico risulta essere il maggiormente esteso rispetto alle altre unità idrogeologiche (1016 km²). E' costituito principalmente dalla successione di piattaforma carbonatica laziale-abruzzese, ovvero da rocce ad elevata permeabilità che ospitano una falda regionale molto estesa e potente;
- **Unità idrogeologica dei Monti dell'arco umbro-marchigiano:** Unità costituita da litologie che sono in continuità idraulica per via dell'assetto strutturale tipicamente plicativo. Essa per via delle sue caratteristiche litologiche presenta uno scarso numero di sorgenti.

La varietà idrogeologica che caratterizza il territorio della regione Lazio e in particolare della provincia di Rieti, associato a una morfologia e a una struttura geologica estremamente varia.

In Figura 1.20 è visibile lo schema idrogeologico dell'Italia centrale, estratto dagli allegati della Tavola n°1 dell'impresa Eurock.

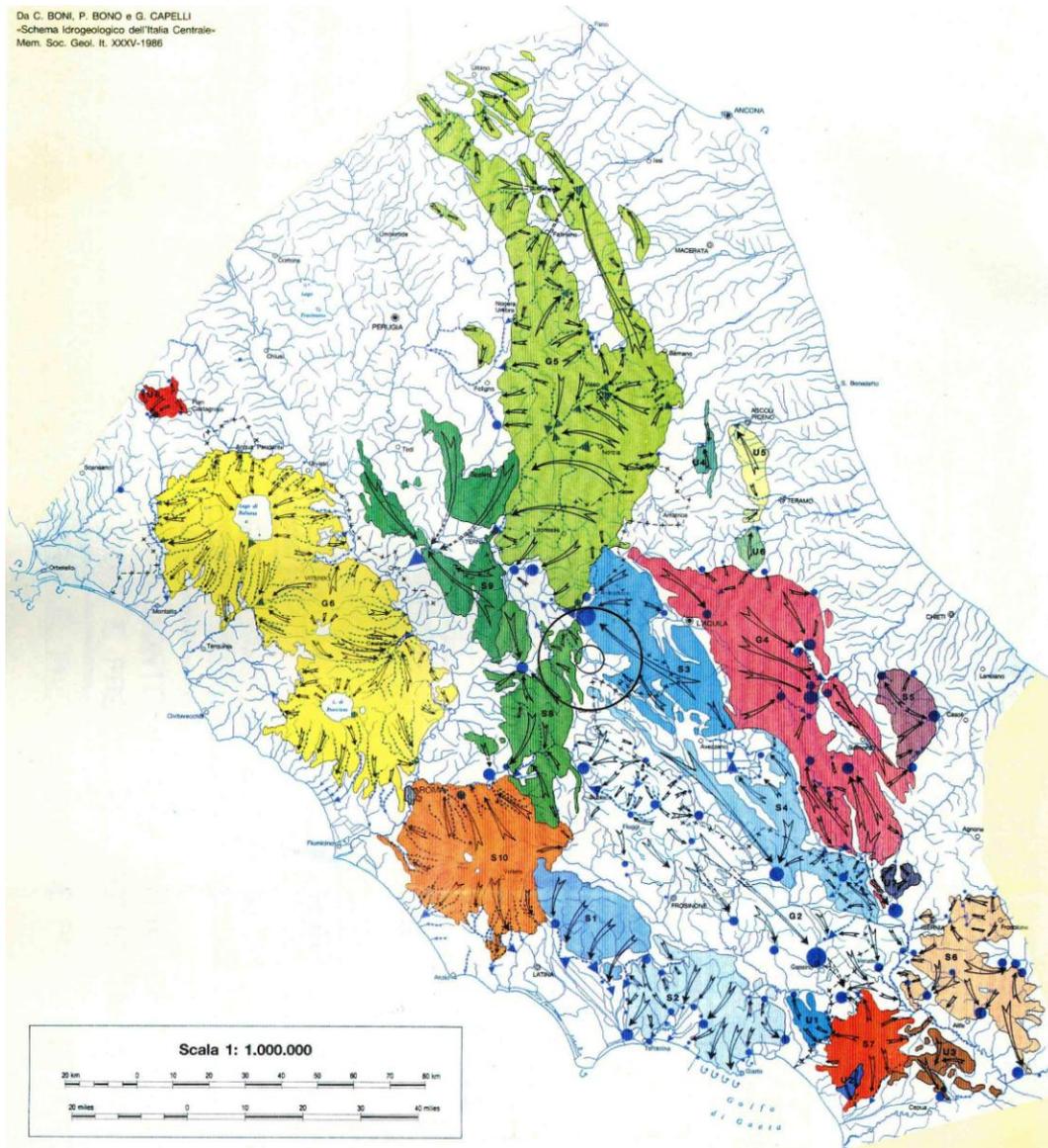


Figura 1.20 - Schema Idrogeologico dell'Italia centrale con l'area oggetto di studio cerchiata. (Tavola n°1, carta tematica n°14, Eurock)

1.7 Il Comune di Varco Sabino

Grazie alla consultazione del sito web del comune di Varco Sabino, è possibile ricavare tutti i dettagli di questo piccolo comune situato a 31 km dalla città di Rieti (Figura 1.21).

Varco Sabino conta 235 abitanti e ha una superficie di 24,6 km² a 742 m s.l.m.



Figura 1.21 - Varco Sabino (RI). (Tratta da Maps.google.it)

Il Comune di Varco Sabino, passa dalla Provincia di Perugia (Umbria), alla Provincia di Roma (Lazio) nel 1923, e nel 1927, a seguito del riordino delle Circoscrizioni Provinciali stabilito dal regio decreto N°1 del 2 gennaio 1927, per volontà del governo fascista (anno in cui venne istituita la provincia di Rieti), Varco Sabino passa alla Provincia di Rieti.

La classificazione sismica del territorio di Varco risulta essere la zona 2B (Figura 1.2).

Al seguito dei continui eventi franosi che hanno indotto l'Amministrazione Provinciale di Rieti a consolidare alcune aree del comune, per valutare le condizioni dell'area sono stati eseguiti degli studi geologici della zona da parte di alcune società partecipanti all'appalto concorso indetto della provincia; sono state svolte anche delle analisi sulla fatturazione e sull'assetto geomorfologico e valutazioni delle caratteristiche idrologiche e idrogeologiche di tutta l'area.

Tutto ciò è stato conseguito per evidenziare le condizioni di equilibrio esistenti con la decisione di eseguire degli interventi a salvaguardia dell'incolumità delle persone in transito sulla Strada Provinciale.

Tali studi verranno analizzati nei prossimi paragrafi e in maniera dettagliata le caratteristiche geologiche e geomorfologiche del comune di Varco Sabino. Tutto quello che verrà preso in considerazione è stato ripreso dalle indagini svolte dalle società partecipanti all'appalto concorso, grazie agli elaborati svolti dalle stesse con la cartografia allegata.

1.8 Localizzazione geografica

Il territorio di Varco Sabino è chiuso dalla sponda destra del Lago del Salto e la catena del massiccio del Navegna; è proprio in questo comune in cui sorge la Diga del Salto e il tratto di strada della SP Diga del Salto – Bivio Rocca Vittiana oggetto di questo studio, che costeggia la sponda occidentale del Lago del Salto (Figura 1.22 e Figura 1.23).



Figura 1.22 - Localizzazione Geografica del comune di Varco Sabino (RI). In rosso i particolari della zona oggetto di studio. (Tratta da Maps.google.it)

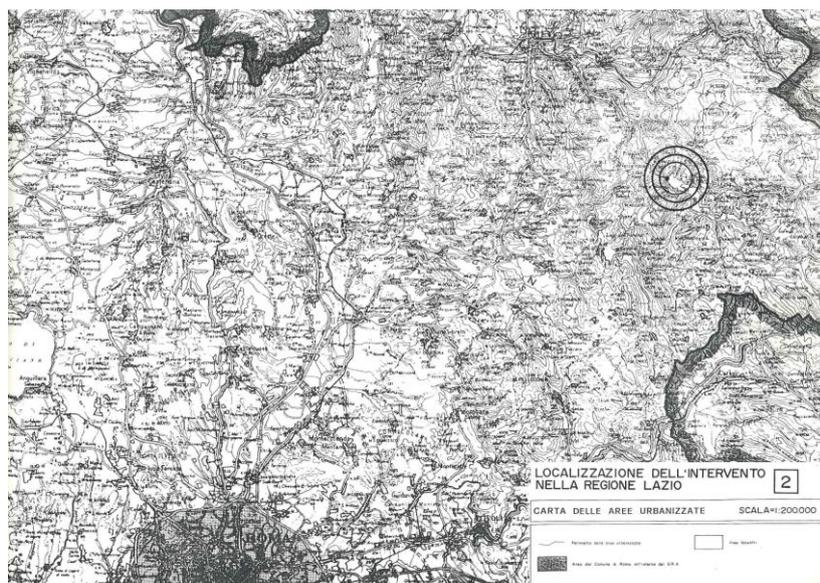


Figura 1.23 - Estratto della Tavola n°1, carta n°2 "localizzazione dell'intervento nella regione Lazio".
(Tavola n°1, Eurock)

Il comune ricopre una superficie di circa 14 ha ed è raggiungibile da Rieti anche mediante la Strada Statale Salto–Cicolana che, invece, percorre la costa nord-orientale del Lago. Il territorio è compreso tra i 454 e i 1.450 metri sul livello del mare e quindi ha una escursione altimetrica di 996 metri. Esso confina a nord con i comuni di Concerviano e Petrella Salto, ad est con i comuni di Marcatelli e Pescorocchiano, a sud con i comuni di Paganico e Ascrea, ad ovest con i comuni di Castel di Tora e Rocca Sinibalda; comuni tutti appartenenti alla provincia di Rieti (Figura 1.24).

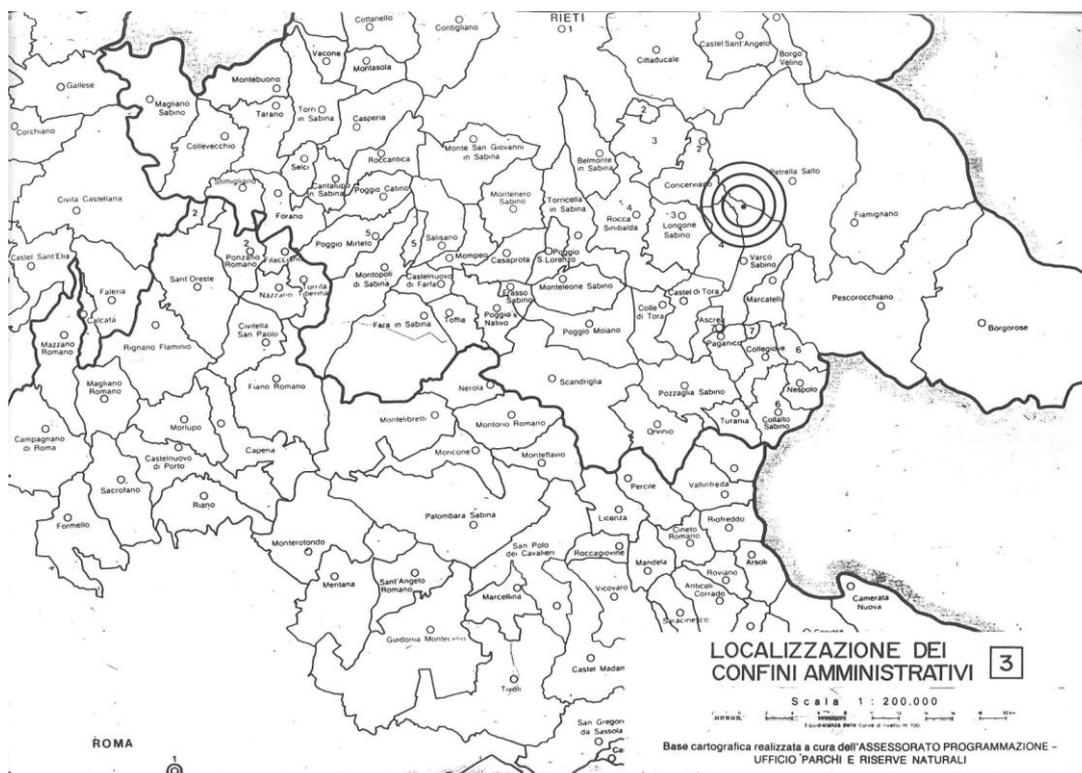


Figura 1.24 - Posizione del comune di Varco Sabino e della zona d'intervento nella provincia di Rieti. Estratto dalla Tavola n°1, carta n°3 "Localizzazione dei confini amministrativi". (Tavola n°1, Eurock)

Le frazioni del Comune sono: Poggio Vittiano, Rigatti e Rocca Vittiana. In particolare l'area interessata da frequenti fenomeni franosi e dagli interventi proposti dall'Amministrazione Provinciale di Rieti, si trova nella parte settentrionale del territorio comunale di Varco Sabino ed è ubicata all'interno della tavoletta topografica "Pescorocchiano", nel foglio 358 dell'Istituto Geografico Militare Italiano (IGM serie storica, foglio 145, in Figura 1.25).

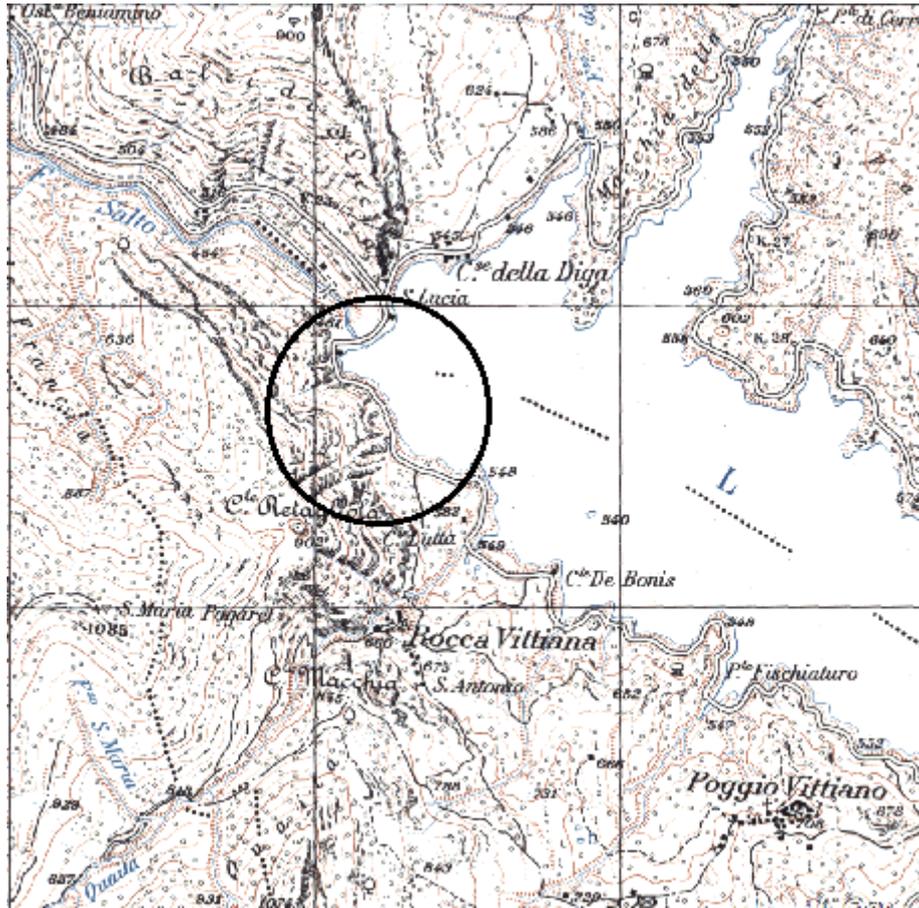


Figura 1.25 - Cartografia IGM storica, serie 25/V, Foglio 145, tavoletta "Petrella Salto", scala 1:25000 (riproduzione fuori scala). Area d'interesse cerchiata. (Tratta da www.pcn.minambiente.it)

Essa è situata nell'Appennino Centrale, il cui rilievo montuoso che sovrasta la S.P. Diga Salto-Rocca Vittiana fra le progressive chilometriche 0.000 m e 0.500 m, geograficamente, fa parte del gruppo del Monte Valli (1179 m s.l.m.). È delimitato ad Est dal Lago del Salto e a Nord dalla valle del fiume Salto. La zona interessata dall'indagine, che sovrasta direttamente la Strada Provinciale in esame, posta a una quota di circa 400 m s.l.m., è delimitata lateralmente dalla cima del Colle Retagliola (902 m s.l.m.) e dall'allineamento costituito dalla Diga del Salto e superiormente dall'incisione della Valle Franca, ad una quota di circa 700 m s.l.m. (Figura 1.26) Il dislivello altimetrico risulta essere di 350 m con una pendenza media di 40°/45°.

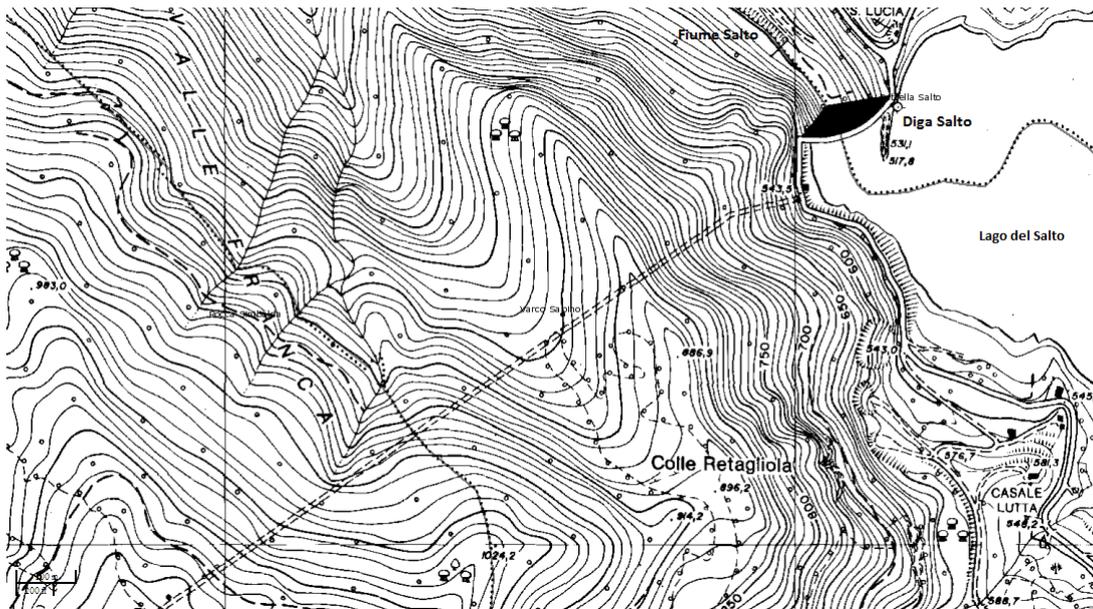


Figura 1.26 - CTR Lazio sezione n°358, scala 1:10000 (riproduzione fuori scala).

1.9 Cenni storici

Nel XV secolo gli abitanti del paese di Mirandella (situato vicino a quello che poi fu Varco Sabino), costruirono il paese di Varco a seguito di un violento terremoto che distrusse completamente il loro paese. L'attuale comune venne costituito nel 1853 (Figura 1.27)

La fondazione di Varco non raggiunse mai lo stato di castrum poiché non venne protetto da fortificazioni e inoltre risultò essere abbastanza tarda, anche se nella zona dovevano essere presenti già delle forme di popolamento sparso che gravitavano intorno alla chiesa rurale di S. Angelo de Varco, attestata per la prima volta in un registro di chiese dipendenti dal monastero di S. Salvatore Maggiore redatto nel 1252.

Agli inizi del 300, nell'elenco dei castelli e dei villaggi usurpati a San Salvatore con la forza dalla famiglia dei De Romania non compare Varco; successivamente nel 1353 Papa Innocenzo VI concesse ad Angelo di Francesco da Varco un canonicato in attesa di prebenda nella chiesa collegiata di San Pietro di Cassel, diocesi di Théroutane, nel dipartimento attuale del Pas-de-Calais, ad attestare la presenza di un insediamento ed il notevole rango sociale raggiunto.

All'alba del XVI secolo l'insediamento di Varco era composto da circa trenta case. L'etimologia del toponimo "Varco Sabino" fa riferimento alla collocazione geografica dell'insediamento nel senso di "valico".

Nel 1817 Varco divenne appodiato di Castelvecchio ed inserito nel governatorato di Roccasinibalda; questo fu possibile grazie al conseguimento della completa riorganizzazione dello stato della Chiesa. Come suddetto, nel 1853, Varco Sabino divenne comune e aveva 404 abitanti riuniti in 86 famiglie, che alloggiavano tutti in 73 case.

All'epoca l'attività principale era la lavorazione del legno.



Figura 1.27 - Foto storica del paese di Varco Sabino. (Tratta da www.comune.varcosabino.ri.it)

1.10 Inquadramento geomorfologico

Grazie agli studi condotti dall'impresa Eurock per l'area oggetto dell'intervento e, come riportato dalle relazioni ufficiali presentate all'Amministrazione Provinciale di Rieti, dal punto di vista geomorfologico siamo in presenza, nella parte inferiore della zona a monte della Strada Provinciale, di pareti subverticali con un'altezza media di circa 6-8 metri. La parete, in vicinanza della spalla sinistra della diga

(progressiva 0.000), in posizione verticale ha un'altezza di circa 40 m, mentre presso la progressiva 0.500 le pareti si presentano con un'altezza variabile dai 20 ai 30 metri. La zona sovrastante fino al limite dell'area studiata (850 m s.l.m.) è costituita da un pendio acclive, con pendenze variabili dai 30 ai 60 gradi. L'andamento naturale del pendio è interrotto dalla presenza di piccole scarpate e pareti verticali, che sono da ricollegarsi a scarpate di faglia. Il pendio è inoltre interessato da una serie di incisioni vallive, modellate dall'azione degli agenti esogeni le cui si sono generalmente impostate in concomitanza di disturbi tettonici che, con direzione ortogonale a quella del pendio, scendono rapidamente a valle. Come segue dalla relazione geologica dell'impresa Eurock, si sottolinea come risalendo a queste incisioni, sia possibile notare una serie di specchi di faglia e/o fascie di cataclasiti che presentano la stessa direzione delle incisioni. Nelle zone poste in vicinanza di Colle Lutte e Case della Diga, si può osservare una brusca variazione morfologica tra il rilievo sovrastante, dove affiorano i calcari, e la parte sottostante, dove gli affioramenti sono costituiti dalle litologie marnose e flyschoidi. Questa brusca evidenza morfologica è causata dal contatto tettonico qui presente e alla diversa competenza e alterabilità del materiale presente (Figura 1.28).



Figura 1.28 - Posizione geografica di Colle Lutte e Case della Diga.

La forma attuale del versante deriva dalla sovrapposizione di fenomeni connessi alla geodinamica endogena ed esogena; questa è stata raggiunta mediante un modellamento continuo causato da fenomeni quali gli eventi tettonici e sismici oltre che da quelli di tipo fisico, chimico e biologico derivanti dall'azione dell'aria, dell'acqua, del ghiaccio e dalle escursioni termiche che inducono alla frantumazione e alla disgregazione del materiale. Ciò che influisce tutt'ora in maniera più vistosa sulla modificazione della forma attuale del versante, sono i processi di modellamento rappresentati dal distacco di blocchi in roccia che si

possono ritenere (alla scala dei tempi umani) gli agenti prioritari del modellamento naturale del versante.

La vegetazione, presente solamente nella parte medio – alta del versante e nella parte bassa delle vallecole, è costituita in linea di massima da bosco ceduo e piante arbustive; tale vegetazione esercita un duplice effetto sulla stabilità del pendio:

- I. Limitante nei confronti della mobilitazione dei materiali presenti in superficie;
- II. Destabilizzante, in quanto gli apparati radicali esercitano un'azione di tipo a “martinetto” all'interno delle fratture presenti e nel calcare causando quindi l'apertura delle stesse, il ribaltamento e lo scoscendimento dei blocchi.

È importante considerare che essa è il fattore fondamentale che consente il formarsi di un suolo a partire dalla disgregazione e dall'alterazione dei materiali del substrato roccioso, per cui in sostanza la vegetazione ha favorito la pedogenesi, ed ha in parte limitato i processi erosivi dovuti agli agenti esogeni.

Come già accennato nel paragrafo dedicato alla costruzione della storica Diga del Salto; i calcari del massiccio sono stati oggetto di coltivazione durante la costruzione dello sbarramento. Il materiale ridotto a pezzatura adeguata attraverso la frantumazione è stato utilizzato come inerte nella confezione dei conglomerati cementizi. Un fronte di sbancamento del versante, lungo 40 metri circa e alto 50 metri circa, che è rivolto verso un terrazzamento posto ad un'altezza variabile dai 10 ai 15 metri dal piano stradale, è visibile in prossimità del bivio per Rocca Vittiana (Figura 1.29).

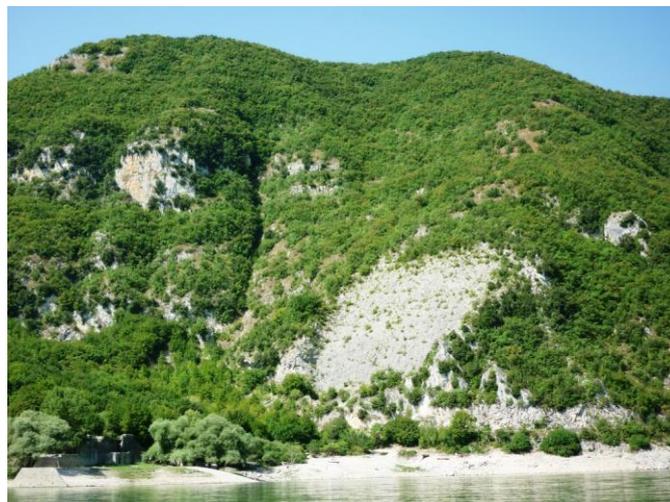


Figura 1.29 - Fronte di sbancamento per l'estrazione del calcare, sito in prossimità del bivio per Rocca Vittiana.

Nella parte inferiore di questo terrazzamento formatosi in seguito alla coltivazione del calcare del massiccio, sono presenti una serie di cavità (cunicoli orizzontali e camini ascendenti), oltre al già citato fronte di accesso alla miniera, poste a livello stradale dalle quali il materiale veniva prelevato (Figura 1.30).



Figura 1.30 - Cavità all'interno del pendio a monte della S.P. Diga Salto – Bivio Rocca Vittiana.

Un altro fronte di cava è presente nei calcari ubicati in vicinanza della spalla destra della diga, in cui sono presenti ancora altri cunicoli orizzontali e i camini ascendenti.

1.11 Inquadramento geologico

Il presente inquadramento fa riferimento alla Relazione Geologica allegata dall'impresa Eurock, dopo gli studi geologici svolti nella zona di intervento, parallelamente ai rilevamenti eseguiti dalle altre 3 imprese di cui si cita la "Di Vincenzo Dino & C. S.P.A." la cui relazione geologica ha permesso di avere una visione più dettagliata dell'area in esame.

La struttura di tali relazioni è in ordine cronologico in conformità con la Scala dei tempi geologici (Figura 1.31).

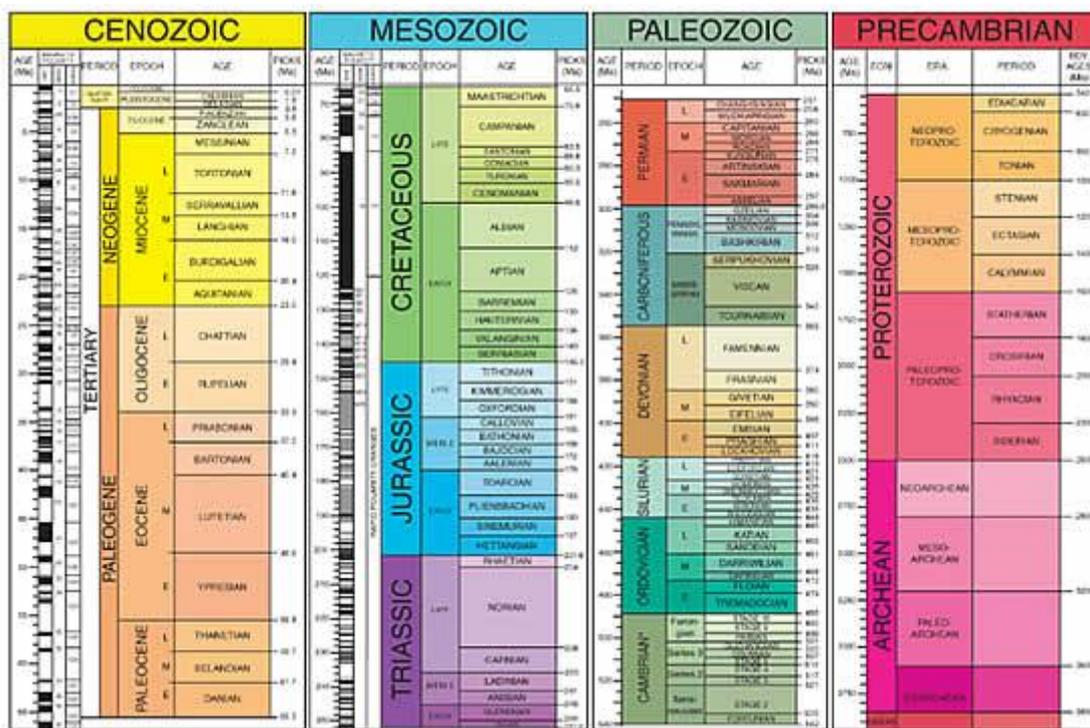


Figura 1.31 - Scala dei tempi geologici. (Tratta da www.museocarsico.org)

La litologia principale rilevata è costituita da calcare a tratti detritico di colore variabile tra bianco e grigio stratificato in grossi banchi; dal punto di vista tettonico l'area è ubicata in prossimità della grossa discontinuità tettonica denominata "Ancona-Anzio" o, con denominazione più attuale, "Olevano-Antrodoco". La presente discontinuità è possibile visionarla nello schema tettonico e strutturale dell'Appennino Centrale in Figura 1.32. In altre parole, l'area oggetto di studio rappresenta la zona d'incontro tra le unità emipelagiche sabine a Ovest, e le unità della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese ad Est. Questo raccordo è costituito da una fascia di deformazioni complesse e molto articolate, detta appunto linea Olevano-Antrodoco.

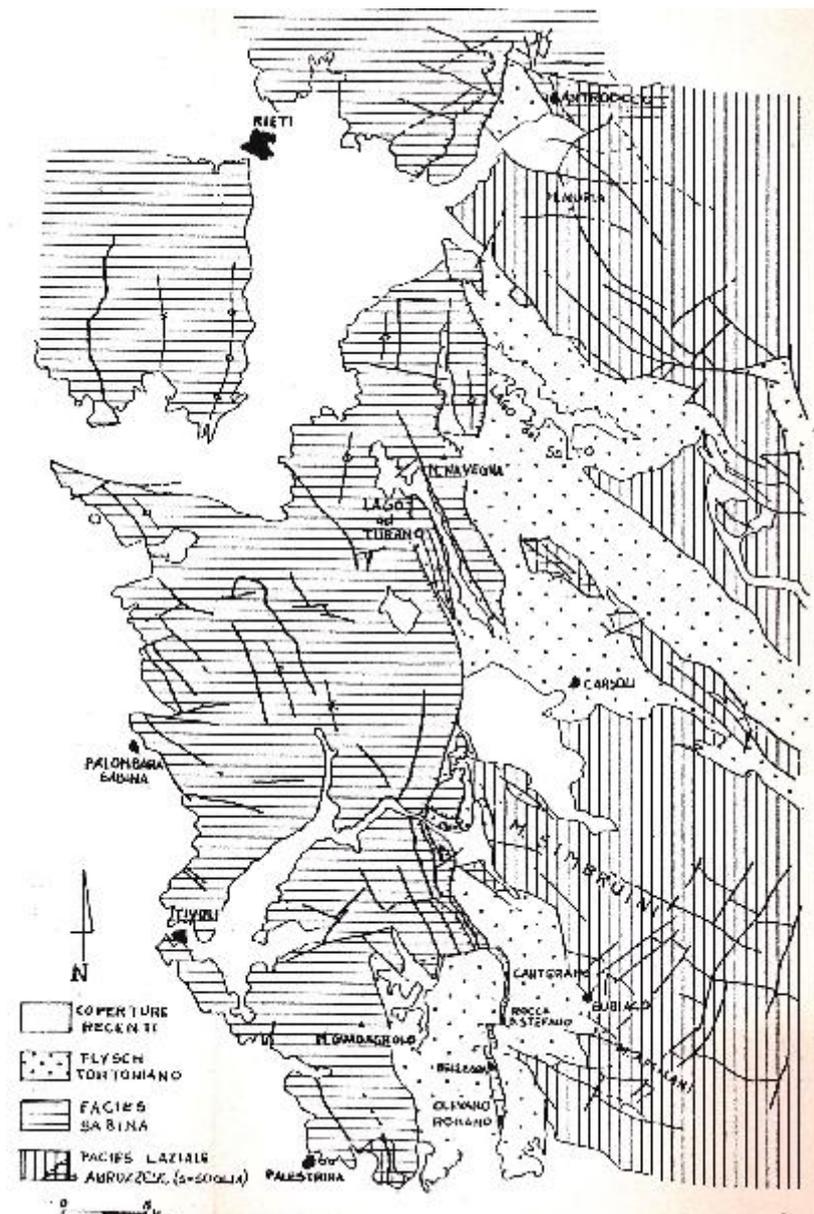


Figura 1.32 - Schema tettonico e strutturale dell'Appennino centrale. (Relazione geologica, Eurock)

Le litologie affioranti in questa zona, permettono di distinguerla con il nome di "Bacino sedimentario sabino", la cui delimitazione tra le due aree (quella a sedimentazione pelagica del bacino umbro-marchigiano-sabino e quello neritico della piattaforma laziale-abbruzzese) è avvenuta nel Lias medio (Giurassico inferiore) per mezzo di una faglia disgiuntiva a direzione attuale Nord-Sud.

In entrambe le aree, prima di questa differenziazione si deposita un calcare bianco, cristallino, contenente alghe calcaree, foraminiferi bentonici ed associazioni macrofaunistiche; i litotipi citati sono conosciuti con il nome di

“Formazione del Calcarea Massiccio” nella zona umbro-marchigiana-sabina e, con il nome di “Calcarea a Paleodasycladus” nella piattaforma laziale-abruzzese.

Successivamente al ribassamento di parte della originaria piattaforma, nella parte occidentale, si instaura una sedimentazione pelagica in cui, al di sopra del Calcarea Massiccio si depositano pelagiti calcareo silicee appartenenti alla formazione della Corniola, mentre nella zona di raccordo tra la piattaforma ed il bacino umbro (bacino sabino) si depositano pelagiti contenenti al loro interno numerose intercalazioni di livelli detritici, che in seguito caratterizzeranno l’intera successione sabina.

La deposizione della Corniola continua per tutto il Lias medio ed è rappresentata da calcari micritici bianco nocciola con selce in lenti e noduli. All’interno di questa formazione si rinvencono in modo discontinuo accumuli lenticolari di megabrecce e di flussotorbiditi.

Nella parte superiore del Lias, dopo la Corniola, la sedimentazione continua con la deposizione del Rosso Ammonitico ovvero con la sedimentazione caratterizzata da un elevato contenuto argilloso a cui seguiranno le deposizioni dei Calcari Granulari, degli Scisti ad Aptici e dei Calcari Diasprini nel Dogger (Giurassico medio).

Nell’intervallo Titonico-Barremiano, avviene la deposizione della Maiolica, costituita in massima parte da un calcarea micritico, biancastro, con selce in lenti, arnioni e noduli. Al di sopra della Maiolica si depositano i litotipi marnosi e calcareo-marnosi della formazione delle Marne a Fucoidi, a cui fa seguito nel Cenomaniano medio la deposizione della Scaglia Rossa.

Nell’intervallo Eocene superiore-Oligocene, si deposita la Scaglia Cinera, in cui si trova un maggior contenuto argilloso e nel bacino di sedimentazione continua con la deposizione di un deposito marnoso conosciuto con il nome di Flysch Sabino il cui spessore può raggiungere i 2000 m.

Nel dominio della piattaforma laziale-abruzzese, al di sopra del Flysch Sabino si depositano i calcari organogeni e sopra questa formazione, soprattutto nei settori più esterni, si ha la sedimentazione del Flysch argilloso-arenaceo. Segue contemporaneamente nello stesso settore, una potente deposizione calcarea dolomitica iniziata dal Lias medio fino al Miocene medio, la cui successione calcarea dolomitica di piattaforma è seguita dai depositi terrigeni (Marne a Orbulina) e silicoclastici, di età Tortoniana.

In Figura 1.33, è possibile visualizzare l’allegato della Carta Geologica, estratta dalla relazione geologica dell’impresa Eurock, mentre in Figura 1.34 si mostra la

Carta Geologica attuale del Foglio n°358 denominato "Pescorocchiano", in cui è presente l'area oggetto di questo studio.

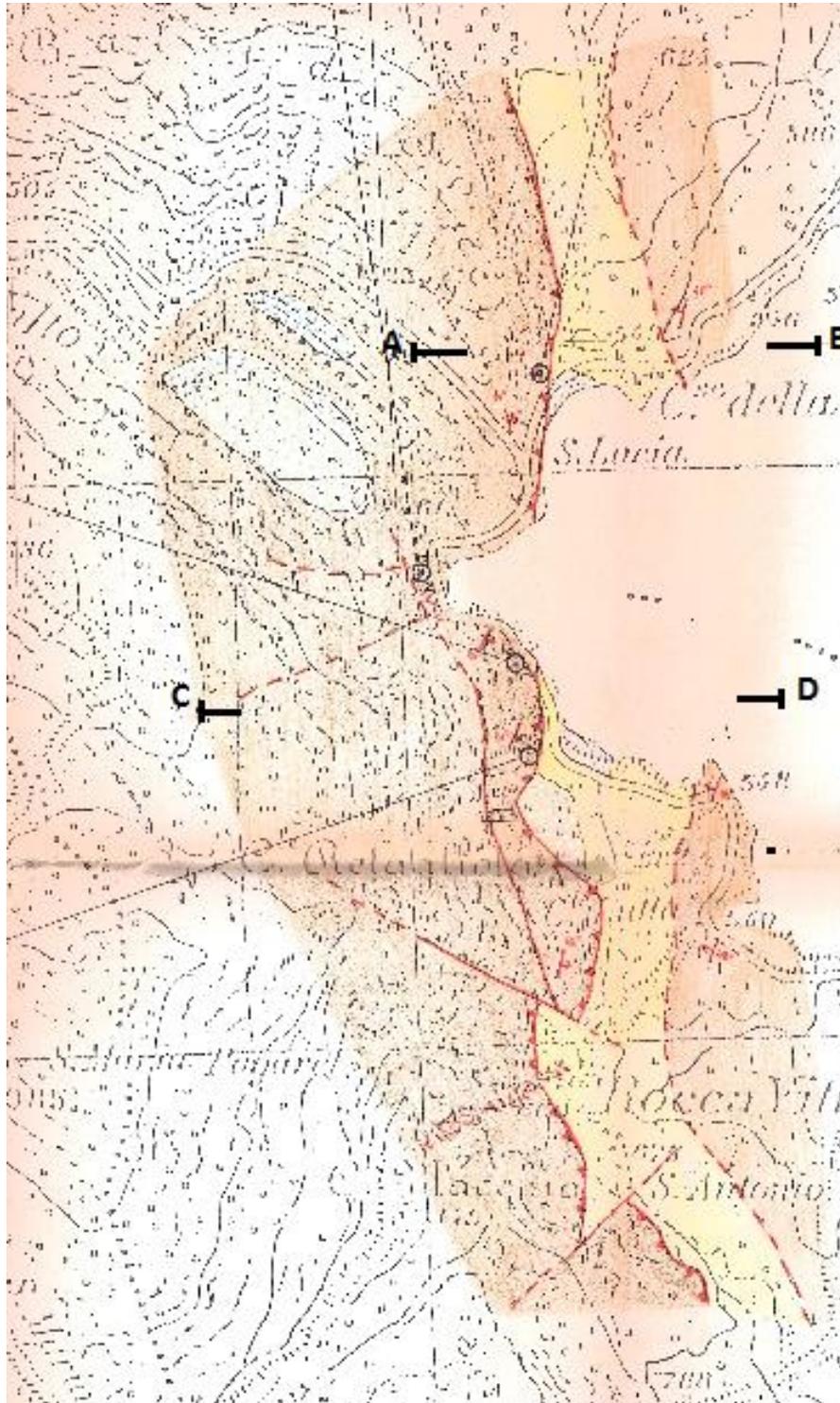


Figura 1.33 - Carta Geologica, scala 1:5000. (Relazione geologica, Eurock)

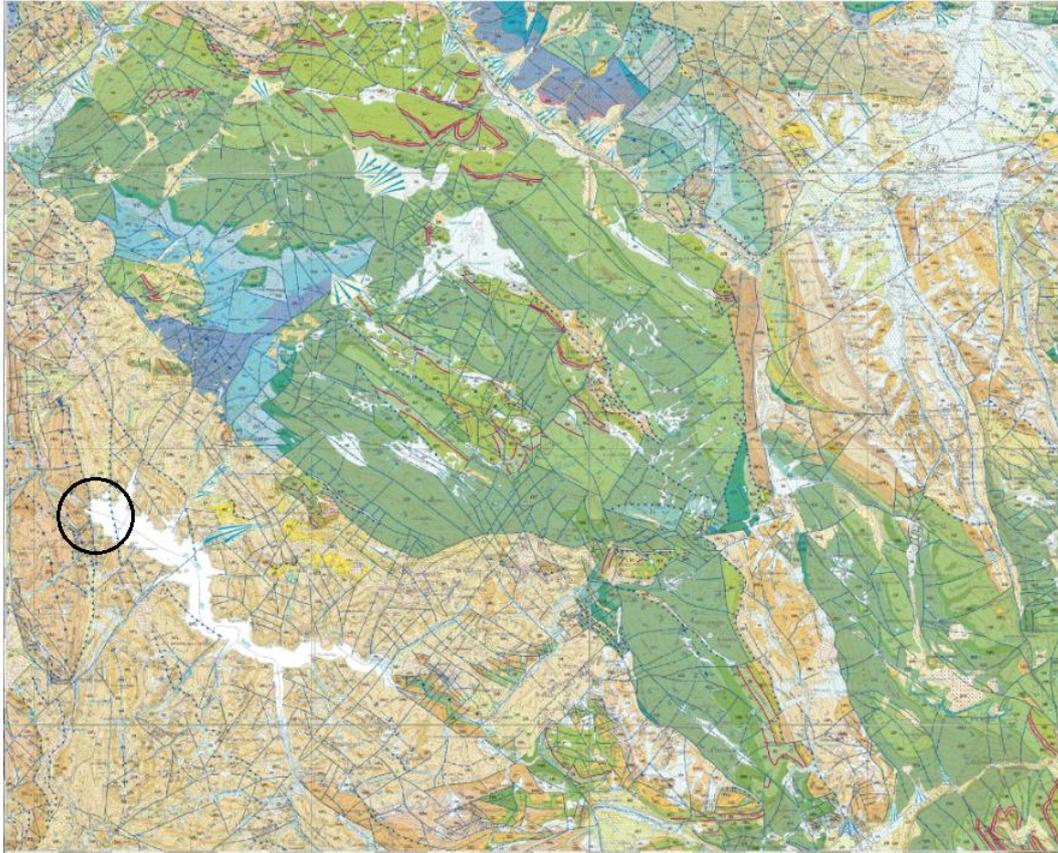


Figura 1.34 - Carta Geologica, Foglio n°358 "pescorocchiano", Scala 1:50000.

Per quanto riguarda l'evoluzione tettonica dell'area è possibile brevemente riassumere la cronologia degli eventi in questo modo:

- Nel Lias medio avviene una fase tettonica disgiuntiva (Ancona-Anzio);
- Durante il resto del Giurassico e parte del Cretaceo si assiste ad una periodo di stasi;
- Nel Miocene superiore (Tortoniano), l'area viene investita da una fase tettonica compressiva in cui l'area umbro-marchigiano-sabina inizia a sollevarsi e l'area laziale-abruzzese, con successivi collassi, inizia a smembrarsi in vari blocchi alcuni dei quali emergono. Al seguito di continue spinte tettoniche verso Est, le unità sabine si accavallano sulle strutture della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese, lungo la linea Olevano-Antrodoco.

Nella linea suddetta, riconosciuta anche come linea di separazione delle facies, rappresenta il fronte di accavallamento, e il limite più orientale di quella fascia di deformazioni orientate in senso meridiano, che si rinviene all'interno dell'area umbro-marchigiano-sabina, costituite da: pieghe; pieghe rovesciate; pieghe faglie ed accavallamenti.

1.11.1 Stratigrafia

Il lavoro di campagna svolto dalle imprese ha permesso di riportare dei dati utili alla descrizione della stratigrafia dell'area oggetto di studio. Come riportato all'interno della relazione geologica dell'impresa Eurock, il metodo utilizzato per il conseguimento dei dati e delle osservazioni ottenute, si è basato su un criterio di rilevamento di tipo litostratigrafico.

Nella Figura 1.35 sottostante, è possibile visionare il modello litostratigrafico – strutturale della Regione Lazio allegato nella Tavola n°1 di progetto Eurock.

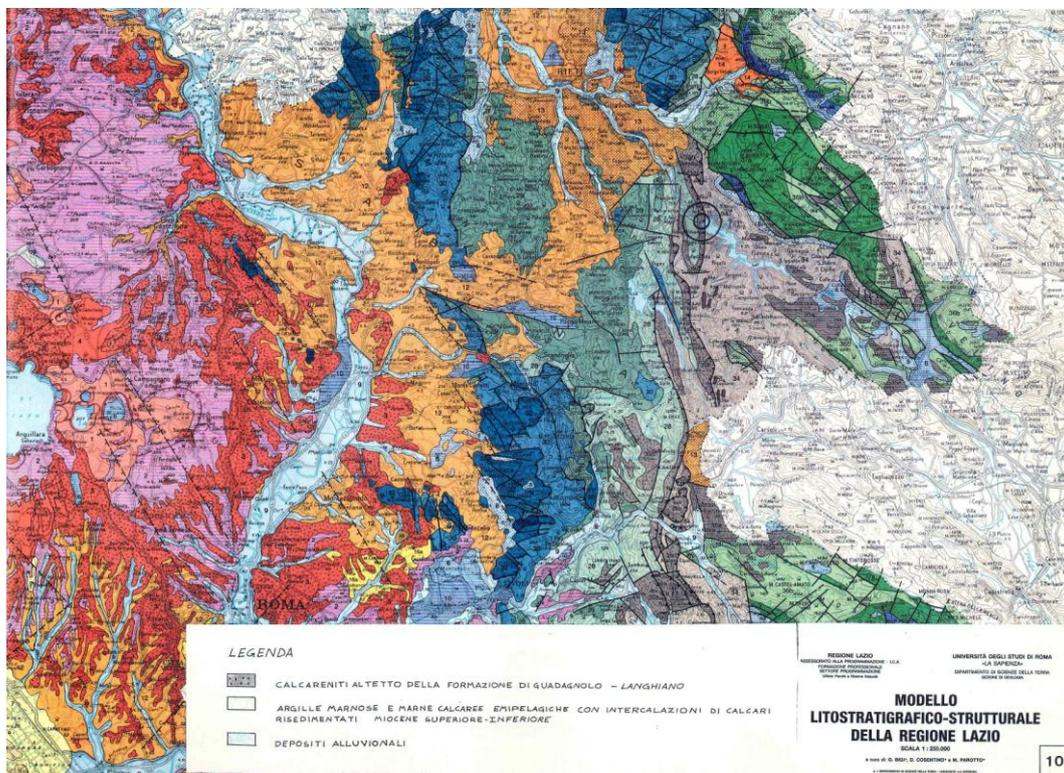


Figura 1.35 - Modello Litostratigrafico – strutturale della Regione Lazio estratto dalla Tavola n°1 Eurock.
(Tavola n°1, carta n°10, Eurock)

Grazie agli studi svolti nell'area, è stato possibile rinvenire litologie appartenenti a due successione stratigrafiche differenti, quali i Calcari a Briozoi e Litotamni (appartenenti alla successione sabina), e le Marne a Orbuline ed il Flysch marnoso arenaceo (appartenenti alla serie laziale-abruzzese). In alcuni luoghi, al di sopra di questi, è stata rinvenuta una copertura detritica identificata come "brecce di pendio" che si tratta di depositi localizzati, costituiti da elementi

generalmente calcarei, originatosi dallo smantellamento dei calcari per la realizzazione della diga.

Per quanto riguarda la formazione di Calcari a Briozoi e Litotamni; essa si presenta sotto forma di calcari e calcareniti bioclastiche ben cementate, che presentano la caratteristica fatturazione obliqua a losanga, di color grigio o grigio scuro. Lo spessore di questi strati è molto variabile e di difficile valutazione, per via di una stratificazione mascherata dall'intensa fatturazione a losanga, che assume generalmente valori compresi tra i 50 – 100 cm. I Calcari a Briozoi e Litotamni, affiorano lungo tutto il tratto di strada provinciale dalla progressiva 0.000 sino alla progressiva 0.500 sino alla sommità del versante interessato dai distacchi.

L'unità delle Marne a Orbulina è costituita da calcari marnosi scuri stratificati, da marne grigio scuro e da argille grigie o grigioverdastre, alternanti fra loro a formare nel suo insieme una successione marnosa-argillosa. Lo spessore degli strati calcareo-marnosi e delle marne varia da alcuni centimetri fino a massimo 30 cm. Questa formazione, all'interno dell'area investigata, affiora in vicinanza della spalla destra della diga sino alla località case della diga, nell'area antistante la cava presso la progressiva 0.500.

La formazione del Flysch marnoso arenaceo si presenta con alternanze di arenarie micacee grigiastre, siltiti ed argilliti siltose. Gli strati presentano uno spessore che varia dai 10 ai 20 cm, i cui spessori di componente arenacea (che si presentano in bancate) possono superare il metro di altezza. La seguente formazione affiora ai margini orientali dell'area rilevata, lungo la sponda destra del lago e inizia dalla località Case della diga, e lungo la sponda sinistra da Colle Lutta fino a verso Colle De Bonis.

In modo più generale, in Figura 1.36, è possibile consultare un particolare allegato alla Carta Geologica "Pescorocchiano" (Figura 1.34) in cui si mostra la suddivisione delle aree a successione stratigrafica omogenea.



Figura 1.36 - Suddivisione delle aree a successione stratigrafica omogenea. Particolare della Carta Geologica "pescorocchiano".

Nelle Figure 1.37 e 1.38 sottostanti, si riportano le sezioni geologiche A – B e C – D rilevate nelle zone opportunamente contrassegnate nella cartografia allegata nella relazione (Rif. Carta Geologica Eurock, scala 1:5000, Figura 1.33).

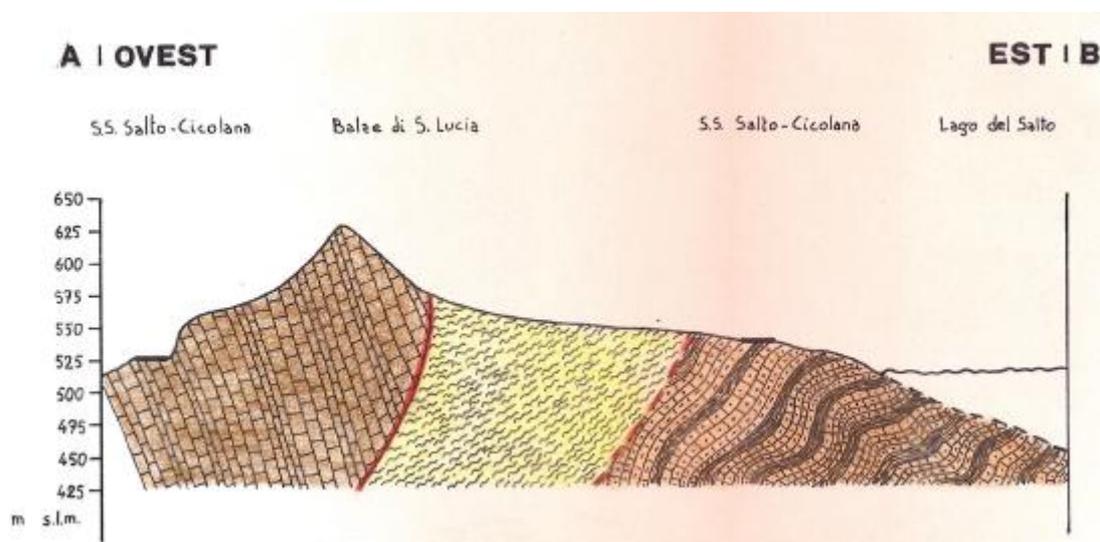


Figura 1.37 - Sezione Geologica A – B. (Relazione geologica, Eurock)

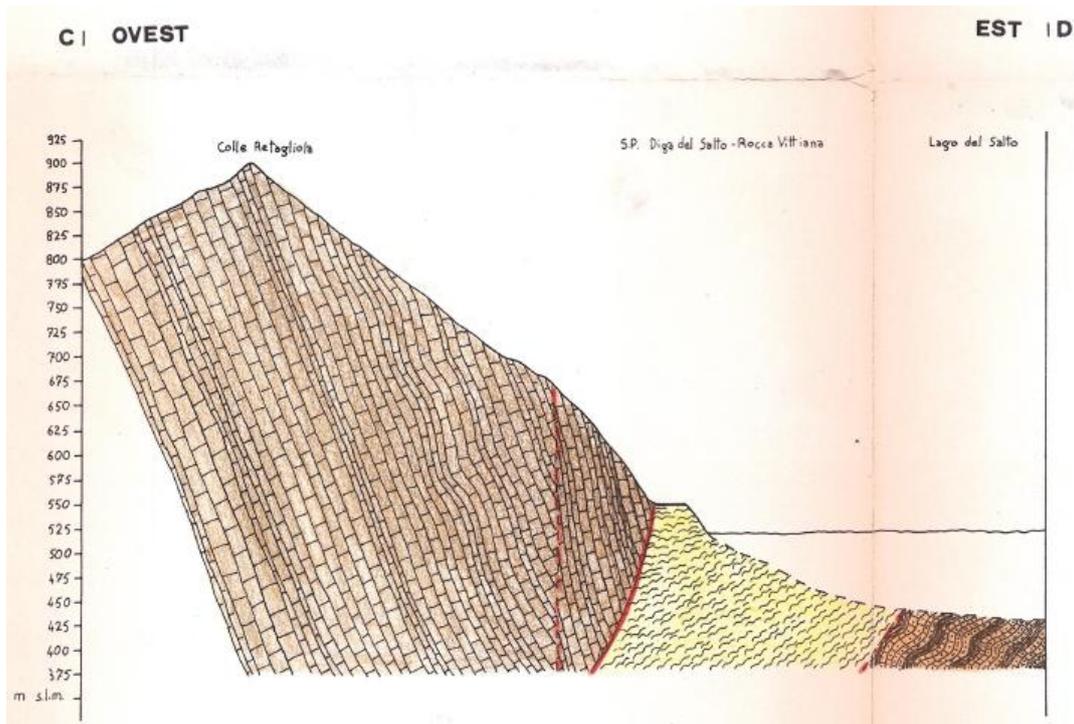


Figura 1.38 - Sezione Geologica C – D. (Relazione Geologica, Eurock)

1.11.2 Tettonica

Dal punto di vista tettonico-strutturale, l'area in oggetto è ubicata in un settore considerato uno dei più complessi del nostro Appennino perché qui, come precedentemente accennato, si verifica il contatto tettonico tra le strutture e le litologie umbro-marchigiano-sabine e quelle del dominio laziale-abruzzese. L'elemento tettonico di maggiore rilevanza che determina anche l'assetto morfologico è il sovrascorrimento di Colle Retagliola; tutta la dorsale carbonatica non è altro che una grande piega-faglia ad asse circa Nord-Sud e vergenza Est. Essa risulta accavallata e parzialmente sovrascorsa verso oriente sulla formazione delle Marne a Orbuline da una fascia composta di deformazioni e piani di sovrascorrimento, la cui giacitura non è facilmente definibile. Il fronte di accavallamento affiora ai piedi delle balze rocciose, a circa 50 metri a monte della strada provinciale poste sulla destra della diga, dove si può osservare il contatto tra i calcari e le marne. Tale accavallamento affiora anche lungo la strada provinciale per Rocca Vittiana, essendo caratterizzato da una brusca variazione morfologica, sulle pareti verticali, ben visibile nel tratto a valle della

strada, in vicinanza del bordo del lago, sia a monte della stessa in concomitanza della scarpata.

Nei pressi del bivio per Rocca Vittiana è presente il contatto calcari-marne il quale si ritrova nuovamente in località S. Antonio in modo più visibile, il cui fronte stesso è dislocato da una faglia il cui andamento è complicato dalla presenza di numerose faglie minori, legate a disomogeneità nel movimento che hanno determinato piani a direzione N 130-150 E con movimento prevalentemente trascorrente. Altro motivo per cui l'andamento della faglia è difficile da determinare è la presenza di altre piccole faglie distensive a direzione Nord-Sud subverticali, che hanno disarticolato il fronte.

Altra faglia di relativa importanza è quella esistente tra le Marne ad Orbuline e il Flysch marnoso-arenaceo. Qui siamo in presenza di una faglia inversa a direzione generalmente Nord-Sud e vergenza Est, il cui contatto è difficilmente visibile poiché le marne e le argille presentano un intenso clivaggio.

In Figura 1.39, è riportato in maniera del tutto generale, lo schema strutturale dell'area oggetto di studio.

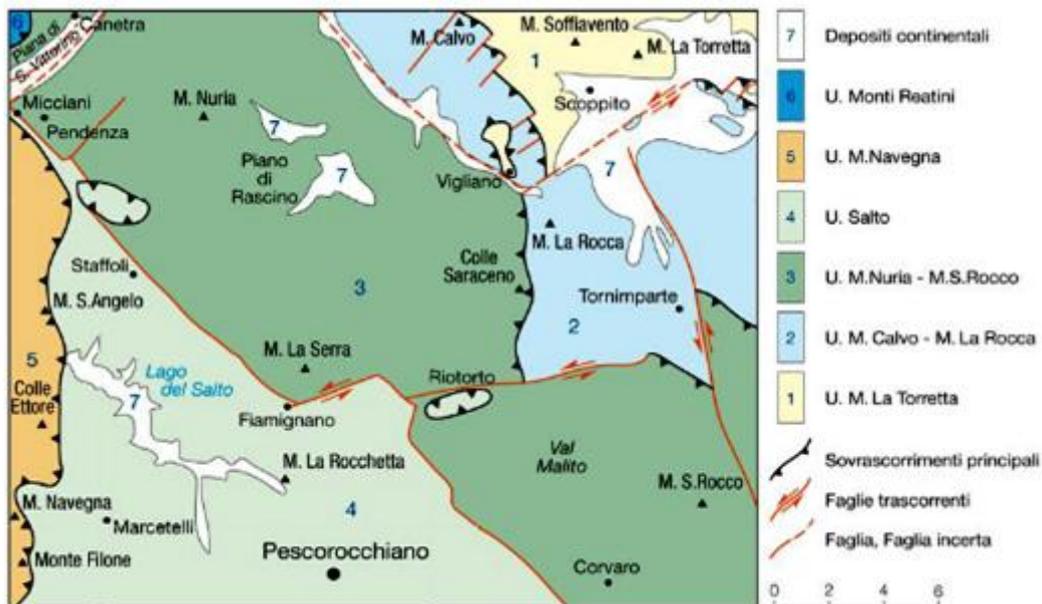


Figura 1.39 - Schema delle unità strutturali. Particolare della Carta Geologica "Pescorocchiano"

Da quanto rinvenuto nelle relazioni ufficiali, l'area è stata interessata da un intenso stress tettonico a più fasi che si sono succedute nel tempo; localmente si possono individuare aree il cui stress ha determinato un'intensa cataclasi della roccia che ha quindi perso l'aspetto originario ed appare simile ad una breccia.

L'impresa Eurock ha svolto un'analisi strutturale in quattro stazioni rappresentative attraverso le quali è stato possibile individuare le prevalenti fasi tettoniche che hanno agito nell'area. Dagli estratti della relazione geologica è possibile visionare la proiezione stereografica mediante reticolo di Schmidt, dei poli dei piani di tutti gli elementi strutturali misurati nelle quattro stazioni (Figura 1.40), le quali verranno riprese con maggior dettaglio nel capitolo 3.

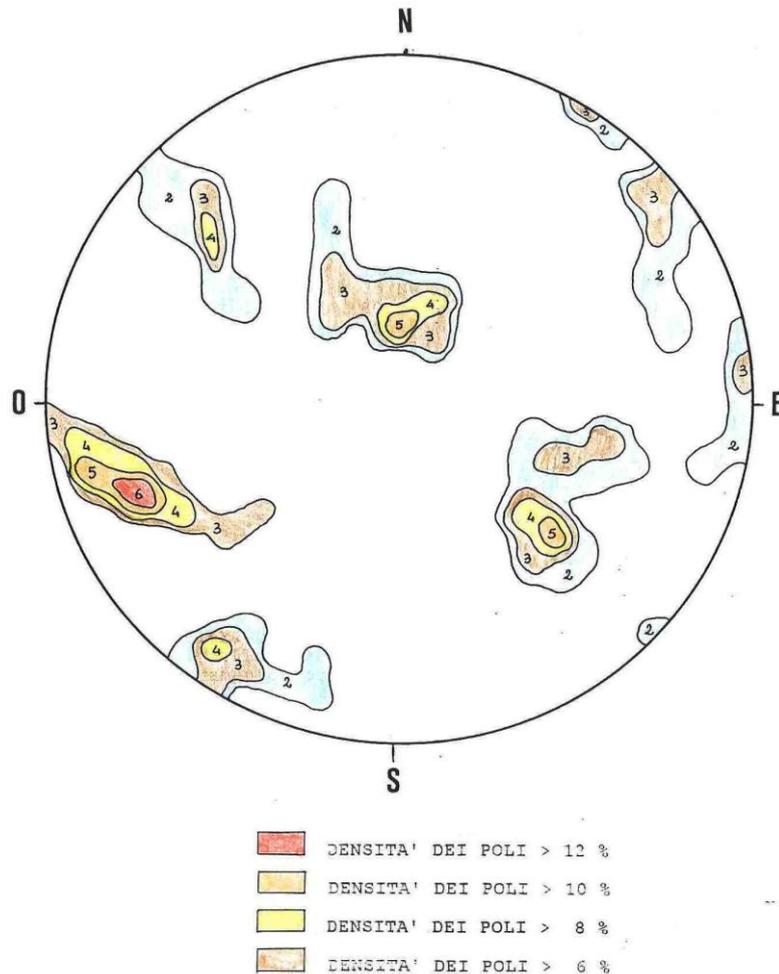


Figura 1.40 - Proiezione stereografica dei poli dei piani di tutti gli elementi strutturali misurati dalle 4 stazioni. (Relazione Geologica, Eurock)

1.12 Idrografia e Idrogeologia

Dagli studi della carta idrografica e idrogeologica, estratte dagli allegati della Tavola n°1 dell'impresa Eurock; si deduce che l'idrografia di quest'area è caratterizzata principalmente dalla presenza del Lago artificiale del Salto, formatosi in seguito alla costruzione di una diga ad arco realizzata nella valle del fiume omonimo che ha permesso di impedire il naturale deflusso delle acque del fiume (Figura 1.41).



Figura 1.41 - Carta idrografica dell'area oggetto di studio, scala 1:25000 (riproduzione non in scala).
(Tavola n°1, carta n°3, Eurock)

Il Fiume Salto nasce dal Monte Bove ed è alimentato da una serie di sorgenti di tipo carsico e da sorgenti di tipo lineare.

La piovosità media annua di quest'area è di circa 1000-1100 mm/anno ed è stata ricavata dai dati delle stazioni pluviometriche presenti nelle zone adiacenti,

visionabili in Tabella 1.1. Grazie all'analisi di questi dati e alle osservazioni delle isoiete ricavate dalla carta idrogeologica (Figura 1.42), è stato possibile dedurre che la piovosità media di quest'area calcolata per un periodo di anni molto lungo è generalmente costante.

Tabella 1.1 - Dati delle stazioni pluviometriche presenti nelle zone adiacenti all'area oggetto di studio.

Stazione	m s.l.m.	Anni di oss.	mm/anno	Giorni piovosi
Fiamignano	988	50	1079	76
Concerviano	540	45	1078	75
Posticcioia	579	21	1116	--
Balze S.Lucia	540	5	1319	116

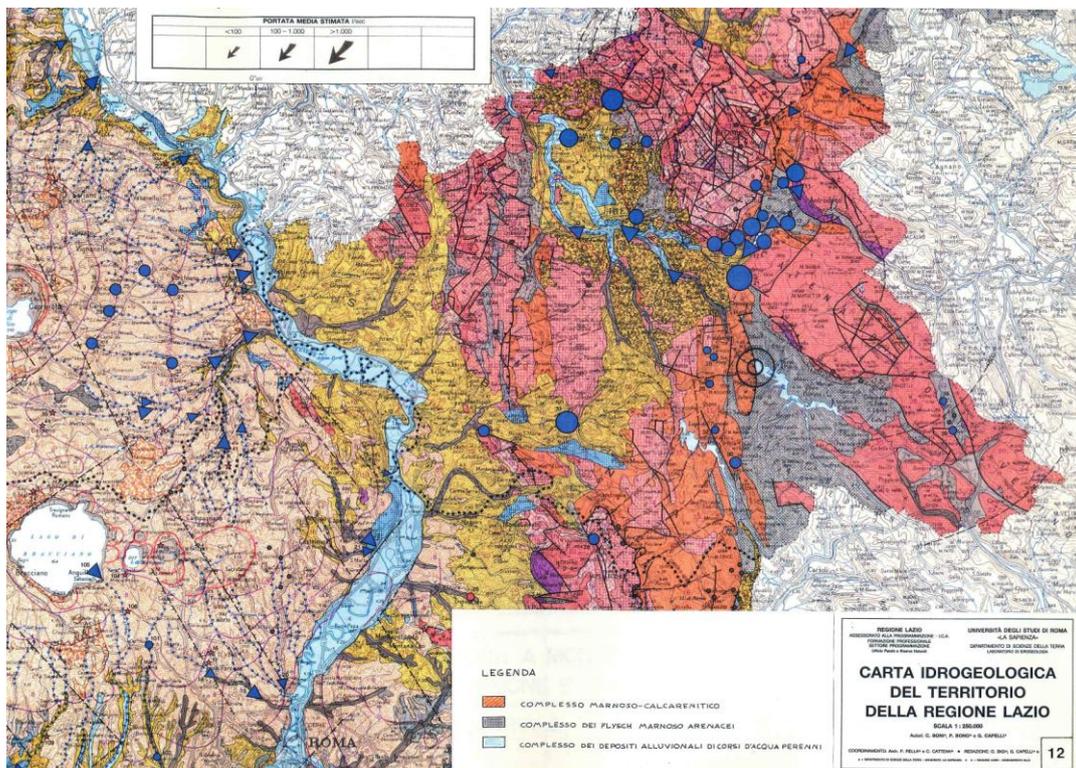


Figura 1.42 - Carta Idrogeologica del territorio della regione Lazio con l'area oggetto di studio cerchiata. (Tavola n°1, carta tematica n°12, Eurock)

L'idrogeologia della zona è influenzata dalla presenza di due litologie che presentano una permeabilità alquanto differente tra fra loro: I calcari (Calcari a Briozoi e Litotamni) della successione sabina e le litologie silico-marnose (Marne a Orbuline, Flysch marnoso-arenaceo) della successione laziale-abruzzese.

I primi, per la loro natura litologica e per il contesto strutturale nel quale si trovano, sono caratterizzati da una fatturazione molto elevata e sono interessati da un diffuso carsismo, la cui permeabilità secondaria (per fatturazione), come riportato nell'elaborato geologico, risulta essere di circa:

$$k = 10^{-2}/10^{-7} \text{ cm/s}$$

Mentre per quanto riguarda le marne ed il flysch, esse possono essere considerate come rocce a bassa permeabilità d'insieme:

$$k = 10^{-5}/10^{-7} \text{ cm/s}$$

Oltre alla diversa permeabilità delle due litologie citate, anche la quantità delle acque che si possono infiltrare all'interno delle due litologie hanno valori completamente diversi: i calcari, presentano un'infiltrazione efficace di circa il 50% rispetto alla piovosità media annua rilevata, mentre le marne e il flysch, rispetto alla stessa piovosità, presentano un'infiltrazione efficace minore del 10%. Da queste considerazioni è possibile dedurre che le acque che si infiltrano dentro i calcari possono dare origine ad un acquifero. All'interno di essi, le zone a contatto con il flysch e le marne di più bassa permeabilità, si considerano come "aquiclude".

Lungo il contatto tettonico (accavallamento) tra i Calcari a Briozoi e Litotamni e le Marne a Orbuline o il Flysch marnoso-arenaceo, sono presenti delle sorgenti che drenano la parte maggiore delle acque infiltratesi.

Capitolo 2

Fenomeni franosi nel territorio; i numeri

2.1 Inquadramento dei fenomeni franosi nel Lazio

A monte di quanto si vuole descrivere in questo capitolo, si è voluto far riferimento al già citato progetto IFFI (inventario Fenomeni Franosi in Italia), finanziato con i Fondi per la Difesa del Suolo della Legge 183/89 e attuato tramite la stipula di Convenzioni tra l'ex servizio Geologico Nazionale APAT (ora in ISPRA) e le Regioni e Provincia autonome per la concessione dei dati relativi ai rispettivi ambiti territoriali. Grazie alla consultazione del sito web dell'ISPRA e la lettura delle pubblicazioni annesse sulle analisi del dissesto da frana nella regione Lazio (Bicocchi C., 2005) è stato possibile risalire ai motivi che hanno spinto alla realizzazione di questo progetto, avviato nel 1998 e proprio a seguito dell'evento disastroso che ha colpito i comuni di Sarno nel maggio del 5 maggio 1998.

Il progetto IFFI ha costituito il primo inventario omogeneo e aggiornato dei fenomeni franosi sull'intero territorio nazionale.

Tale progetto ha lo scopo di fornire un quadro completo ed aggiornato sulla distribuzione dei fenomeni franosi sull'intero territorio nazionale secondo procedure standardizzate, nonché quello di offrire uno strumento conoscitivo di base per la valutazione della pericolosità e del rischio da frana, per la programmazione degli interventi di difesa del suolo. Esso ha permesso di

realizzare un Sistema Informativo Territoriale Nazionale contenente tutti i dati sulle frane.

Grazie a questo progetto, ad oggi sono state censite in Italia oltre 486000 frane sull'intero territorio nazionale.

Il prodotto che ha maggiore rilevanza ad oggi è senza dubbio il "Rapporto sulle frane in Italia" (Rapporti APAT 78/2007); da cui è possibile estrarre quanto rilevato nella regione Lazio.

Il lavoro è stato svolto nella regione da funzionari del Servizio Geologico Regionale, in collaborazione con geologi professionisti incaricati del censimento e rilevamento di campagna, esperti CAD ed esperti informatici del gruppo afferente al D.S.G. dell'Università di Roma TRE incaricati per il supporto tecnico-scientifico al progetto e per la pianificazione della banca dati IFFI. Tutto ciò è nato sotto attività preliminari di corsi di formazioni tenuti presso il D.S.G. per il gruppo di lavoro, finalizzati all'utilizzo del Software ArcGis 9.1.

Dal punto di vista cartografico, un valido punto di partenza è stato il censimento dei fenomeni franosi commissionato dalla Regione Lazio all'Università di Roma "La Sapienza".

È stata importante l'estrazione preliminare dei dati raccolti dal Sistema Informativo Regionale Difesa del Suolo (SIRDIS), per evidenziare i disallineamenti tra il modello dei dati previsto dal progetto stesso (IFFI) e quello SIRDIS, in modo da omogeneizzare i dati provenienti da tutte le diverse fonti (SIRDIS, Autorità di Bacino Regionali, Amministrazioni Provinciali e comunali). Così facendo è stata realizzata una prima interfaccia "IFFI on line" che ha permesso di predisporre il primo ed unico database per le diverse provenienze dei dati a seguito di un prototipo di lavoro (lanciato nella provincia di Viterbo) per verificare e valutare le difficoltà operative.

Per rendere omogenei tutti i dati che successivamente verranno memorizzati, sono state oggetto di verifiche dirette in campagna buona parte delle frane per il controllo delle informazioni raccolte. Per tale motivo sono state perimetrate ex-novo alcune frane ed è stato rivisto il posizionamento di alcuni PIFF (Punto Identificativo del Fenomeno Franoso, posto, per convenzione, in corrispondenza della quota più elevata del coronamento della frana).

Per l'eterogeneità dei dati di diversa provenienza sono state anche effettuate analisi di tipo geologico – cartografico, controlli bibliografici e le sopraccitate verifiche in situ.

In altre parole il Progetto IFFI ha cercato e raggiunto l'obiettivo di omogeneizzare ed aggiornare le conoscenze relative alla franosità della regione Lazio, partendo da una serie di dati fra loro non coerenti da più punti di vista.

Il progetto IFFI è diventato un volume suddiviso in una prima parte di carattere generale e in una seconda parte che raccoglie i rapporti regionali. In particolare è composto da:

- 1) Un allegato Tecnico per l'attuazione del progetto IFFI;
- 2) La scheda Frane IFFI (raccolge i parametri che consentono di descrivere qualitativamente e quantitativamente i fenomeni franosi suddivisa in 3 livelli di approfondimento progressivo);
- 3) Tre Allegati:
 - I. Allegato 1 "Guida alla compilazione della scheda frane IFFI";
 - II. Allegato 2 "Il database Cartografico";
 - III. Allegato 3 "Il database alfanumerico".

Riassunto brevemente lo svolgimento dei lavori che ha portato alla compilazione del database IFFI e della sua relativa struttura; è possibile risalire, grazie all'estratto del capitolo 17 del "Rapporto sulle frane in Italia", al numero di frane per provincia e l'area totale in frana, dati che si accordano con il quadro geologico e morfologico della Regione che ha una superficie complessiva interessata da fenomeni di instabilità di 237,12 km², pari al 1,38% dell'estensione complessiva del territorio regionale. È importante evidenziare che tale valore è relativo solo ai fenomeni franosi di estensione superiore ad 1 ha come convenzione adottata dal Progetto IFFI, successivamente rivista nel 2004 introducendo il valore minimo dell'area cartografabile in funzione della scala della base topografica utilizzata per il rilevamento (Tabella 2.1).

Tabella 2.1 - Area minima cartografabile in funzione della scala di rilevamento; convenzione del Progetto IFFI introdotta dal 2004.

SCALA DI RILEVAMENTO	AREA MINIMA CARTOGRAFABILE CON GEOMETRIA POLIGONALE
1:5000	400 m ²
1:10000	1600 m ²
1:25000	10000 m ²

In Tabella 2.2 sono riportati i dati relativi al numero di frane relative alle cinque provincie Laziali, in cui sono state introdotte le “Aree soggette a..” per poter classificare quei fenomeni franosi di limitata estensione, ricorrenti, che interessano diffusamente ampi settori di versanti. Inoltre, la frana può essere rappresentata da un poligono, da una linea o da entrambe per cui si giustifica la loro natura (per geometrie di frane più complesse, le indicazioni di maggior dettaglio per una corretta rappresentazione cartografica sono descritte nell’Allegato Tecnico del Progetto IFFI).

Tabella 2.2 - Numero di frane per ciascun livello informativo del database cartografico, i cui valori fanno riferimento solo ai fenomeni franosi di estensione superiore ad 1 ha. (Tratta dal Rapporto sulle frane in Italia, ISPRA 2007)

PROVINCIA	PIFF	FRANE POLIGONALI	AREE SOGGETTE A..	DGPV	FRANE LINEARI	AREA TOTALE IN FRANA (km²)
Viterbo	593	583	0	0	0	52,76
Rieti	1197	761	1	4	0	52,99
Roma	1032	679	81	0	0	48,18
Latina	448	345	19	2	0	26,97
Frosinone	2261	1297	6	1	0	56,22

Da quanto emerso dagli estratti dell’inventario IFFI, le caratteristiche litologiche-strutturali dei complessi geologici regionali laziali, rappresentano il principale fattore predisponente i processi di instabilità dei versanti in relazione all’ambiente in cui si manifestano. Le distinzioni tipologiche dei numerosi processi riconosciuti sono illustrati nell’istogramma in Figura 2.1 e nel Diagramma a torta in Figura 2.2, in cui vengono rappresentate le frane suddivise per tipologia di movimento così da consentire la fornitura di interessanti correlazioni tra ambiente geomorfologico, caratteristiche litologico-strutturali dell’area e tipologie dei fenomeni.

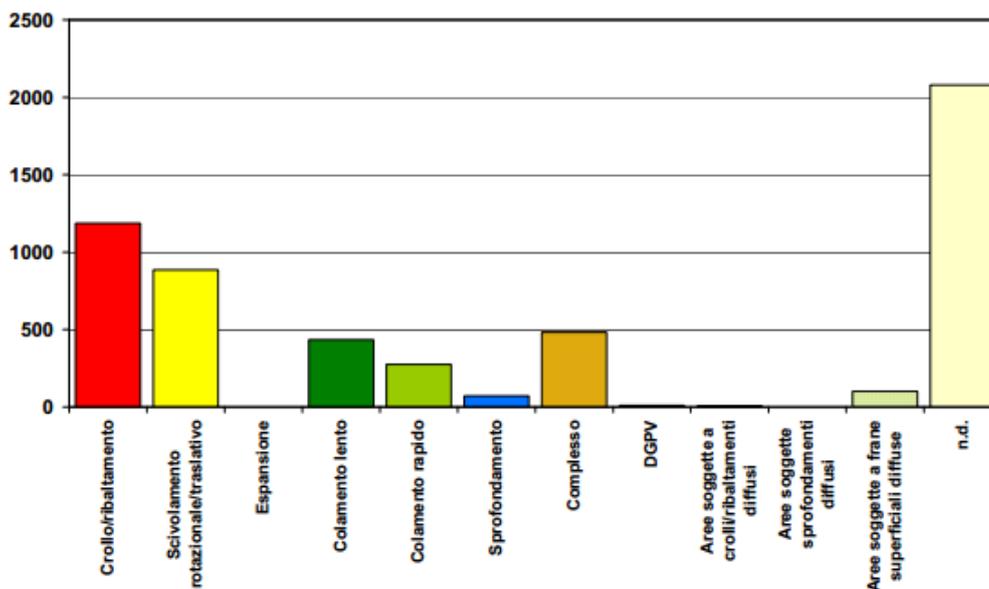


Figura 2.1 - Numero di frane per tipologia di movimento. (Tratta dal Rapporto sulle frane in Italia, ISPRA 2007)

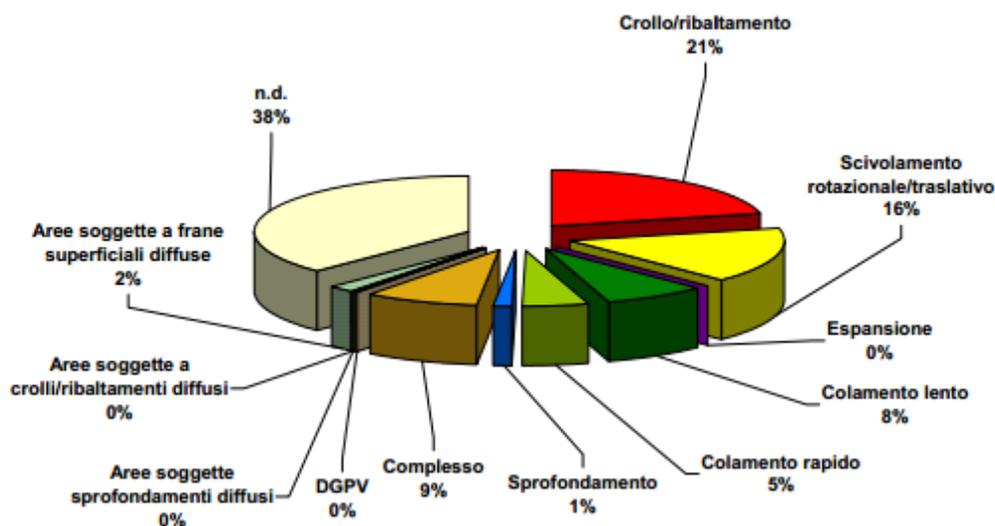


Figura 2.2 - Percentuale delle frane per tipologia di movimento. (Tratta dal Rapporto sulle frane in Italia, ISPRA 2007)

Dall'ultimo Diagramma in Figura 2.2, che mostra la % di PIFF, si mostra che tra le frane censite dal Progetto IFFI, quelle per crollo/ribaltamento sono le più diffuse (21%). Tra i fenomeni per i quali il tipo di movimento risulta "non determinato" sono compresi anche i fenomeni puntuali che non sono stati inseriti nelle analisi statistiche effettuate per i dati relativi al Progetto IFFI.

Spazio ovviamente anche allo Stato di Attività delle frane censite, in cui il Diagramma a torna in Figura 2.3 fornisce una visualizzazione completa delle analisi effettuate, in cui nel corso delle analisi di I Livello della scheda IFFI, l'83% dello stato di attività delle frane non è stato rivelato.

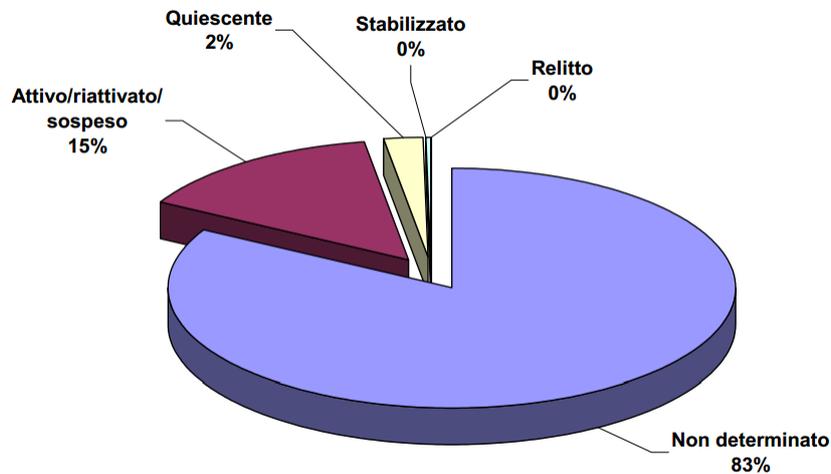


Figura 2.3 - Percentuale delle frane per stato di attività. (Tratta dal Rapporto sulle frane in Italia, ISPRA 2007)

Segue nella scheda di I Livello IFFI, il rapporto fra le frane e i diversi elementi antropico/ambientali coinvolti. Nel Lazio si riscontra che le strade sono gli elementi antropici più frequentemente coinvolti nei fenomeni di dissesto seguito da edifici isolati e case sparsi e da nuclei/centri abitati passando per i beni storico - architettonici i cui rischi connessi ai fenomeni franosi si vogliono approfondire nei prossimi paragrafi scendendo a livello Provinciale; in questo caso nella provincia di Rieti.

Quanto detto è riportato nel Diagramma in Figura 2.4. Da notare l'elevato indice del dato "n.d." (non determinato) che contiene sia i dissesti privi di informazioni di dettaglio sia quelli che non hanno provocato danni.

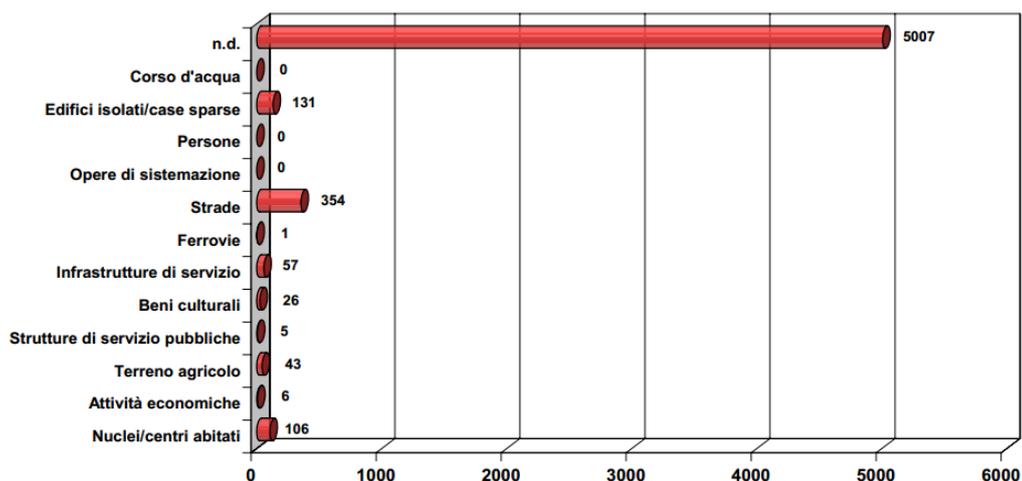


Figura 2.4 - Numero di frane per tipologia di elemento antropico/ambientale coinvolto. (Tratta dal Rapporto sulle frane in Italia, ISPRA 2007)

Infine, a quanto concerne nel capitolo dedicato alla Regione Lazio; si introduce il parametro “Indice di Franosità” (IF): esso è definito come il rapporto tra area in frana e area di riferimento quale ad esempio, regione, territorio montano-collinare, classe litologica, classe uso del suolo. Il Rapporto della IFFI propone la Tabella dell’IF (Tabella 2.3) in cui si deduce che il territorio regionale ha una densità dei fenomeni franosi pari al 0,32%, mentre l’indice di Franosità, inteso come aree in frana (Poligoni superiori a 10000 m²) rispetto all’intero territorio della regione, si aggira intorno al valore di 1,38 %.

Tabella 2.3 - Indice di Franosità. (Tratta dal Rapporto sulle frane in Italia, ISPRA 2007)

Superficie totale regione (km ²)	Area montano – collinare (km ²)	Numero di PIFF	Area totale in frana (km ²)	Densità dei fenomeni franosi (N° PIFF / Superficie regionale)	Indice di Franosità % (area totale in frana / superficie regione)	Indice di Franosità % (area totale in frana / area montano – collinare)
17206,40	11528	5531	237,12	0,32	1,38	2,06

Si riscontra dalle indagini fatte e dai dati riportati nel database della IFFI che il fattore primario predisponente i processi di instabilità dei versanti nella Regione Lazio è rappresentato dalle caratteristiche litologico-strutturali dei complessi geologici regionali. Per tale motivo in relazione alle litologie affioranti si rivela che circa un terzo delle frane nel territorio regionale interessano i terreni flyschoidi di

varia natura, i quali sono stati ampiamente rilevati negli studi geologici effettuati dalle imprese operanti nell'area oggetto di studio.

Seguono i fenomeni franosi che coinvolgono gli affioramenti di rocce carbonatiche, ignee effusive e piroclastiche.

In Figura 2.5 è possibile visionare il rapporto fra Indice di Franosità e uso del suolo.

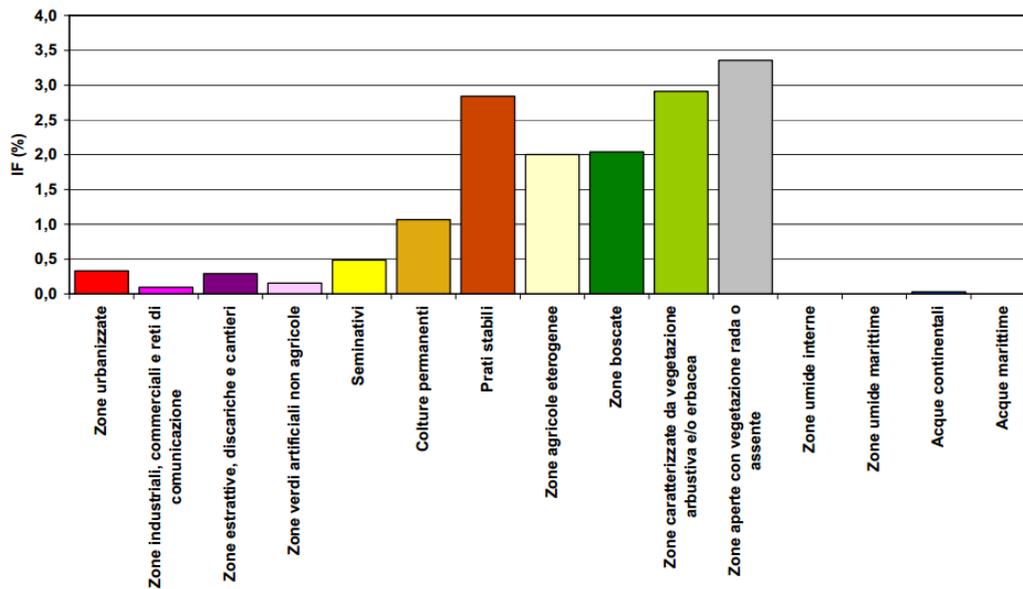


Figura 2.5 - Indice di Franosità per uso del suolo. (Tratta dal Rapporto sulle frane in Italia, ISPRA 2007)

2.2 I dati sui fenomeni franosi nella Provincia di Rieti

Prima di scendere nei maggiori dettagli di questa breve raccolta dati che trae la sua fonte dal Progetto IFFI; si vuole riprendere proprio una parte delle considerazioni conclusive estratte dal "Rapporto sulle Frane in Italia" e farne il punto di partenza per questo paragrafo.

Nel Rapporto si sottolinea come nella regione Lazio, lungo le catene montuose carbonatiche dei Monti Reatini, dei Sabini ed altri; è stata rilevata la maggiore densità di frane per crollo, che spesso hanno coinvolto strade e centri abitati. Tra i comuni citati nel capitolo di riferimento che sono maggiormente interessati da questa tipologia di dissesti, appaiono proprio quelli appartenenti alla provincia di Rieti, tra cui figura anche il comune di Varco Sabino.

In queste zone è la condizione fisico-meccanica della roccia, che associata alle pendenze accentuate dei versanti ed all'intensa azione degli agenti atmosferici, favorisce il fenomeno di distacco con conseguente crollo.

Caratteristiche che rispecchiano proprio l'evento e la zona oggetto del medesimo studio.

La scala d'indagine a livello provinciale, che in passato ha condotto dei lavori atti a portare un contributo in quest'ambito, proponendo il censimento dei movimenti franosi interessanti i centri abitati e la viabilità della Provincia di Rieti; di grande rilevanza per il contributo fornito sono senz'altro gli studi svolti e raccolti dalle pubblicazioni di Menotti R.M., Millesimi F e Petitta M. la cui consultazione ha permesso di approfondire quanto in scala regionale è stato svolto ottimamente dal Progetto IFFI.

La conoscenza della distribuzione e della tipologia dei dissenti rappresenta uno strumento importante anche per le attività di prevenzione, di programmazione e pianificazione territoriale che indubbiamente hanno aiutato agli interventi e le ricerche svolte, nonché tutta una serie di rilevamenti condotti dalle 4 imprese partecipanti all'appalto-concorso. Infatti, le informazioni raccolte nella banca-dati sono fonti di primaria importanza nell'individuazione e perimetrazione delle aree soggette a rischio di frana.

Lo studio condotto nel territorio reatino di cui si vuole trattare, è nato e si è sviluppato dalla collaborazione tra l'Amministrazione Provinciale di Rieti, l'Istituto di Ricerca sulle Onde Elettromagnetiche del C.N.R. di Firenze e il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università "La Sapienza" di Roma. Esso si prefiggeva come obiettivi prioritari la realizzazione di un Catalogo delle frane e la redazione di una Carta geolitologica aggiornata con l'ubicazione dei fenomeni gravitativi, l'elenco e la descrizione delle loro principali caratteristiche, la loro incidenza nei bacini idrografici compresi nei confini provinciali e nei singoli territori comunali.

Come riporta Menotti R.M. et alii (1999), l'esame della documentazione relativa agli studi, agli interventi di sistemazione e ai progetti di bonifica, eseguiti dalla Ripartizione Tecnica dell'Amministrazione Provinciale di Rieti che riguardano i fenomeni franosi interessanti gli oltre 1200 km di viabilità provinciale, sono stati il punto di partenza dello studio condotto sui movimenti franosi interessanti i centri abitati e la viabilità della Provincia di Rieti. Tale documentazione, che fa riferimento ai suddetti fenomeni franosi, è riportata in Figura 2.6 con un riepilogo dei dissesti divisi per comune che interessano la viabilità provinciale.

Comune	Area (km ²)	Densità Ab (ab/km ²)	Strade pro (‰)	Dissesti				Indice areale	Indice lineare	
				totali	centri Ab.	strade	str. pros.			Ferrovie
Accumoli	86,9	11	2,91	7	0	7	7	0	8	22
Amatrice	174,4	19	4,06	11	6	8	7	0	6	16
Antroloco	64,0	47	0,11	17	3	3	0	14	26	0
Ascrea	14,4	21	1,02	3	0	3	3	0	20	26
Belmonte in Sabina	23,6	25	1,09	7	1	6	3	0	30	26
Borbona	46,3	16	0,57	0	0	0	0	0	0	0
Borgo Velino	17,3	42	0,13	0	0	0	0	0	0	0
Borghese	148,9	32	2,12	3	1	2	1	0	2	5
Cantalice	37,7	71	1,19	4	4	3	2	0	11	16
Cantalupo in Sabina	10,5	127	0,69	0	0	0	0	0	0	0
Casaprota	14,6	49	0,74	2	1	1	1	0	14	12
Casperia	25,4	41	1,10	1	0	1	1	0	4	9
Castel di Tora	15,7	25	0,63	3	0	3	3	0	19	43
Castelnuovo di Farfa	9,0	90	0,90	0	0	0	0	0	0	0
Castel S. Angelo	15,8	40	0,18	9	2	4	0	3	57	0
Cittaducale	71,0	78	1,64	4	3	2	0	0	6	0
Cittareale	59,0	12	2,01	3	0	3	3	0	5	13
Collalto Sabino	22,2	27	1,48	1	1	1	1	0	5	6
Colle di Tora	14,2	31	0,76	1	1	0	0	0	7	0
Collevecchio Sabino	27,2	56	1,47	1	1	0	0	0	4	0
Collegiove	10,8	24	0,72	0	0	0	0	0	0	0
Colli sul Velino	13,1	34	0,66	0	0	0	0	0	0	0
Concerviano	21,5	23	1,87	2	0	2	2	0	9	10
Configni	22,7	35	0,43	3	1	2	1	0	13	21
Contigliano	53,5	55	1,56	6	1	5	3	0	11	17
Cottanello	36,5	18	2,52	5	1	4	4	0	14	14
Fara Sabina	54,9	146	2,93	1	1	0	0	0	2	0
Fiamignano	204,9	30	2,12	15	4	15	10	0	7	43
Forano	17,6	141	1,00	1	1	1	0	0	6	0
Frasso in Sabina	4,4	113	0,37	1	1	1	0	0	34	0
Greccio	17,9	85	1,38	9	4	9	8	0	50	53
Labro	11,4	30	0,30	0	0	0	0	0	0	0
Leonessa	204,9	15	3,39	2	0	2	2	0	1	5

Comune	Area (km ²)	Densità Ab (ab/km ²)	Strade pro (‰)	Dissesti					Indice areale	Indice lineare
				totali	centri Ab.	strade	str. pros.	Ferrovie		
Longone Sabino	34,1	22	2,34	8	1	8	8	0	24	31
Magliano Sabina	43,7	87	2,43	4	3	2	2	0	10	7
Marcellini	11,0	21	0,70	4	0	4	4	0	38	52
Micigliano	37,4	6	0,67	5	2	5	5	0	15	67
Montepo	10,9	55	0,93	7	1	7	7	0	65	68
Montaola	12,6	31	0,66	0	0	0	0	0	0	0
Montebuono	19,6	47	0,42	1	0	1	1	0	6	22
Monteone Sabino	18,9	67	1,00	4	2	3	2	0	22	18
Montenone in Sabina	22,6	19	1,06	4	0	4	4	0	18	34
Monte S. Giovanni	30,7	22	1,82	1	0	1	1	0	4	5
Montopoli in Sabina	37,6	81	1,48	5	2	0	0	3	13	0
Morro Reatino	26,9	28	0,33	6	0	6	2	0	23	55
Nespolo	8,7	38	0,81	1	0	1	1	0	14	11
Orevinio	24,5	17	0,78	0	0	0	0	0	0	0
Paganico	9,2	27	0,73	2	1	2	2	0	23	25
Pescocostanzo	94,6	33	3,84	8	4	6	5	0	8	12
Petrella Salva	102,2	20	4,39	11	5	8	5	0	11	10
Poggio Bustone	22,3	92	1,15	5	2	4	4	0	23	31
Poggio Catino	15,0	68	1,39	3	0	3	3	0	22	19
Poggio Mirteto	26,5	176	1,06	7	2	5	5	0	27	42
Poggio Moiano	26,8	80	0,46	3	1	2	2	0	11	39
Poggio Nativio	16,4	93	0,89	1	1	1	1	0	7	10
Poggio S. Lorenzo	8,7	51	0,87	2	1	2	2	0	23	21
Posta	66,2	16	1,53	11	3	10	10	0	17	39
Pozzaglia	25,2	28	1,09	3	0	3	3	0	12	25
Rieti	206,5	209	7,27	3	1	1	1	1	1	1
Rivodutri	26,9	47	0,62	5	1	5	5	0	19	73
Rocca S. Abbate	49,4	18	3,94	5	0	5	5	0	10	11
Roccantica	16,7	35	0,63	1	0	1	1	0	6	14
Salsano	17,5	31	1,38	2	0	2	2	0	11	13
Scandriglia	63,1	29	2,76	5	1	4	3	0	8	10
Seki	7,8	125	0,47	1	1	1	1	0	13	19
Stimigliano	11,4	169	0,27	1	0	1	1	0	9	33
Tarano	20,1	39	1,37	7	3	5	5	0	25	33
Tuffia	11,2	68	0,43	0	0	0	0	0	0	0
Torri in Sabina	26,2	45	0,99	6	2	5	5	0	23	46
Torticolle in Sabina	25,8	41	1,85	1	0	1	1	0	4	5
Turanina	8,8	41	0,42	1	1	1	1	0	11	22
Vacone	9,1	29	0,30	0	0	0	0	0	0	0
Varco Sabino	24,5	16	0,43	6	2	5	5	0	24	106
Totale provincia	2749	55	100	270	82	213	177	21	10	16

Figura 2.6 - Riepilogo dei dissesti divisi per comune nella provincia di Rieti.

Mentre per quanto riguarda i centri abitati, si sono presi in esame i dissesti degli abitati oggetti della Legge 445 del 9 luglio 1908 che, come si è visto, prevedeva di trasferire o consolidare a cura dello Stato, i centri abitati in condizione di pericolo per la pubblica incolumità tra cui 6 abitati della Provincia da trasferire e 13 da consolidare nei quali figurava Varco Sabino.

Per la realizzazione di un quadro conoscitivo completo del dissesto del territorio provinciale, si è fatto riferimento alle indicazioni di Istituzioni ed Enti quali:

- La sezione di Protezione Civile della Prefettura di Rieti;
- Il Servizio Geologico d'Italia;
- Ferrovie dello Stato;
- Comuni;
- A.N.A.S.

Il primo passo è stato quello di condurre una ricerca sulla documentazione relativa alla situazione idrogeologica dell'intero territorio provinciale da fonti bibliografiche e dai lavori geologico-tecnici redatti da professionisti, i cui fenomeni segnalati sono stati oggetti di sopralluoghi e rilevamenti di campagna, accompagnati da esami foto interpretativi e integrati dalla raccolta dei dati geognostici.

Successivamente si è potuta realizzare una banca-dati per la archiviazione e la gestione del materiale relativo ad ogni singolo evento, utilizzando un programma di archiviazione dati realizzato presso l'I.R.P.I. – C.N.R. di Torino implementabile su Personal Computer.

Tale programma si avvale di schede sintetiche che contemplano una serie di voci o parole chiave, necessarie e sufficienti per la caratterizzazione dei processi di instabilità, le quali risultano essere: Bacino, Sottobacino, Località, Comune, Rischio, Riferimento Topografico, Data, Fenomeno, Dimensioni, Dinamica, Danni, Cause, Effetti, Litologia, Fonte, Note. Per l'utilizzo del programma sono state compilate 270 schede che riguardano fenomeni franosi raggruppati in tipologie secondo la classificazione di Varnes (1978).

La banca-dati realizzata è stata concepita in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile (DIC-LIT) dell'Università di Roma "Tor Vergata" e messa in relazione con una base cartografica informatizzata, realizzando l'integrazione con un Sistema Informativo Territoriale (GIS), tramite il software ARCVIEW.

Parallelamente agli studi e i lavori svolti è stata realizzata, come allegato di progetto, la rappresentazione cartografica alla scala 1:100000 della base geologica, con l'ubicazione dei dissesti definiti tipologicamente; tale carta prende il nome di "Carta dei fenomeni franosi interessanti i centri abitati e la viabilità nella Provincia di Rieti" (Menotti R.M. et alii, 1999) (Figura 2.7). Essa ha ispirato successivamente la redazione del "Piano Provinciale Di Protezione Civile", più volte ripreso nei paragrafi precedenti, con l'elaborato di una Carta del Rischio da frana (Allegata al medesimo Piano), redatta sulla base dei dati forniti nel PAI dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere ed implementati con i dati ripresi dalla Carta dei fenomeni franosi di Menotti R.M. et alii.

In questa carta sono state raggruppate le formazioni affioranti in undici complessi litologico-stratigrafici, caratterizzati da comportamento simile in relazione alla stabilità ed alla presenza di dissesti idrogeologici.

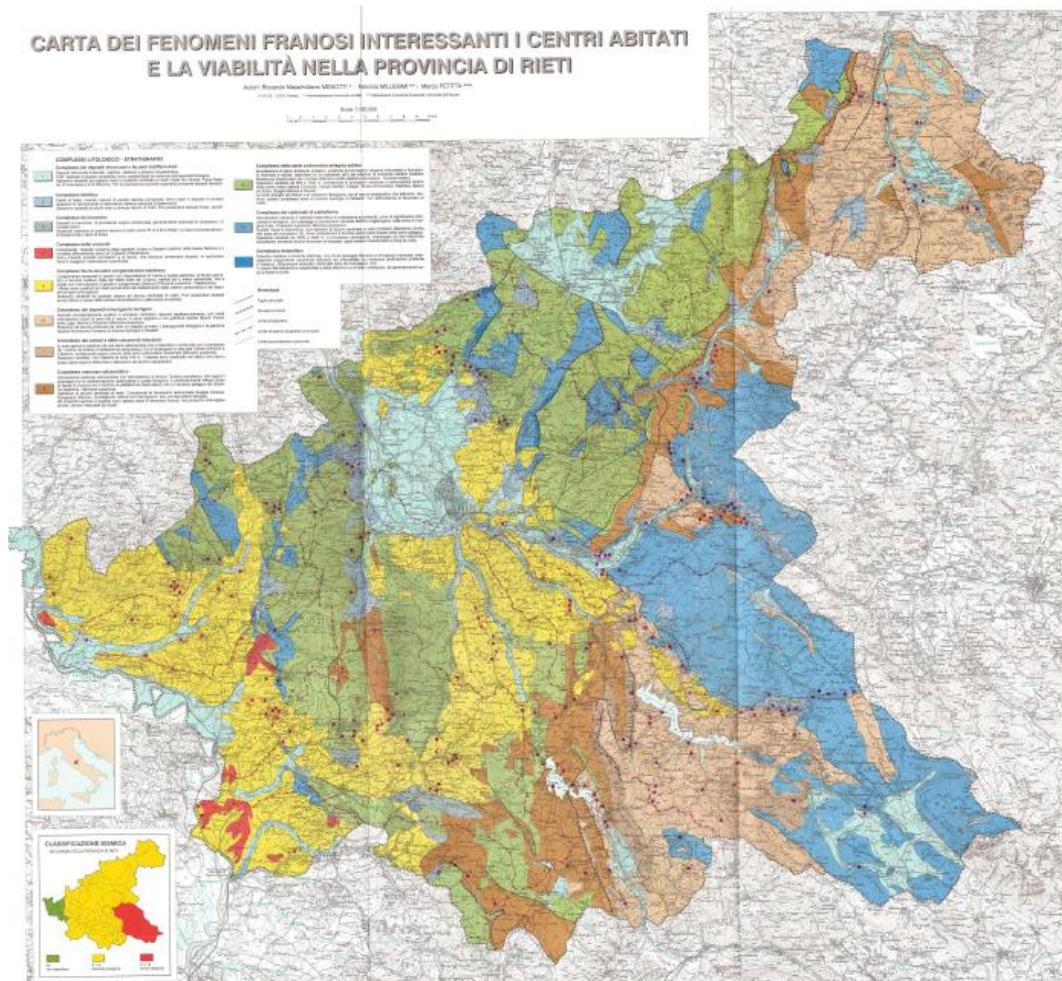


Figura 2.7 - Carta dei fenomeni franosi interessanti i centri abitati e la viabilità nella Provincia di Rieti, scala 1:100000. (Menotti R.M., Millesimi F, Petitta M., 1999)

In Figura 2.8 sono riportate le tabelle annesse ai margini della carta in cui sono elencati comune per comune i fenomeni franosi e le loro principali caratteristiche (tipologia, area e litologia interessate dal fenomeno, rischio, studi e interventi).

TABELLA N° 1

n°	Comune	Tipo	Area	L	Rischio	S/I
1	Varco Sabino	■	+	C	S	SI
2	Petrella Salto	■		F	S-A	S
3	Fiamignano	■		D	S	
4	Leonessa	■	+	C	S	S
5	Amatrice	●	+	F	S	I
6	Amatrice	■		F	C	
7	Poggio Mireto	●	+	A	S	S
8	Poggio Mireto	●		A	S	SI
9	Pescocostanzo	●		F	S	SI
10	Longone Sabino	●		A	S	SI
11	Rocca Sinibalda	■		D	S	I
12	Rocca Sinibalda	■		C	S	SI
13	Castel di Tora	■		C	S	
14	Varco Sabino	●		F	S	S
15	Salisano	■		C	S	S
16	Mompeo	●	+	A	S	I
17	Longone Sabino	■		A	S	SI
18	Cotanello	■	+	C	S	SI
19	Contigliano	●		D	S	SI
20	Contigliano	●		D	S	SI
21	Petrella Salto	▲		F	C	SI
22	Petrella Salto	●		F	C	I
23	Poggio Moiano	●	+	A	C-S	
24	Conceiviano	■		C	S	I
25	Conceiviano	●		C	S	I
26	Varco Sabino	■		C	C	I
27	Varco Sabino	●		D	C-S	I
28	Pescocostanzo	●		C	C	I
29	Castel di Tora	●	+	F	S	
30	Ascreo	●	+	F	S-A	S
31	Ascreo	●	+	F	S	SI
32	Ascreo	●	+	F	S	I
33	Paganico	●	+	F	C-S	SI
34	Nespolo	●		F	S	I
35	Antrodoco	■		C	C	I
36	Micigliano - Posta	●	+	C	S	I
37	Micigliano	●	+	D	S	SI
38	Micigliano	●	+	C	C-S	I
39	Amatrice	●		F	C	I
40	Amatrice	■		F	C	
41	Posta	■		C	C-S	I
42	Poggio Bustone	●	+	D	C	SI
43	Rieti	■		C	C	I
44	Greccio	●	+	D	C-S	SI
45	Greccio	▲		D	S	I

TABELLA N° 2

n°	Comune	Tipo	Area	L	Rischio	S/I
46	Cittaducale	■		C	C	SI
47	Rieti	●	+	D	S	S
48	Contigliano	■		C	S	I
49	Contigliano	■		C	S	I
50	Cantalice	■		C	C-S	I
51	Cantalice	■		C	C-S	I
52	Belmoite in Sabina	●		A	S	I
53	Belmoite in Sabina	◆		A	S	SI
54	Belmoite in Sabina	◆		A	S	I
55	Belmoite in Sabina	◆		A	S	I
56	Belmoite in Sabina	◆		A	S	I
57	Belmoite in Sabina	◆		A	S	I
58	Belmoite in Sabina	◆	+	A	C	I
59	Monteleone Sabino	■		A	C-S	I
60	Monteleone Sabino	■		A	C	I
61	Longone Sabino	■	+	C	S	I
62	Longone Sabino	●		C	S	I
63	Rocca Sinibalda	■	+	C	S	I
64	Casaprotta	■	+	A	C	I
65	Frasco Sabino	■		A	C-S	I
66	Poggio Moiano	■		A	C	
67	Poggio Moiano	■		A	S	SI
68	Poggio Catino	■		A	S	SI
69	Tarano	■		A	S	I
70	Tarano	■		A	C-S	I
71	Tarano	■		A	S	I
72	Tarano	■		A	C	I
73	Montenero in Sabina	●	+	A	S	I
74	Montenero in Sabina	●		A	S	
75	Mompeo	●		A	S	I
76	Montenero in Sabina	●		A	S	I
77	Mompeo	●		A	S	
78	Mompeo	●		A	S	
79	Montenero in Sabina	●		A	S	
80	Mompeo	■		A	S	I
81	Mompeo	■		A	S	S
82	Salisano	■		C	S	I
83	Torri in Sabina	●	+	A	C-S	I
84	Torri in Sabina	●		A	S	SI
85	Torri in Sabina	◆		A	S	I
86	Torri in Sabina	●		A	S	I
87	Casperia	●		A	S	I
88	Longone Sabino	■		A	S	SI
89	Pescocostanzo	●		F	S	SI
90	Rivodutri	●		D	C-S	S

TABELLA N° 3

n°	Comune	Tipo	Area	L	Rischio	S/I
91	Sajonovo	●	+	A	S	SI
92	Magliano Sabina	●		A	S	SI
93	Rivodutri	■		C	S	SI
94	Petrella Salto	■		C	C	I
95	Fiamignano	■		D	S	I
96	Pescocostanzo	▲		D	C-S	I
97	Borghese	■		C	C	
98	Borghese	◆	+	C	C	
99	Pescocostanzo	●	+	F	C-S	
100	Pescocostanzo	●	+	F	S	I
101	Collalto Sabino	■		C	C-S	SI
102	Colle di Tora	■		C	C	I
103	Accumoli	●		C	S	S
104	Accumoli	●		F	S	SI
105	Amatrice	●	+	F	S	I
106	Scandriglia	◆		C	S	
107	Scandriglia	■		C	S	
108	Scandriglia	■		C	S	
109	Scandriglia	●	+	C	S	
110	Montebuono	●		A	S	SI
111	Greccio	▲		D	S	
112	Greccio	●		D	C-S	I
113	Contigliano	●		D	S	S
114	Rivodutri	●		A	S	I
115	Morro Reatino - Rivodutri	●	+	A	S	SI
116	Morro Reatino	●		A	S	S
117	Castel Sant'Angelo	■		A	C	S
118	Petrella Salto	●		A	S	I
119	Petrella Salto	▲		A	S	SI
120	Petrella Salto	▲		F	S	SI
121	Amatrice	●		F	C-S	
122	Petrella Salto	●		A	S	I
123	Amatrice	●		F	C-S	I
124	Petrella Salto	●	+	F	C-S	I
125	Fiamignano	■	+	C	S	I
126	Amatrice	■	+	F	S	I
127	Accumoli	■		F	S	I
128	Accumoli	■		F	S	I
129	Accumoli	■		C	S	I
130	Poggio Mireto	●		A	C-S	SI
131	Roccaraino	■		D	S	
132	Roccaraino	●		F	S	S
133	Scandriglia	■		C	C	
134	Monteleone Sabino	●		A	S	I
135	Castel di Tora	■		C	S	S

TABELLA N° 4

n°	Comune	Tipo	Area	L	Rischio	S/I
136	Cittaducale	●		F	S	I
137	Torriceola	●		A	S	I
138	Monteleone Sabino	●		A	S	I
139	Fiamignano	◆	+	C	S	I
140	Micigliano	■	+	C	S	SI
141	Marcellino	●		F	S	
142	Marcellino	●		F	S	
143	Marcellino	●	+	F	S	I
144	Varco Sabino	●		F	S	SI
145	Fiamignano	■		C	S	I
146	Fiamignano	●		D	S	
147	Fiamignano	◆		D	S	I
148	Poggio Catino	●		A	S	I
149	Torri in Sabina	■	+	C	C	I
150	Cotanello	●		C	S	I
151	Posta	◆		C	S	SI
152	Casaprotta	◆		C	S	S
153	Cotanello	◆		C	S	I
154	Cotanello	●		D	C	I
155	Magliano Sabina	●	+	A	S	SI
156	Greccio	●		C	C-S	I
157	Micigliano	●		C	S	I
158	Posta	■		C	S	I
159	Posta	◆		C	S	I
160	Posta	■		C	S	I
161	Cittaducale	●		D	S	I
162	Accumoli	●		C	S	I
163	Poggio San Lorenzo	◆		A	C-S	I
164	Poggio San Lorenzo	◆	+	A	S	I
165	Poggio Naivino	●		A	C-S	
166	Antrodoco	■	+	C	F	SI
167	Antrodoco	●	+	D	F	
168	Antrodoco	●	+	A	F	I
169	Antrodoco	■		C	F	I
170	Antrodoco	■	+	C	F	
171	Antrodoco	●	+	D	F	
172	Antrodoco	■		C	F	
173	Antrodoco	■		C	F	
174	Antrodoco	■	+	C	F	
175	Antrodoco	●	+	F	F	
176	Antrodoco	●	+	A	F	
177	Antrodoco	●	+	F	F	
178	Antrodoco	■		C	F	
179	Castel Sant'Angelo	■	+	C	F	
180	Amatrice	■		F	S	I

TABELLA N° 5

n°	Comune	Tipo	Area	L	Rischio	S/I
181	Rieti	■		C	F	
182	Montopoli in Sabina	■		A	F	I
183	Montopoli in Sabina	■		A	F	I
184	Montopoli in Sabina	■		A	F	I
185	Fara in Sabina	■	+	A	C	I
186	Pescocostanzo	●	+	F	C	I
187	Mompeo	●		C	C-S	I
188	Poggio Mireto	●	+	A	C	I
189	Longone Sabino	●	+	A	C-S	I
190	Fiamignano	●	+	F	C-S	I
191	Fiamignano	●		F	C-S	I
192	Collevecchio Sabino	●		A	C	I
193	Tarano	●		A	C	I
194	Selci	●		A	C-S	I
195	Petrella Salto	●		C	C-S	I
196	Configni	■		C	C	I
197	Configni	●	+	C	S	I
198	Torri in Sabina	◆	+	C	S	
199	Leonessa	▲		D	S	
200	Pescocostanzo	■		C	S	I
201	Cantalice	●		D	C-S	I
202	Poggio Bustone	●		D	C-S	I
203	Poggio Bustone	●		D	S	I
204	Poggio Bustone	●		D	S	I
205	Rivodutri	■	+	C	S	I
206	Morro Reatino	■	+	C	S	I
207	Morro Reatino	■		C	S	I
208	Morro Reatino	■	+	C	S	I
209	Morro Reatino	●	+	C	S	I
210	Greccio	▲		D	C-S	
211	Antrodoco	●		F	C-S	I
212	Antrodoco	◆		F	C-S	I
213	Posta	●	+	C	C-S	
214	Accumoli	●		F	S	
215	Cittaducale	●		F	S	
216	Castel Sant'Angelo	■		C	F-A	
217	Castel Sant'Angelo	■		C	F-A	
218	Castel Sant'Angelo	■		A	S-A	
219	Castel Sant'Angelo	■		A	A	
220	Castel Sant'Angelo	■		C	S	
221	Castel Sant'Angelo	◆		C	C-S	I
222	Castel Sant'Angelo	◆		C	S	I
223	Posta	●	+	C	S	
224	Posta	●	+	C	C	
225	Amatrice	●		F	C-S	SI

TABELLA N° 6

n°	Comune	Tipo	Area	L	Rischio	S/I
226	Morre Reatino - San Giovanni	●		A	S	
227	Montopoli in Sabina	■		A	C	I
228	Poggio Catino	■		A	S	
229	Turania	●		A	C-S	SI
230	Fiamignano	●	+	F	C-S	SI
231	Posta	■		C	S	I
232	Posta	■	+	C	S	I
233	Tarano	■	+	C	S	I
234	Montopoli in Sabina	■		A	C	SI
235	Pozzaglia	■		C	S	
236	Longone Sabino	■		A	S	SI
237	Rocca Sinibalda	●		A	S	SI
238	Fiamignano	■	+	F	C-S	SI
239	Longone Sabino	■		C	S	
240	Magliano Sabina	◆	+	A	C-S	SI
241	Greccio	▲		D	S	
242	Greccio	▲		D	S	
243	Greccio	▲		D	S	
244	Fiamignano	■	+	C	S	SI
245	Fiamignano	■		C	S	SI
246	Fiamignano	■	+	C	S	SI
247	Fiamignano	■		C		

Da notare come la frana per crollo censita nella località di Varco Sabino, il cui fenomeno ha portato a condurre gli interventi di bonifica e consolidamento della zona a monte della S.P. Diga Salto – Bivio Rocca Vittiana, nonché di protezione e presidio del sottostante tratto di S.P., sia proprio la frana numero 1 censita (Figura 2.9). Da quanto si desume dalla tabella e dalla leggenda annessa, la frana ha un'area di estensione maggiore di 1 ha, la litologia interessata riguarda la classe "C", ovvero Calcari, Marne, Travertini, il rischio interessa la viabilità e sono stati eseguiti a proposito studi ed interventi, di cui si tratterà nei prossimi capitoli con maggiore dettaglio.

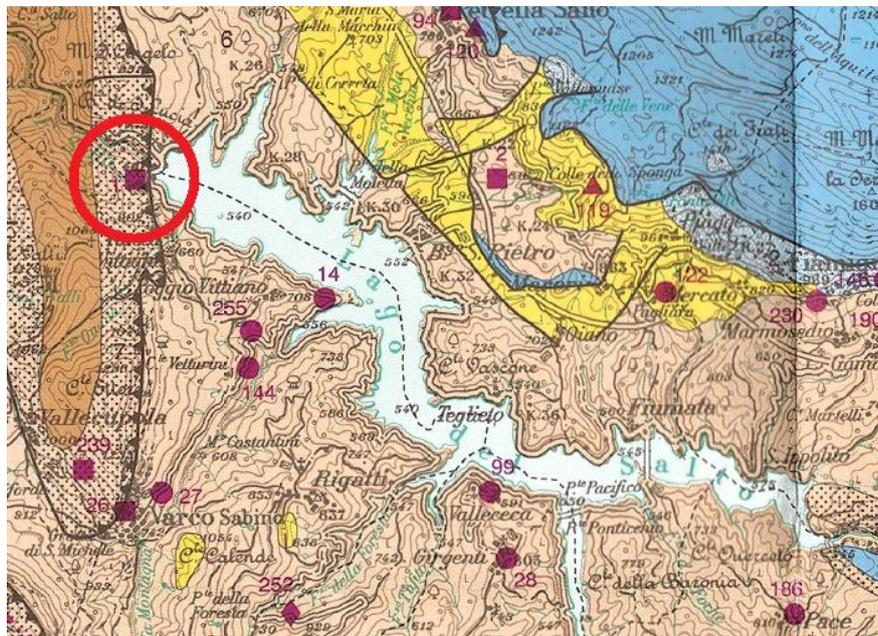


Figura 2.9 - Stralcio della Carta dei fenomeni franosi (Menotti et alii, 1999). In evidenza la frana per crollo numero 1 nel comune di Varco sabino.

Infine, in Figura 2.10 è riportata la tabella riassuntiva delle frane presenti nei singoli comuni con riferimento alla Carta fenomeni franosi interessanti i centri abitati e la viabilità nella Provincia di Rieti e il suo relativo contenuto.

Comune	n° frane presenti	Codice delle frane	Comune	n° frane presenti	Codice delle frane
Accumoli	7	103, 104, 127, 128, 129, 162, 214	Mompeo	7	16, 75, 77, 78, 80, 81, 187
Amatrice	11	5, 6, 39, 40, 105, 121, 123, 126, 180, 225, 259	Monte San Giovanni	1	226
Antrodoco	17	35, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 211, 212, 254	Montebuono	1	110
Ascrea	3	30, 31, 32	Monteleone Sabino	4	59, 60, 134, 138
Belmonte in Sabina	7	52, 53, 54, 55, 56, 57, 58	Montenero in Sabina	4	73, 74, 76, 79
Borghese	3	97, 98, 260	Montopoli in Sabina	5	182, 183, 184, 227, 234
Cantalice	4	50, 51, 201, 263	Morro Reatino	6	115, 116, 206, 207, 208, 209
Casaprota	2	64, 152	Nespolo	1	34
Casperia	1	87	Paganico	2	33, 251
Castel di Tora	3	13, 29, 135	Pescorocchiano	8	9, 28, 89, 96, 99, 100, 186, 200
Castel Sant'Angelo	9	117, 179, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222	Petrella Salto	11	2, 21, 22, 94, 118, 119, 120, 122, 124, 195, 270
Cittaducale	4	46, 250, 264, 266	Poggio Bustone	5	42, 202, 203, 204, 253
Cittareale	3	136, 161, 215	Poggio Catino	3	68, 148, 228
Collalto Sabino	1	101	Poggio Mirteto	7	7, 8, 130, 188, 256, 265, 267
Colle di Tora	1	102	Poggio Moiano	3	23, 66, 67
Collecchio Sabino	1	192	Poggio Nativo	1	165
Concerviano	2	24, 25	Poggio San Lorenzo	2	163, 164
Configni	3	196, 197, 248	Posta	11	36, 41, 151, 158, 159, 160, 213, 223, 224, 231, 232
Contigliano	6	19, 20, 48, 49, 113, 257	Pozzaglia	3	235, 249, 262
Cottanello	5	18, 150, 153, 154, 261	Rieti	3	43, 47, 181
Fara in Sabina	1	185	Rivodutri	5	90, 93, 114, 115, 205
Fiamignano	15	3, 95, 125, 139, 145, 146, 147, 190, 191, 230, 238, 244, 245, 246, 247	Rocca Sinibalda	5	11, 12, 63, 132, 237
Forano	1	268	Roccantica	1	131
Frasso Sabino	1	65	Salisano	2	15, 82
Greccio	9	44, 45, 111, 112, 156, 210, 241, 242, 243	Scandriglia	5	106, 107, 108, 109, 133
Leonessa	2	4, 199	Selci	1	194
Longone Sabino	8	10, 17, 61, 62, 88, 189, 236, 239	Stimigliano	1	91
Magliano Sabina	4	92, 155, 240, 258	Tarano	7	69, 70, 71, 72, 193, 233, 269
Marcellino	4	141, 142, 143, 252	Torri in Sabina	6	83, 84, 85, 86, 149, 198
Micigliano	5	36, 37, 38, 140, 157	Torricella	1	137
			Turania	1	229
			Varco Sabino	6	1, 14, 26, 27, 144, 255

Figura 2.10 - Tabella riassuntiva delle frane presenti nei singoli comuni. (Menotti et alii, 1999)

2.2.1 Analisi dei Dati

Nella carta in Figura 2.7, sono stati rilevati 270 dissesti, analizzati mettendo in relazione le loro principali caratteristiche (litologie interessate, tipologia di frana, estensione, elemento a rischio e interventi di mitigazione realizzati).

I dati riassunti nella cartografia allegata alla realizzazione del database elettronico, sono stati elaborati con metodi statistici; per cui per quanto riguarda la pericolosità, è stato possibile identificare correlazioni tra tipologia di frana e litologia. Il risultato è stato che i fenomeni per crollo sono concentrati su rocce litoidi (calcarei e conglomerati), i colamenti interessano in particolare i depositi detritici sciolti, mentre gli scorrimenti interessano principalmente litologie flyschoidi e terrigene continentali.

Per la natura dell'indagine svolta non sono stati elaborati modelli quantitativi relativi all'innescò, per cui l'identificazione delle cause che hanno innescato i fenomeni franosi, in linea generale, sono riconosciute in base alle indagini eseguite al momento dell'evento franoso.

Come riportato nell'istogramma in Figura 2.11, lo studio svolto ha evidenziato il ruolo determinante che svolgono le precipitazioni e gli eventi sismici nel determinare le varie tipologie di dissesto; tra le cause climatiche si segnala il

fenomeno del crioclastismo. In evidenza ci sono anche i fattori connessi all'assetto geologico e geomorfologico, quali elementi giacaturali, acclività ed erosione al piede.

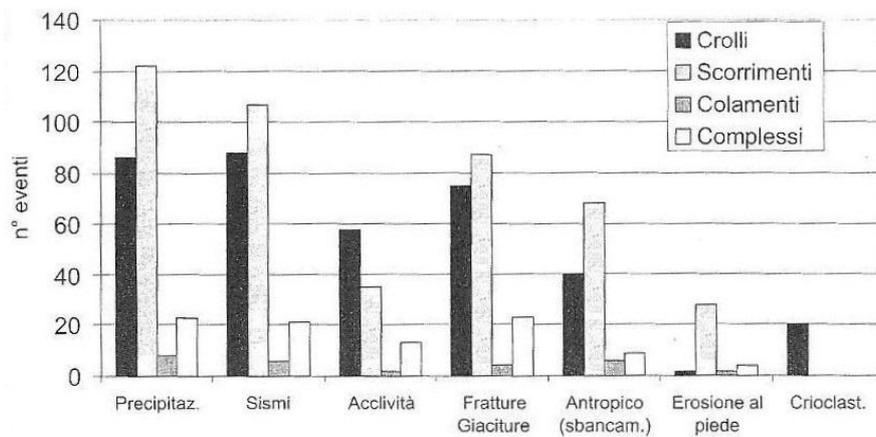


Figura 2.11 - Distribuzione della tipologia dei dissesti in relazione alle cause di innesco identificate.

Nell'istogramma in Figura 2.12, è possibile visualizzare la frequenza dei fenomeni nei diversi mesi dell'anno. Questa distribuzione mette in evidenza l'influenza delle precipitazioni sulle cause di innesco dei fenomeni franosi: si nota infatti come gli eventi si concentrino nel periodo autunnale, all'arrivo delle prime piogge significative dopo il periodo estivo; un picco secondario è presente nei mesi primaverili.

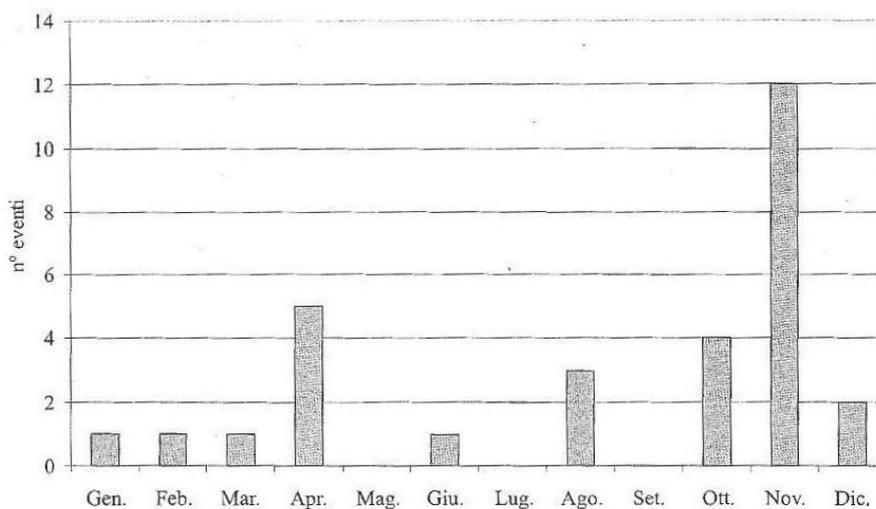


Figura 2.12 - Distribuzione dei dissesti nei diversi mesi dell'anno.

Considerazioni riguardo alle problematiche relativi al rischio, in rapporto agli elementi antropici interessati dai dissesti, sono consentite grazie all'analisi

statistica: A partire dall'elenco dei comuni e dal numero di frane, relazionato alla loro superficie e alla lunghezza delle strade provinciali presenti sui singoli territori comunali (Figura 2.6), è possibile osservare come un "indice areale" elevato si incontra per pochi comuni (Tarano, Mompeo, Belmonte in Sabina, Castel S. Angelo, Marcetelli, Frasso).

Allo stesso modo per le strade, "indici lineari" elevati sono presenti per i soli comuni di Varco Sabino, Mompeo, Greccio, Marcetelli, Micigliano, Morro Reatino e Posta.

L'analisi si chiude lasciando spazio anche all'evoluzione nel tempo degli appositi studi mirati a ridurre la pericolosità dei singoli siti interessati con la messa in opera di interventi strutturali e non. In Figura 2.13, si mostra come nell'ultimo secolo siano aumentati gli interventi, ma soprattutto gli studi tecnici e scientifici sui dissesti (dallo 0 al 12%). Da questa ultima statistica risulta evidente come nel corso degli anni, in concomitanza con l'evoluzione di provvedimenti legislativi e normativi, sia aumentata l'attenzione verso i dissesti franosi (Menotti et alii, 1999).

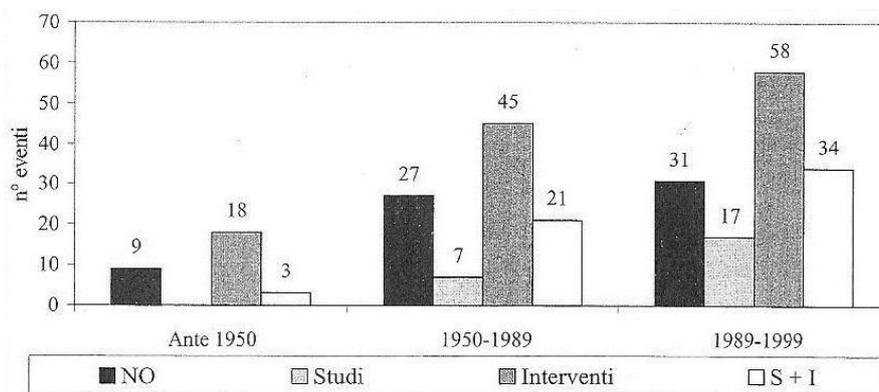


Figura 2.13 - Distribuzione dei dissesti per intervalli temporali in rapporto agli interventi di mitigazione del rischio.

Dato importante e propedeutico per la medesima tesi di laurea triennale, riguarda i dati raccolti sugli elementi a rischio (Figura 2.14) che, nel caso di centri abitati, si evidenzia una maggiore propensione agli interventi, mentre nel caso della viabilità, invece, sono ancora in numero elevato i casi nei quali non si procede in alcun modo, o meglio, si procede solo con politiche emergentistiche (Si veda i due casi simbolo presi in oggetto: la SP Diga Salto – Bivio Rocca Vittiana e la SP Tancia nel comune di Salisano in Figura 52).

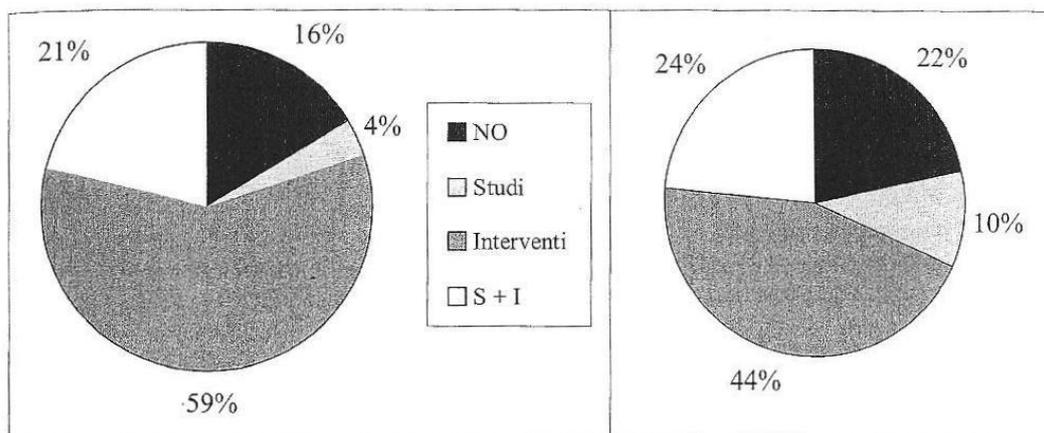


Figura 2.14 - Distribuzione dei dissesti nei centri abitati (a sinistra) e sulla viabilità (a destra), in funzione di studi e interventi realizzati (Figura 2.13)

2.3 Rischi da frana connessi ai beni storico – architettonici

Nel paragrafo precedente è stato descritto lo studio sistematico dei movimenti franosi che interessano i centri abitati e la viabilità principale; il risultato ottenuto ha messo in evidenza anche molte situazioni di rischio per il patrimonio architettonico.

Diverse tipologie di frane minacciano direttamente monumenti di grande importanza storico-architettonica della Provincia di Rieti, la cui alta sismicità del territorio, è da porre fra le principali cause predisponenti e talvolta direttamente innescanti i fenomeni franosi.

Grazie al progetto di studio svolto che ha permesso la realizzazione di un catalogo sperimentale, una banca-dati e una cartografia riassuntiva dell'inventario delle frane nel territorio reatino; sono emersi elementi interessanti riguardanti i rapporti tra dissesti e centri abitati, con particolare riferimento e coinvolgimento di elementi e beni storico-architettonici di notevole interesse.

La localizzazione e le principali caratteristiche dei siti storico-architettonici interessati dai dissesti sono riportati in Tabella 2.4 e in Figura 2.14, le cui possibili spiegazioni del fatto che i maggiori rischi connessi ai movimenti franosi, come si vede in Figura 2.14, siano concentrati nella parte sud-occidentale del territorio della provincia di Rieti, sono da ricercare nella storia, alla formazione dei più antichi insediamenti.

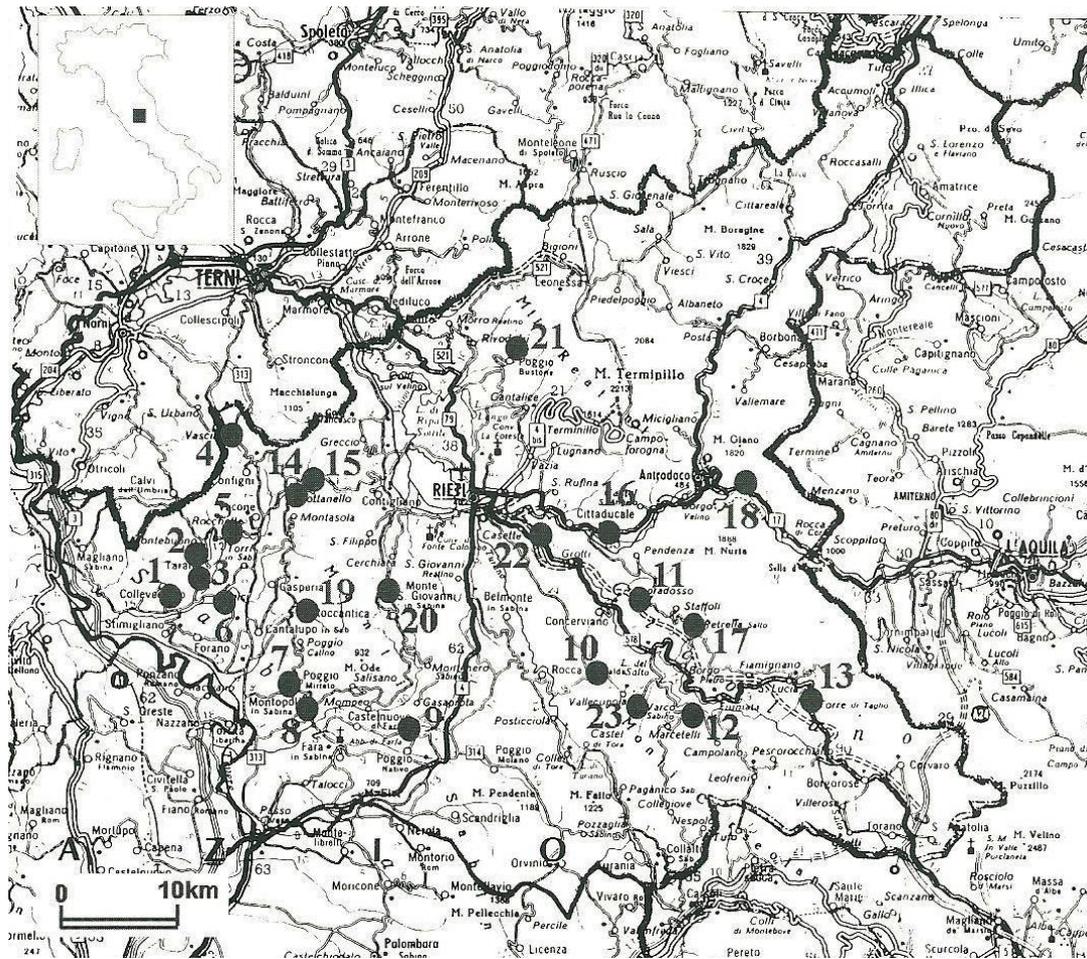


Figura 2.14 - Ubicazione dei siti storico-architettonici interessati da dissesti (numerazione riferita alla Tabella 2.4)

Tabella 2.4 - elenco dei beni storico – architettonici interessati dai movimenti franosi. Il numero progressivo è riferito alla Figura 2.14. Il numero del dissesto si riferisce alla Carta dei fenomeni franosi (Menotti et alii, 1999)

N°	Località	Comune	Bene Storico	Tipologia di frana e numero di inventario
1	Collevecchio	Collevecchio	Centro storico	Scorrimento - 192
2	Tarano	Tarano	Centro storico	Crollo - 72
3	San Polo	Tarano	Centro storico	Scorrimento - 193
4	Lugnola	Configni	Centro storico	Crollo - 196
5	Rocchette	Torri in Sabina	Centro storico	Crollo - 149
6	Selci	Selci	Centro storico	Scorrimento - 194
7	Poggio Mirteto	Poggio Mirteto	Centro storico	Scorrimento - 188
8	Montopoli	Montopoli	Centro storico	Crollo - 234
9	Frasso Sabino	Frasso Sabino	Centro storico	Crollo - 65
10	Longone Sabino	Longone Sabino	Centro storico	Scorrimento - 189
11	Capradosso	Petrella Salto	Centro storico	Scorrimento - 22
12	Vallececa	Pescorocchiano	Centro storico	Scorrimento - 99
13	Roccarandisi	Pescorocchiano	Centro storico	Colamento - 96
14	Cottanello	Cottanello	Cimitero Monumentale	Scorrimento - 154
15	S. Cataldo	Cottanello	Eremo di S. Cataldo	Crollo - 18
16	S.Vittorino	Castel S. Angelo	Chiesa di S. Vittorino	Complesso - 221
17	Rocca Cenci	Petrella Salto	Rocca di Beatrice Cenci	Crollo - 94
18	Vignola	Antrodoco	Santuario Madonna delle Grotte	Crollo
19	Osteria Tancia	Roccantica	Eremo di S. Leonardo	Crollo
20	S.Michele	Monte S.Giovanni	Grotta S. Michele Arcangelo	Crollo
21	Poggio Bustone	Poggio Bustone	Eremo di S. Francesco	Crollo
22	Grotti	Cittaducale	Santuario Madonna dei Balzi	Crollo
23	Varco Sabino	Varco Sabino	Grotta S. Michele Arcangelo	Crollo - 26

In evidenza c'è sempre il comune di Varco Sabino (N°23, Tabella 2.4) con la Grotta di S. Michele Arcangelo: Il Santuario rupestre è situato nella costa ovest del Monte Ettore, nei pressi dell'abitato, le cui pareti rocciose (calcari e calcari marnosi), sono continuamente soggette a crolli. Il Santuario è stato spesso oggetto di interventi di consolidamento e bonifica da parte del Genio Civile.

Come riportato da Marinelli R. et alii, su un totale di 23 casi riportati, il 56% riguarda centri abitati di elevato valore storico, il 22% singoli monumenti particolarmente importanti e il restante 22% altri siti rupestri.

Le frane più ricorrenti risultano ancora una volta le frane per crollo in roccia per il 56% dei casi, seguiti dagli scorrimenti in terra con il 34%.

Capitolo 3

Stato dei luoghi

Lo scopo di questo capitolo è quello di mostrare le indagini e i rilievi svolti dalle imprese successivamente all'evento più grave che ha colpito la zona oggetto di studio: il crollo di un masso di circa $0,3 \text{ m}^3$, che staccandosi dalla scarpata rocciosa prospiciente la strada è caduto sulla sede stradale colpendo un mezzo in transito con gravi conseguenze per uno degli occupanti.

L'Eurock, impresa di cui spesso si fa riferimento, ha condotto e realizzato la relazione geotecnica in seguito al rilievo di Colle Retagliola posto a monte della S.P. per Rocca Vittiana, nel tratto compreso tra la diga del Bacino del Salto ed il paese stesso.

Il Colle presenta pendii ripidi con incisioni vallive e balze rocciose, fino alla quota di 900 m s.l.m.; la dorsale è costituita da formazioni litoidi carbonati che di età miocenica stratificate, assume in alcuni tratti forme particolarmente aspre guidate dai molteplici elementi tettonici esistenti. La dorsale è sottoposta a erosione, dovuta all'attività degli agenti esogeni che ne scompaginano l'assetto originario ed agevolano l'instaurarsi di processi di franosità per crollo di massi litoidi.

Al fine di ottenere un quadro completo delle condizioni della pericolosità dei fenomeni di crollo, l'impresa ha svolto un rilievo di campagna per gli elementi strutturali (discontinuità) che ha permesso di caratterizzare dal punto di vista geomeccanico l'ammasso roccioso, la tipologia e volumetria dei massi presenti e fare delle considerazioni sulla possibile mobilitazione di quest'ultimi. Tutto ciò che concerne alla valutazione geotecnica dell'ammasso ha permesso di fornire lo sfondo con cui successivamente si è potuto valutare gli scenari di rischio nelle varie zone e di proporre i più adeguati interventi a protezione, che si tratteranno con maggior dettaglio nel prossimo capitolo ove si mostreranno inoltre il

programma di calcolo utilizzato per la progettazione, le opere di sistemazione strutturale e non, e la manutenzione proposta.

La stessa impresa Di Vincenzo Dino & C. S.p.A., come estratto dalla sua relazione geotecnica, descrive la realizzazione del suo studio geologico-strutturale effettuato eseguendo rilevamenti direttamente sugli ammassi rocciosi che caratterizzano il versante, avvalendosi di tecniche alpinistiche e dell'elicottero. Tale metodologia ha permesso il raggiungimento di zone normalmente inaccessibili e la possibilità di effettuare una documentazione fotografica da angoli visuali altrimenti impossibili. Segue nella relazione che la natura dei dissesti osservata è esclusivamente superficiale e legata alla fatturazione e tettonizzazione dell'ammasso roccioso che permette il distacco e la caduta di massi di varia volumetria. Dunque, l'impresa ha volto l'indagine principalmente con l'analisi strutturale di superficie degli affioramenti rocciosi al fine di valutare il grado di stabilità generale; in secondo luogo l'indagine stessa ha permesso di valutare statisticamente le caratteristiche fisiche dei volumi di roccia instabili.

Con maggior dettaglio verranno descritti i prossimi paragrafi per avere un inquadramento geotecnico completo, al fine di introdurre il prossimo capitolo e servire comunque da sfondo per quello che è emerso dai sopralluoghi svolti.

3.1 Elementi strutturali

Il primo passo dell'analisi geotecnica è il rilevamento degli elementi strutturali con l'analisi degli elementi tettonici, che permette di realizzare una discriminazione statistica dei vari tipi di sforzi che interessano gli ammassi e dello stile meccanico di risposta di questi ultimi; inoltre, le caratteristiche delle discontinuità, la loro orientazione nello spazio, la loro frequenza, le caratteristiche delle superfici, la loro relazione con l'orientazione della parete e l'energia del rilievo considerato, sono necessarie perché influiscono sulle caratteristiche di stabilità degli elementi isolati. Tale parametrizzazione delle superfici di discontinuità avviene rilevando gli elementi spaziali dell'orientazione (Direzione, Immersione, Inclinazione) insieme ad altri parametri fondamentali di maggior dettaglio (Spaziatura delle discontinuità, Apertura, Materiale di riempimento, Scabrosità), i quali agiscono sui parametri di attrito lungo i piani e quindi sulle possibilità di mobilitazione dei massi individuati.

In particolare il numero delle famiglie di giunti è uno dei parametri essenziali per la definizione dello stato di fatturazione di un ammasso roccioso.

Le rilevazioni dimensionali eseguite in sito, hanno come risultato la volumetria degli elementi dislocati; tale dimensione è ottenuta grazie all'orientazione dei piani nello spazio che hanno definito la forma eterometrica dei blocchi in cui è suddiviso l'ammasso roccioso.

L'impresa Eurock ha condotto il rilievo strutturale sulle pendici sovrastanti la S.P. di Rocca Vittiana, con le già citate quattro stazioni, omogeneamente distribuite lungo l'estensione della parete raccogliendo misure prevalentemente di discontinuità tettoniche; esse sono rappresentative dello stato globale.' possibile visionare a loro distribuzione nell'allegato di progetto "Carta Geologica" (Eurock) in Figura 3.1.

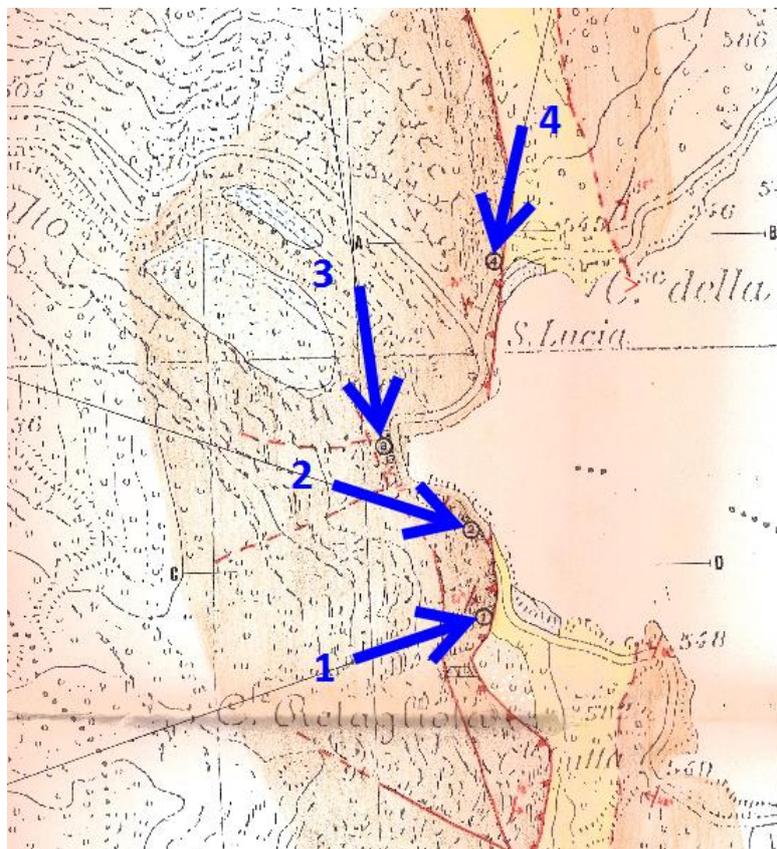


Figura 3.1 - Stralcio della Carta Geologica dell'area oggetto di studio. In particolare la distribuzione delle 4 stazioni di rilevamento.

L'impresa ha raccolto una notevole quantità di dati che ha reso necessaria l'utilizzazione di sistemi automatizzati per l'esecuzione dell'analisi statistico-strutturale, i cui elementi strutturali sono stati proiettati mediante l'uso di proiezioni equiareali ed in particolare il reticolo di Schmidt, già presente nella

relazione geologica. Con tale reticolo è stata ottenuta una distribuzione di punti chiamata “poli dei piani” (Figura 1.40); solo la successiva elaborazione numerica ha consentito di stabilire l’incidenza percentuale, rispetto all’area della sezione equatoriale di misura, dei poli dei piani, che vengono in seguito racchiusi in curve di isodensità polare. Il risultato di queste elaborazioni sono i diagrammi di isodensità polare riportati in Figura 3.2.

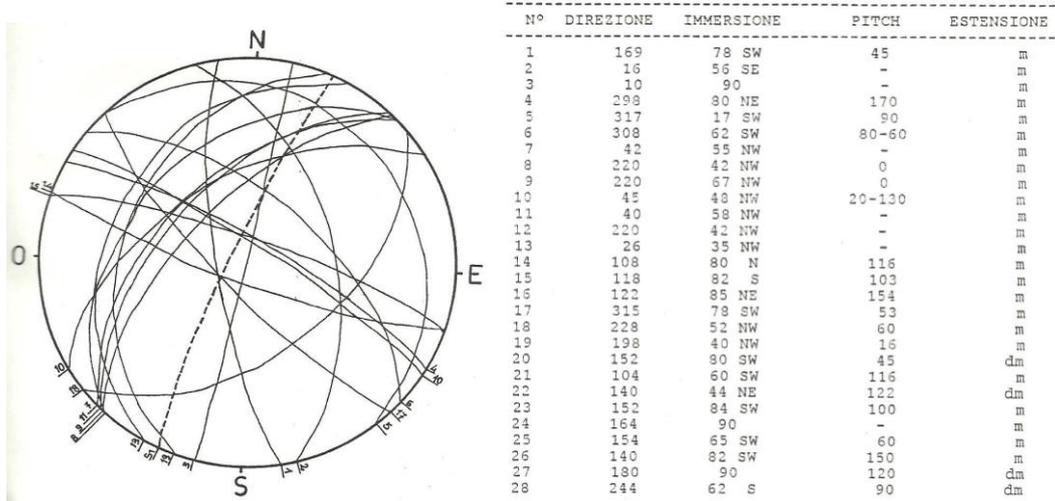


Figura 3.2a – Proiezione stereografica dei piani degli elementi strutturali misurati nella stazione n°1 (emisfero inferiore) posta lungo la S.P. Diga del Salto – Bivio Rocca Vittiana nei pressi delle cavità in vicinanza della cava.

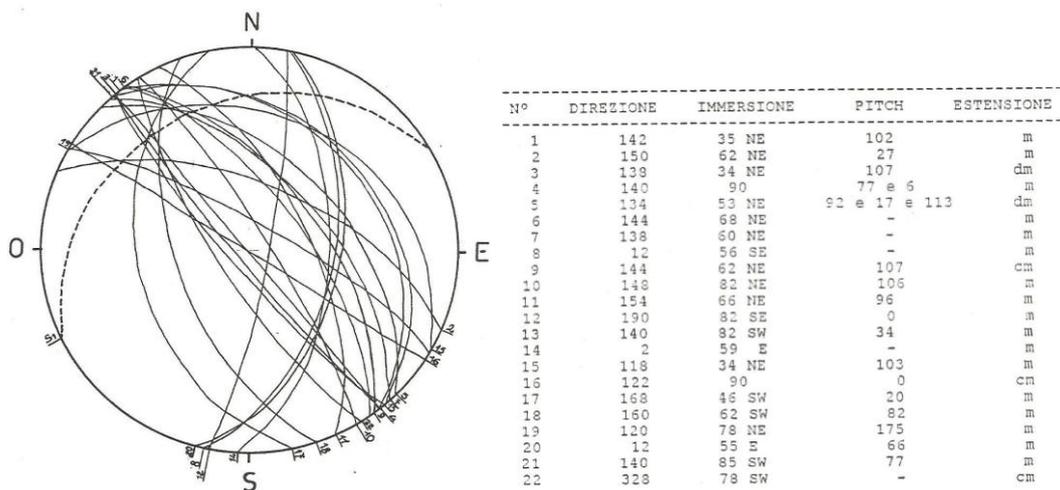


Figura 3.2b - Proiezione stereografica dei piani degli elementi strutturali misurati nella stazione n°2 (emisfero inferiore) posta lungo la S.P. Diga del Salto – Bivio Rocca Vittiana.

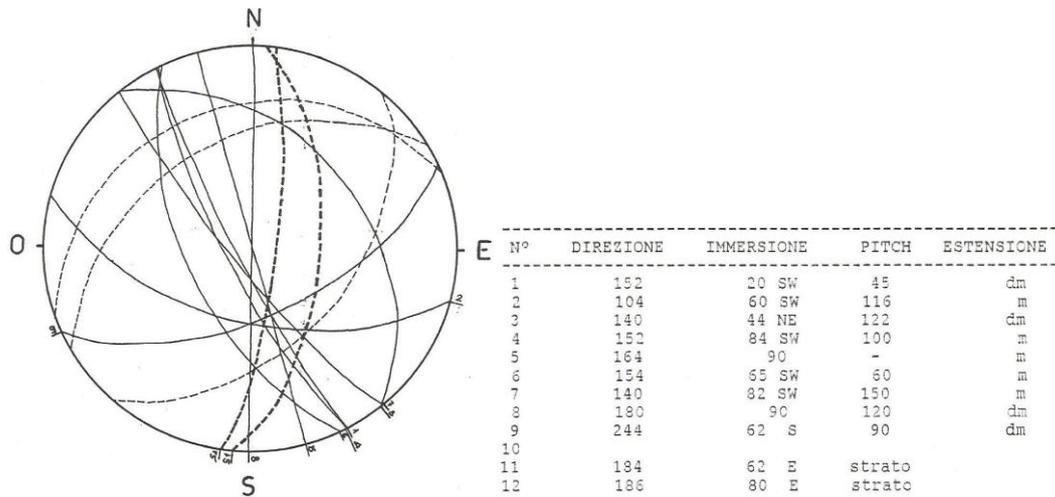


Figura 3.2c - Proiezione stereografica dei piani degli elementi strutturali misurati nella stazione n°3 (emisfero inferiore) posta in vicinanza della spalla sinistra della diga.

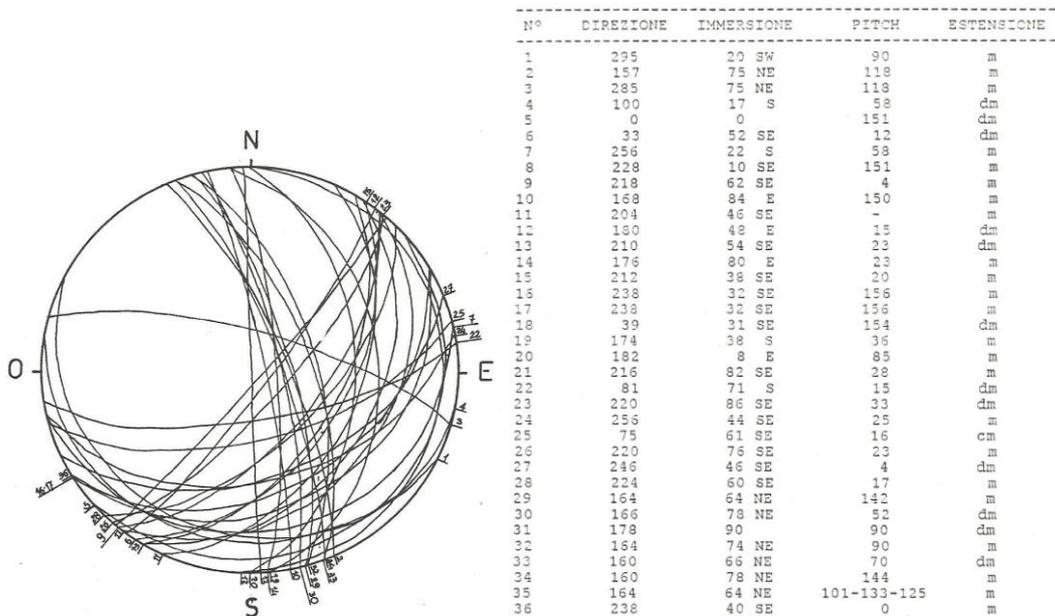


Figura 3.2d - Proiezione stereografica dei piani degli elementi strutturali misurati nella stazione n°4 (emisfero inferiore) posta in vicinanza della spalla destra della diga.

Per completare il quadro sulle distribuzioni delle discontinuità, è stato realizzato anche un Diagramma a rosetta della distribuzione delle densità delle discontinuità tettoniche rilevate nelle quattro stazioni, visualizzabile in Figura 3.3.

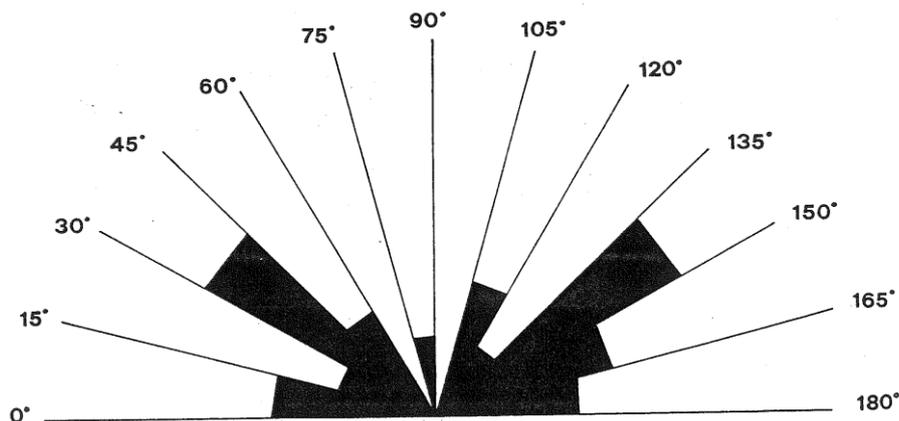


Figura 3.3 - Diagramma a rosetta della distribuzione delle densità delle discontinuità tettoniche rilevate nelle 4 stazioni.

3.2 Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Da quanto rivelato dall'analisi geomeccanica dell'ammasso roccioso, esso risulta composto da una struttura di blocchi di roccia separati da discontinuità; in altre parole da superfici a minore resistenza. Tali discontinuità (o giunti), sono piani di origine geologica (piani di stratificazione o fratture) che interrompono la continuità della roccia condizionando in modo determinante il comportamento meccanico dell'ammasso.

È proprio dall'analisi dei parametri caratteristici del giunto suddetti (apertura, scabrezza, riempimento, alterazione ecc.) che è possibile caratterizzare dal punto di vista meccanico l'ammasso roccioso. Dal lavoro svolto dall'impresa Eurock è risultato che le discontinuità analizzate presentano generalmente un'apertura compresa tra i 2,5 e 10 mm, per cui sono inseribili nella classificazione ISMES come giunti con apertura ampia, raramente riempite da materiale argilloso che presenta uno spessore minore di 5 mm.

Per quanto riguarda l'alterazione delle pareti del giunto è stato rilevato che tale alterazione risulta scarsa e solo nei casi in cui vi è percolazione di acqua, la roccia presenta una patina di alterazione che comunque non pregiudica il valore della resistenza meccanica.

Grazie ai profili di scabrezza di Barton (Figura 3.4), è stato possibile valutare la scabrezza delle superfici delle discontinuità: i profili più frequentemente rilevati sono del tipo 2, tipo 3 e tipo 4, a cui si possono attribuire valori del Joint Roughness Coefficient (JRC) pari rispettivamente a 3, 5, 7.

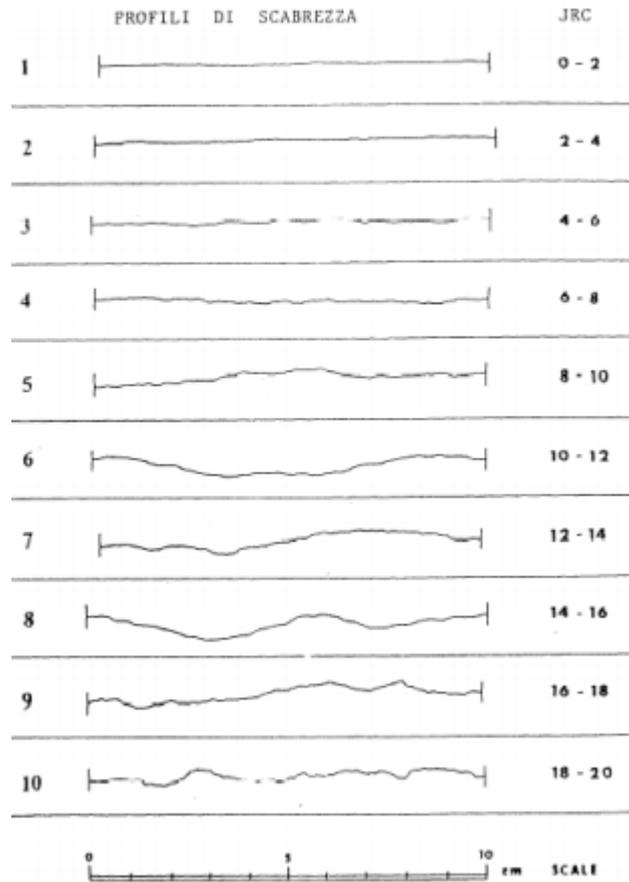


Figura 3.4 - Profili di scabrezza di Barton.

Per calcolare la resistenza del giunto è stato utilizzato un angolo di attrito base pari a:

$$\phi = 30^\circ$$

L'impresa ha fatto uso della Classificazione di Bieniawski (Indice RMR) per la valutazione qualitativa dei parametri fisici e meccanici della roccia; sono stati utilizzati i parametri già citati e i dati risultanti da prove effettuate in situ e in laboratorio su campioni di roccia aventi caratteristiche litologiche e geomeccaniche analoghe.

La classificazione adottata tiene conto di 5 parametri caratteristici, che sono:

1. Spaziatura dei giunti: è stato assunto un valore di spaziatura medio di 0,30 – 1,00 mm;

2. Condizioni dei giunti: è stata considerata una condizione dei giunti continui con superfici lisce o laminate di riempimento < 5 mm ed apertura compresa tra 1 – 5 mm;
3. Condizioni idrauliche: non è stata rilevata presenza di acqua;
4. Indice RQD: in considerazione all'elevato grado di fessurazione riscontrato è stato attribuito un valore di 26 – 50 %;
5. Resistenza a compressione uni assiale della roccia integra: è stato attribuito al calcare un valore pari a 1000 – 2000 kg/cm².

Grazie a questi parametri è stato ottenuto un indice RMR di 56; ottenuto tale valore, l'ammasso roccioso è considerato appartenente alla III Classe (50/70) e la classificazione di Bieniawski prevede le proprietà meccaniche e comportamentali consultabili in Figura 3.5.

Classe	V	IV	III	II	I
Qualità dell'ammasso	Molto scadente	Scadente	Discreta	Buona	Ottima
c (kg/cm ²)	< 1	1 ÷ 1,5	1,5 ÷ 2,0	2,0 ÷ 3,0	> 3
φ	< 30°	30° ÷ 35°	35° ÷ 40°	40° ÷ 45°	> 45°
Difficoltà di abbattimento della roccia	Nessuna difficoltà	Può essere cavato facilmente; frammenti minuti	Apprezzabili difficoltà	Si cava con difficoltà; frammenti di notevoli dimensioni	Notevoli difficoltà di abbattimento
T L (m)	10 minuti 0,5	5 ore 1,5	1 settimana 2	6 mesi 4	10 anni 5

Figura 3.5 - Classificazione degli ammassi rocciosi secondo Bieniawski.

Localmente, per lo stato fessurativo eterogeneo dell'area in oggetto, l'Eurock ritiene che la qualità dell'ammasso roccioso possa essere più scadente per cui, in base alla classificazione suddetta, si ritiene che l'ammasso ricada nella classe IV a cui vengono attribuiti parametri lievemente inferiori.

Parallelamente ai lavori svolti dall'impresa Eurock; la Di Vincenzo Dino & S.p.A. ha condotto la Classificazione dell'ammasso roccioso sia secondo Bieniawski, sia secondo Barton. Quest'ultimo prevede la valutazione dell'indice Q, i cui risultati sono stati di: Q = 3,70 per le pareti direttamente sovrastanti il piano stradale della S.P. (roccia scadente) e Q = 7,54 per l'affioramento roccioso sovrastante la Diga del Salto (roccia mediocre).

Tramite i valori ottenuti dell'indice Q, è possibile classificare l'ammasso roccioso grazie alla tabella mostrata in Figura 3.6.

Q	Classe	Descrizione
0,001 - 0,01	IX	Eccezionalmente scadente
0,01 - 0,1	VIII	Estremamente scadente
0,1 - 1	VII	Molto scadente
1 - 4	VI	Scadente
4 - 10	V	Mediocre
10 - 40	IV	Buona
40 - 100	III	Molto buona
100 - 400	II	Estremamente buona
400 - 1000	I	Ottima

Figura 3.6 - Classificazione degli ammassi rocciosi secondo Barton.

3.2.1 Tipologia e volumetria dei massi

Il susseguirsi degli intensi stress tettonici già citati ha causato la ormai nota presenza di discontinuità tettoniche che interessano l'ammasso roccioso, determinando talvolta l'isolarsi di blocchi e/o cunei la cui forma è legata alla direzione delle famiglie di discontinuità presenti ed il cui volume dipende dalla spaziatura delle stesse. Nel corso del rilevamento condotto dall'impresa è emerso che i massi presenti possono avere tipologie diverse, per cui possono venire adottate tre tipologie base che descrivono sia il meccanismo genetico sia la forma geometrica del masso, nonché il probabile meccanismo di mobilitazione. Sono state identificate due fratture che si intersecano con un angolo minore di 180°, delimitate superiormente e frontalmente da altri due piani: esse possono determinare il formarsi di un cuneo (spesso caratterizzato da una ulteriore frattura posteriore, di trazione), mentre se si rinviene una sola frattura e questa è subparallela al fronte, il masso che può isolarsi è un Diedro.

È stato definito inoltre come "Blocco Isolato Poggiate" (BIP) la forma a prima o parallelepipedo poggiate alle base, di un masso rinvenuto nel caso siano presenti fratture più o meno verticali che si intersecano con discontinuità suborizzontali e/o poco inclinate.

3.3 Verifiche di stabilità

Il punto di arrivo dello studio geotecnico è senza dubbio la verifica di stabilità: sulla base dei dati illustrati nei paragrafi precedenti e delle considerazioni desunte dalla relazione Geologica fornita, è stato possibile consultare ed estrapolare il lavoro svolto dalle imprese operanti dalle relazioni geotecniche realizzate. Il calcolo dei fattori di sicurezza è un risultato imprescindibile per conseguire una stima della stabilità di cunei tetraedrici formati dall'intersezione di due discontinuità principali. A monte di tali calcoli c'è il metodo dell'equilibrio limite; l'applicazione di tale metodo richiede la scelta a priori (o la ricerca per tentativi) di una superficie di potenziale rottura, che, per gli ammassi rocciosi, corrisponde in genere ad una o più superfici di discontinuità. Le condizioni di stabilità del pendio vengono definite da un coefficiente di sicurezza (F_s) espresso dal rapporto tra la resistenza a taglio (T_r) disponibile lungo la superficie (A) di potenziale rottura e la sollecitazione agente (T). Nella situazione più generale il coefficiente F_s è espresso dalla seguente relazione:

$$F_s = T_r / T$$

Le condizioni di equilibrio limite vengono raggiunte quando la resistenza viene ridotta da un fattore pari al coefficiente di sicurezza.

Ognuna delle 4 imprese ha conseguito la verifica secondo il mezzo che riteneva più utile, ad esempio la Di Vincenzo Dino & C. S.p.A. in questa parte del lavoro, ha utilizzato manualmente i dati ottenuti dalle ricerche precedenti: partendo dai dati ottenuti nella prima fase del lavoro (costruzione dei reticoli stereografici), sono state eseguite le verifiche di stabilità attraverso la formula del fattore di sicurezza, calcolata e confrontata con il fattore di sicurezza limite secondo i termini di legge. Le verifiche sono state condotte su alcuni massi "tipo" scelti come rappresentativi della situazione generale

L'Eurock, invece, ha condotto la verifica di stabilità (in condizioni piane e in condizioni tridimensionali) utilizzando il programma di calcolo "CUNEO" strutturato in base alla teoria dell'equilibrio limite suddetta, per il calcolo dei fattori di sicurezza.

Come dati di INPUT da inserire nel programma, ci sono:

- Direzione e immersione dei piani strutturali;
- Orientazione del fronte della pendice presa in esame;

- Altezza (H_1) del tetraedro considerato desunta dalle stime effettuate in parete;
- Spaziatura media (H_L) presente in parete desunta all'analisi statistico – strutturale eseguita sull'affioramento;
- Peso specifico dell'acqua (γ_w) (dato considerato che prevede la presenza di acqua lungo i piani di frattura durante i periodi piovosi);
- Peso di volume della roccia (γ_s);
- Angolo di attrito sui piani considerati;
- Coesione (dato considerato nullo);
- Coefficiente di accelerazione sismica (tenuto conto in base alle norme vigenti).

In OUTPUT, da quanto riporta la relazione geotecnica, si sono ottenute:

- Le intersezioni delle superfici di discontinuità che individuano la morfologia degli elementi rocciosi in possibile movimento e le direttrici individuate dalle superfici di separazione;
- Le dimensioni ed il peso del cuneo che viene a formarsi;
- La pressione media dell'acqua;
- Il fattore di sicurezza (F_s).

Segue nell'elaborato Eurock che il valore di 1,30 è stato assunto come riferimento per confrontare i valori di F_s ottenuti in Output.

Il paragrafo precedente ha mostrato le varie tipologie dei massi che posso venire a formarsi; a tal proposito particolare attenzione si presta ai blocchi BIP (blocchi isolati poggianti), la cui volumetria è stata dedotta anch'essa dalle peculiarità delle discontinuità misurate in parete ed è stata effettuata la verifica a scivolamento sul piano inclinato inferiore con il programma CUNEO.

In questo caso i dati di INPUT del programma sono:

- Geometria del blocco (distanze ed inclinazioni dei piani frontale, superiore, retrostante ed inferiore);
- Peso specifico di acqua e roccia;
- JRC e JCS;
- Coesione;
- Coefficiente sismico.

E in OUTPUT:

- Le spinte idrostatiche sui due piani di scivolamento;
- Il valore del fattore di sicurezza (F_s) in condizioni pseudostatiche.

Per svolgere le verifiche di stabilità sono stati utilizzati 6 massi "tipo" per la valutazione del fattore di sicurezza di pendii in roccia in condizioni piane (Figura 3.7) e 4 massi "tipo" per le valutazioni in condizioni tridimensionali.

- MASSO TIPO N° 1

```

=====
=          PARAMETRI GEOMETRICI          =
=====

H altezza (m) 5,7
Z altezza frattura posteriore (m) 3,5
Zw altezza acqua (m) ,0
b distanza fronte-frattura posteriore (m) ,6
l larghezza (m) 3,0
φf inclinazione piano frontale (gradi) 85
φp inclinazione piano di scivolamento (gradi) 70
φs inclinazione piano superiore (gradi) 0
φr inclinazione piano retrostante (gradi) 85

=====
=          PARAMETRI DI CALCOLO          =
=====

Gw peso volume acqua (KN/mc) 10,0
Gr peso volume roccia (KN/mc) 24,0
V volume (mc) 8,8
W peso (KN) 211,2
A area piano di scivolamento (mq) 6,9
φ angolo di attrito piano di sciv. (gradi) 44
φb angolo di attrito di base roccia (gradi) 30
JRC coefficiente rugosità piano sciv. 4
JCS resistenza a compressione asperità (Kn/mq) 120000
c coesione (Kn/mq) ,0
U spinta idrostatica sul piano di scivolamento (KN) ,0
V spinta idrostatica sulla frattura posteriore (KN) ,0
k coefficiente sismico ,07

```

FATTORE DI SICUREZZA .28

Figura 3.7 - Valutazione del Fattore di Sicurezza di pendii in roccia in condizioni piane con il metodo dell'equilibrio limite ricavato dal programma CUNEO: Scheda di Output del masso tipo n°1.

Capitolo 4

Il rischio e gli interventi

4.1 La valutazione del rischio

Le valutazioni del rischio effettuate in passato, hanno rilevato una zona ad alto rischio per la caduta di blocchi litoidi delle più svariate volumetrie ed energie, in cui non a caso sono stati realizzati interventi globali, di grossa portata ed onerosi su tutto il fronte roccioso.

La medesima valutazione servì per proporre delle opere di sistemazione dei versanti atte ad abbattere considerevolmente la soglia di rischio passata e futura, permettendo la normale fruizione della sede stradale.

Sono stati svolti studi sulla franosità dell'area, individuazione tramite base statistica delle forme più ricorrenti che caratterizzano i massi nei vari punti della parete e prove su modelli cinematici che hanno portato concordemente alla conclusione che la via di comunicazione è sottoposta ad un grado elevato di rischio per frane di crollo.

Da quanto estratto dagli elaborati delle imprese partecipanti all'appalto, è emerso che le informazioni sulla pericolosità dei versanti rocciosi che incombono sulla Strada Provinciale, sono ricavate soprattutto dall'analisi strutturale che fornisce le prime quantificazioni del problema. Da tale analisi emerge che le zone più vicine alla sede stradale (pareti ad essa sovrastanti ed affioramenti nei pressi della

diga) sono quelle più pericolose per la pubblica incolumità in quanto si tratta di affioramenti rocciosi di grande dimensioni e particolarmente instabili. Al tal proposito si evidenzia più volte nelle relazioni tecniche delle imprese, che la pericolosità del sito è legata al fatto che il piede delle pareti, in pratica, coincide con i bordi della sede stradale (Figura 4.1).



Figura 4.1 - Tratto della S.P. Diga Salto – Bivio Rocca Vittiana dalla progressiva 0.000 m.

Sulle pareti direttamente sovrastanti la strada, sono stati individuati numerosissimi massi in condizioni di equilibrio precario e di volumetria variabile fra $0,2 - 0,5 \text{ m}^3$ e $2 - 3 \text{ m}^3$ sull'affioramento sovrastante la diga.

Gli altri ammassi rocciosi presenti lungo il pendio, come la parte superiore del versante, non sono ritenuti oggetto di fenomeni di grande instabilità diffusa, ma meritano di essere presi in considerazione nello studio delle opere di bonifica del versante poiché su questi sono presenti alcune situazioni particolari che verranno descritte successivamente.

L'Eurock ha redatto una carta derivante da queste analisi grazie a delle ortofoto realizzate nell'area oggetto di studio (Figura 4.2): la "Carta delle Aree a Rischio", nella quale sono evidenziate zone a diverso grado di fatturazione e di energia di rilievo (Figura 4.3).



Figura 4.2 - Area di interesse delle ortofoto svolte per la redazione della "Carta delle Aree a Rischio".

(Relazione Geotecnica, Eurock)

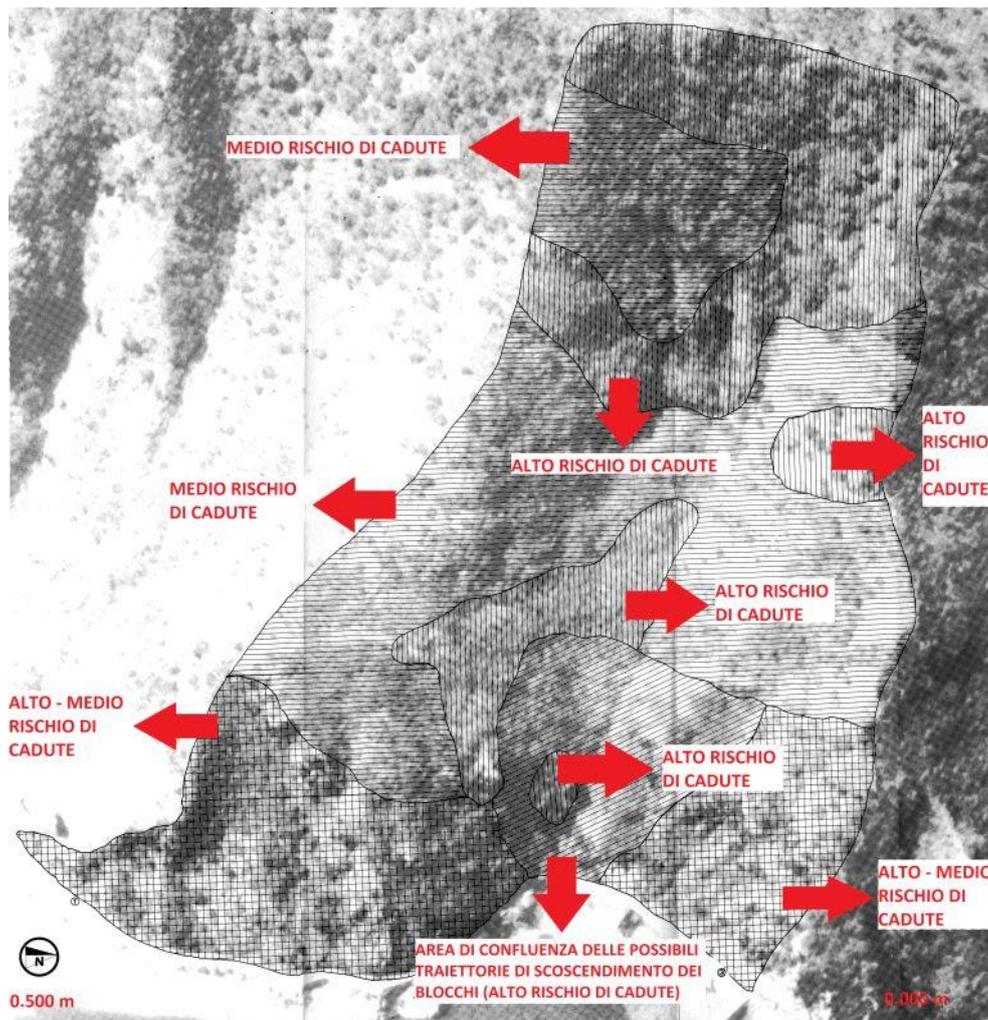


Figura 4.3 - Carta della pericolosità qualitativa, scala 1:1000. (Eurock)

Nella Carta della pericolosità (qualitativa) si è voluto evidenziare le zone a diverso grado di fatturazione e di energia di rilievo; in particolare si intende per:

- Alto rischio di cadute: Un'area ad elevata presenza di fratture, in condizioni di energia di rilievo alta;
- Alto – Medio rischio di cadute: Un'area ad elevata presenza di fratture, in condizioni di energia di rilievo media;
- Medio rischio di cadute: Un'area a media presenza di fratture, in condizioni di energia di rilievo alta.

Eccezione fatta per l'area rilevata come: "Area di confluenza delle possibili traiettorie di scoscendimento dei blocchi"; in questa zona, come si vede in Figura 4.4, si concentra la traiettoria più comune dei blocchi in caduta libera.

Non a caso, nei pressi del sottostante tratto di S.P. di tale porzione di area a monte, si è verificato l'evento franoso che ha causato una vittima.



Figura 4.4 - Area di confluenza delle possibili traiettorie di scoscendimento dei blocchi.

Le considerazioni effettuate finora ed in particolare nel capitolo 3, portano a ritenere che alcuni affioramenti rocciosi presenti lungo il versante, siano in condizioni di stabilità precaria.

La disposizione dei sistemi di fratturazione tende a suddividere la massa rocciosa in blocchi con volume variabile. Molti dei blocchi che sono stati osservati

dagli studi condotti dalle imprese, risultano essere semplicemente appoggiati alla superficie sottostante e alcuni di essi hanno subito anche degli scorrimenti: In questi casi la resistenza offerta allo scivolamento fa affidamento su un valore dell'angolo di attrito "residuo", essendo già stata utilizzata la resistenza di "picco". Per quanto riguarda i giunti, in caso di sforzo agente essi non sono più in grado di opporre resistenza allo scorrimento; tali casi di equilibrio limite sono risultati essere molto diffusi lungo il versante principalmente sugli affioramenti posti al di sopra della Diga del Salto e sulle pareti direttamente sovrastanti il piano stradale, per via anche delle sollecitazioni impartite alla roccia durante gli sbancamenti effettuati con l'esplosivo.

In conclusione, la stabilità limite può essere perduta repentinamente per via delle diverse forze agenti (accumulo di materiale detritico nei giunti, radici e cicli di gelo-disgelo) in concomitanza di eventi sismici e meteorici particolarmente intensi che hanno un effetto scatenante.

4.1.1 Analisi dei possibili crolli

I rapporti rilasciati all'Amministrazione di Rieti, evidenziavano spesso e definitivamente il fatto che la probabilità del verificarsi di una grande frana fosse del tutto da escludere. Ciò è confortante, vista anche la posizione del versante franoso per via della stretta vicinanza al bacino del Salto nonché alla omonima diga.

La struttura si presenta a franapoggio con angolo di immersione maggiore dell'inclinazione dei versanti. Osservando l'assetto strutturale dell'area si individuano diversi sistemi di fatturazione che isolano blocchi rocciosi di dimensioni diverse che risultano essere suscettibili a potenziali frane di crollo. Sono invece assenti grandi ed estese superfici di discontinuità che possano consentire anche nel caso di sisma di grado elevato, il crollo o lo scivolamento di estese porzioni di versante. Nella situazione specifica di questo studio sono da considerare in pericolo la viabilità e chi si trovi a transitare lungo la strada a valle del versante.

Scendendo ad un maggiore livello di dettaglio, l'Eurock ha deciso di procedere alla valutazione del rischio suddividendo la zona interessata in diciassette aree di intervento, ciascuna delle quali è ritenuta omogenea o riguardo alla natura dei

massi instabili, o riguardo alla natura delle attività esposte. Da questo studio si è concluso che, per la zona a monte della strada, come altrove, è necessario garantire un accettabile livello di sicurezza per coerenza con quanto espressamente richiesto dall'amministrazione Provinciale di Rieti nella definizione di richiedere alle imprese partecipanti all'appalto-concorso, la bonifica ed il consolidamento della zona di monte.

Di crolli ordinariamente prevedibili sono stati riscontrati crolli di blocchi inferiori al mezzo metro cubo; pertanto, come crollo di progetto, l'Eurock ha assunto un crollo non minore di questo ordine di grandezza ($0,5 \text{ m}^3$). Tale valutazione deriva dal fatto che i massi di dimensioni maggiori che si distaccano dalle quote superiori hanno un'elevata probabilità di frantumarsi durante i rimbalzi ripetuti (stante la spaziatura dei giunti relativamente ridotta) e quindi di giungere sulla strada con elementi di minor entità ed energia.

4.2 Valutazione delle traiettorie e delle energie di scendimento di volumi rocciosi

La valutazione del rischio e l'analisi dei crolli possibili con le relative conclusioni; non sono altro che lo sfondo necessario per procedere alla realizzazione di opportune opere di mitigazione del rischio. Ma ciò che fa da ponte alla giusta progettazione e utilizzo di tali sistemazioni, sono senz'altro le considerazioni energetiche che permettono di prevedere il probabile comportamento dinamico e cinematico del masso e di eventuali opere di protezione.

Prima di mostrare gli interventi costruttivi realizzati nell'area oggetto di studio, si vuole fornire una breve descrizione del programma di calcolo denominato "STONE", utilizzato in passato dalle imprese per la simulazione dinamica di sistemi meccanici.

Tale programma è in grado, partendo da informazioni topografiche e geomorfologiche disponibili a scala di bacino e utilizzando un modello di simulazione tridimensionale delle traiettorie di caduta massi, di valutare le aree di invasione e produrre carte tematiche utili alla definizione della pericolosità e del rischio alla stessa scala. Si sottolinea però che il programma STONE è limitato dall'assenza di un modello meccanico che consenta di valutare la possibilità di distacco di volumi rocciosi dalle pareti; essendo basato su dati derivabili dalla

base topografica, esso non è in grado di tenere conto delle condizioni strutturali del versante e riserva le valutazioni probabilistiche alla fase di evoluzione del fenomeno di caduta. Nel suo schema generale il programma di calcolo fa uso dei modelli classici della dinamica dei sistemi sotto le ipotesi di: massa sferica; attrito con l'aria trascurabile; attrito al rotolamento costante per ogni tratto; assenza di strisciamento; coefficiente di restituzione dell'energia all'urto dipendente dall'angolo di incidenza; urto imperfettamente anelastico.

I risultati che offre tale programma sono riguardo alla posizione, velocità ed energia cinetica; essi vengono riportati per via numerica nel tabulato di uscita e sono riportati graficamente (profilo del pendio, eventuali barriere, traiettoria del masso con evidenziati i punti di impatto).

Il programma, tenendo conto delle condizioni fisiche, geometriche e cinematiche del masso e del pendio, decide in quale dei quattro stati cinematici possibili si trovi il masso.

La casistica degli stati cinematici è la seguente:

1. Fase di rotolamento: il masso è considerato a contatto con il pendio con l'ipotesi di assenza di strisciamento; si tiene conto dell'energia e dell'attrito del terreno;
2. Fase di caduta libera (volo): non c'è contatto tra pendio e masso che segue una traiettoria di volo balistica;
3. Fase di urto: si ha nel caso di vettore velocità del masso incidente al pendio con conseguente rimbalzo;
4. Fase di arresto: annullamento della velocità e dell'energia del masso.

Grazie a questo programma è possibile simulare la presenza lungo il pendio di una o più barriere paramassi di qualsivoglia tipo. In tal caso il programma confronta l'aliquota di energia del masso al momento dell'urto e quella massima tollerabile dalla barriera paramassi. Nel caso che quest'ultima sia minore, cioè nel caso di sfondamento della barriera, il programma continua la verifica per permettere così il collaudo di ulteriori protezioni.

Da quest'ultima considerazione si capisce il motivo del suo utilizzo, che risulta imprescindibile per una corretta progettazione e sistemazione delle opere di difesa. La Di Vincenzo Dino & C. S.p.A. riporta nella sua relazione generale tutti i dati che ha raccolto e utilizzato nel programma, rilevando 9 sezioni significative nelle zone di versante a più alto rischio secondo quelle che sono le più probabili direttrici di caduta.

L'impresa ha utilizzato un masso di progetto di 1 m^3 e un terreno di tipo: "Substrato roccioso alterato e detrito di falda" ($\Phi = 30^\circ$, $\mu = 15\%$). Inoltre nelle

verifiche di scendimento di volumi rocciosi, per ognuna delle sezioni di progetto non si è tenuto conto dell'eventuale rallentamento determinato dalla presenza della vegetazione, in quanto l'impresa ritiene che, tale fattore, possa essere vanificato ad esempio da un incendio.

Gli output dell'elaboratore estratti dalla relazione generale delle 9 sezioni sono riportati in Tabella 4.1, in cui per "metri equivalenti" si intende l'energia assunta da un masso di un metro cubo di volume e con un peso di 2,4 t, che cade da un'altezza corrispondente.

Tabella 4.1 - Output del programma di calcolo STONE per verifiche di scendimento. (Relazione Generale, Di Vincenzo Dino & C. S.p.A.)

Sezione	Progressiva chilometrica (m)	Sommità sezione (m s.l.m.)	Base sezione (piano stradale, m s.l.m.)	Dislivello (m)	Stati cinematici	Velocità di impatto alla base (m/s)	Energia di impatto alla base (metri equivalenti)
1	0,460	460	400	60	Rotolamento, Volo, Urto, Arresto	19,51	19,40
2	0,425	472	400	72	Volo, Urto, Arresto	25,10	32,30
3	0,410	520	400	120	Rotolamento, Volo, Urto, Arresto	22,74	26,30
4	0,340	508	400	108	Urto, Volo, Rotolamento, Arresto	24,42	30,40
5	0,220	480	400	80	Rotolamento, Urto, Volo, Arresto	26,73	36,40
6	0,200	710	400	310	Rotolamento, volo, Arresto	32,80	55,00
7	0,180	560	400	160	Rotolamento, Volo, Urto, Arresto (nel Lago del Salto)	25,40	32,50
8	0,135	500	400	100	Urto, Volo, Arresto	28,86	42,40
9	0,095	460	400	60	Volo, Arresto	32,34	53,30

4.2.1 Posizionamento barriere paramassi

In seguito alle verifiche di scendimento effettuate con il programma STONE, è stata effettuata una seconda verifica posizionando lungo i pendii più ordini di barriere paramassi elastiche al fine di arrestare tutti i massi prima della sede stradale. Nelle verifiche di scendimento, alle barriere è stata attribuita una capacità di assorbimento di energia pari a: 180000 kg/m (70 metri equivalenti); tale capacità di assorbimento è stata scelta inferiore a quella reale in modo da tenere prudenzialmente conto di condizioni peggiori di quelle verificate in quanto le sezioni raccolte sono esemplificative della sola situazione generale.

Nella Tabella 4.2, sono riportati i valori ottenuti dalle verifiche effettuate alle 9 sezioni con ordini di barriere paramassi elastiche posizionate lungo il pendio.

Tabella 4.2 - Output del programma di calcolo STONE per verifiche di scendimento con ordini di barriere paramassi elastiche. (Relazione Generale, Di Vincenzo Dino & C. S.p.A.)

Sezione	Ordini barriere	Quota barriere (m s.l.m.)	Quota inizio caduta masso (m s.l.m.)	Energia di impatto sulla barriera (metri equivalenti)
1	1	420	460	11,90
2	1	418	472	14,30
3	1	418	520	24,40
4	1	416	508	19,10
5	1	426	480	10,40
6	2	1) 460	1) 710	1) 44,10
		2) 406	2) 460	2) 6,40
7	2	1) 460	1) 560	1) 14,20
		2) 430	2) 458	2) 4,20
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-

Come si vede nella Tabella 4.2, per le sezioni 8 e 9 non è stato ritenuto necessario procedere alla verifica di eventuali ordini di barriere paramassi posizionate lungo tali sezioni perché non consentono una sicura intercettazione dei massi in caduta. Tale decisione deriva dal fatto che, in seguito alle verifiche di scendimento riportate in Tabella 4.1 e, consultando le relative traiettorie, esse sono costituite quasi completamente da lunghe fasi di volo, per cui non è stato ritenuto necessario procedere alla verifica.

4.4 Interventi

A seguito degli studi svolti per ricercare la soluzione migliore al consolidamento dell'area oggetto di studio, si è giunti alla conclusione che la scelta più adeguata è data da una serie di interventi che si integrano a vicenda, aventi come obiettivo prioritario, oltre che alla perfetta realizzazione dell'opera, la velocità d'esecuzione e il massimo rispetto dell'ambiente. Le possibili soluzioni tecniche per la sistemazione dell'area sono state studiate in base alle condizioni morfologiche, di stabilità e alle verifiche di scendimento descritte nel paragrafo precedente.

Il completo inquadramento delle opere di sistemazione dei versanti, descritto all'inizio di questa tesi di laurea triennale, ha permesso di svolgere una consultazione più sciolta e attenta del materiale tecnico in materia di interventi proposti e messi in opera.

Dunque, dalle indagini effettuate in passato, è stato possibile scegliere le soluzioni tecniche da adottare (e tutt'ora presenti), le quali risultano elencate zona per zona:

- Pareti rocciose direttamente sovrastanti il piano stradale: serie di pareti subverticali di modesta altezza (intorno ai 10 – 15 m), causate dallo sbancamento operato per la costruzione della strada per cui si presentano tettonizzate e fratturate. Sono stati riscontrati in questa zona numerosi volumi rocciosi di piccole dimensioni che sono in equilibrio limite. Per questa area è stato previsto il rivestimento completo con rete metallica in aderenza semplice che si è ritenuta sufficiente per garantire la completa protezione della sede stradale (Figura 4.5).



Figura 4.5 - Pareti rocciose direttamente sovrastanti il piano stradale rivestite completamente con rete metallica in aderenza semplice.

Immediatamente al di sopra delle pareti è stata prevista la realizzazione di un ordine di barriere paramassi per intercettare tutti i massi che potrebbero distaccarsi dagli affioramenti rocciosi superiori (Figura 4.6)



Figura 4.6 - Ordine di barriere paramassi in uno dei tratti direttamente sovrastanti gli sbancamenti ubicati a ridosso della strada.

Inoltre in questa zona è stata eseguita la chiodatura di alcuni massi instabili di grosse dimensioni;

- Affioramento roccioso sovrastante la Diga del Salto: Affioramento roccioso collocato nella progressiva 0.000 m che, nella parte prospiciente la strada si presenta come una parete di forma triangolare di notevoli dimensioni, la cui quota più elevata raggiunge 500 m s.l.m. (Figura 4.7).



Figura 4.7 - Affioramento roccioso sovrastante la Diga del Salto.

Le pareti rocciose direttamente a picco sulla sede stradale sono state rivestite con rete metallica semplice e armata con cavi di acciaio; inoltre è stato necessario l'esecuzione di alcuni interventi di consolidamento in parete mediante ancoraggi attivi e passivi (Figura 4.8).

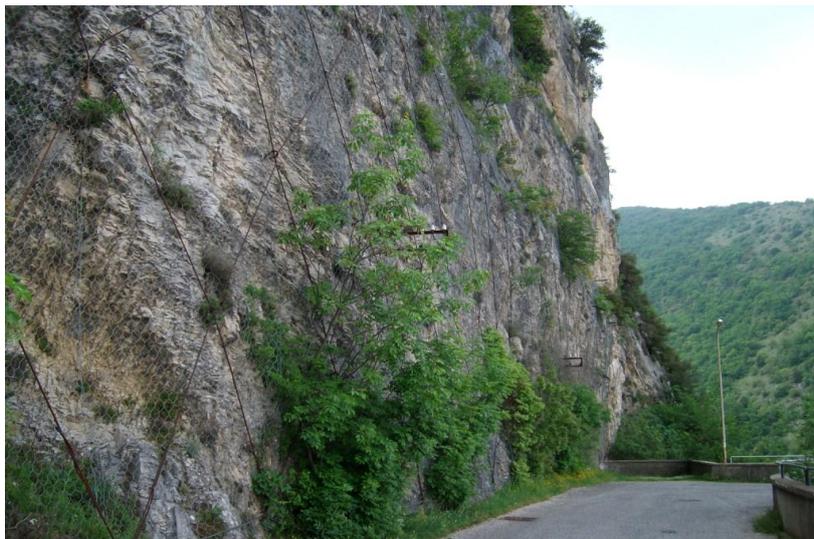


Figura 4.8 - Affioramento sovrastante la Diga nel Salto rivestito con rete metallica semplice e armata con cavi di acciaio.

Tale zona è incisa ai lati da canali stretti ed incassati; all'interno di essi e alla base di alcune pareti sono stati disposti uno o più ordini di barriere paramassi come ipotizzato nel calcolo di verifica effettuato.

Un canale particolarmente incassato è stato protetto mediante la realizzazione di una briglia paramassi;

- Guglie e piccoli ammassi isolati: zona direttamente sovrastante gli sbancamenti situati a ridosso della strada, caratterizzata da un esteso pendio che, nella parte alta, presenta pendenze di 40 – 45°, mentre verso il basso la pendenza aumenta fino a circa 55°. Qui si possono intravedere ampi canali e, a quote e in posizioni diverse del versante, una serie di affioramenti rocciosi di modeste dimensioni ed isolati gli uni dagli altri (Figura 4.9).

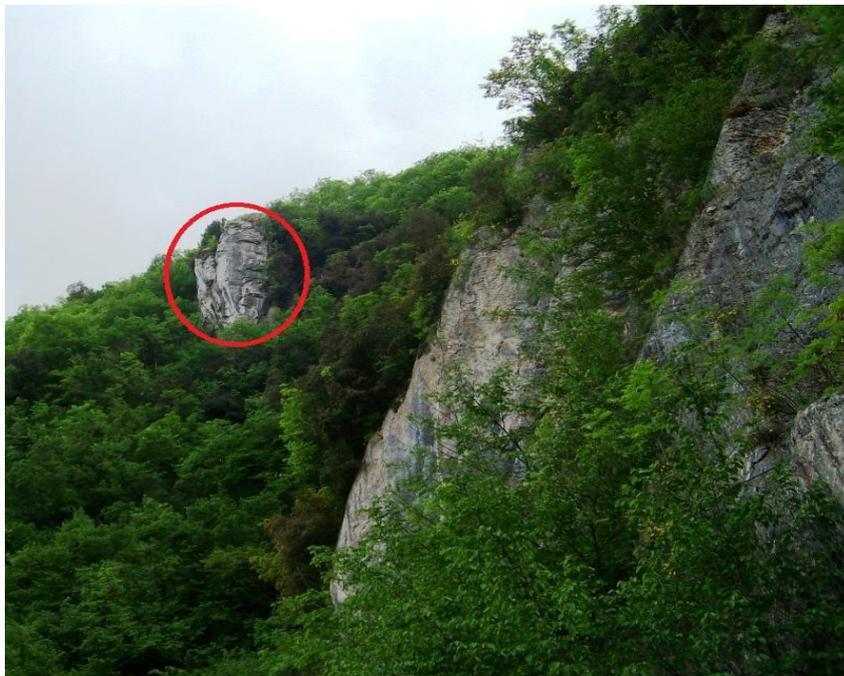


Figura 4.9 - Zona direttamente sovrastante gli sbancamenti della strada, caratterizzata da alte pendenze nella parte alta e da qualche affioramento roccioso isolato (cerchiato in rosso).

Data la favorevole morfologia del sito è stato possibile ubicare più ordini di barriere paramassi, il cui posizionamento preciso è stato verificato mediante l'uso del programma STONE. E' stato effettuato inoltre il disgaggio di massi di piccole dimensioni per consentire la ripulitura della parete da volumi rocciosi pericolanti e successivamente, sono stati effettuati interventi locali di ancoraggio passivo su massi particolarmente instabili e in posizioni tali da non poter essere intercettati dalle barriere;

- Pendii superiori: zona che parte dai confini superiori delle due precedenti e raggiunge la sommità del Colle Retagliola a monte della S.P., costituita da un lungo pendio detritico ricoperto uniformemente da vegetazione costituita da un rado bosco ceduo e da arbusti spontanei in cui a tratti, affiora il substrato roccioso. Tali affioramenti, a cause delle loro caratteristiche morfologiche e giaciture, non destano particolari preoccupazioni per quanto riguarda la loro stabilità. Eventuali massi che potrebbero distaccarsi da questi affioramenti, sarebbero convogliati in due canali protetti da più ordini di barriere paramassi;
- Versanti a SE e SW: zona di versante più meridionale che insiste sulla sede stradale oltre la progressiva 0.500 m. Le valutazioni scaturite dall'analisi morfologica e geostrutturale, non hanno ritenuto necessario realizzare alcun intervento di protezione in quanto eventuali massi che si dovessero distaccare non raggiungerebbero la sede stradale.

I tratti di pendio disboscati per permettere la realizzazione di barriere paramassi elastiche, sono stati sottoposti ad un trattamento di semina di specie vegetali erbacee ed arbustive indigene tramite la tecnica dell'idrosemina, descritta in introduzione, per favorirne l'inserimento ambientale.

Capitolo 5

Stato dei luoghi al 2013

Lo scopo di questo capitolo è di mostrare lo stato attuale dei luoghi a distanza di 23 anni dall'accaduto. L'area oggetto di studio, segnata dagli intensi stress tettonici che hanno interessato tutto il Cicolano nel corso delle ere geologiche, ha visto il suo territorio cambiare ed adattarsi alle grandi bonifiche e alla realizzazione del bacino artificiale del Salto, fino ad arrivare alle conseguenze, ovvero: frane per crollo e una vittima.

Senza di questo tragico "arrivo", non si è potuto giungere ad un nuovo punto di partenza: un appalto – concorso che ha permesso di consolidare e bonificare la zona a monte della S.P. Diga Salto – Bivio Rocca Vittiana nonché del sottostante tratto di S.P., dichiarata per l'appunto, come descritto nel capitolo precedente: zona ad alto rischio di frana.

Tutte le opere dell'ingegneria civile, sono caratterizzate da un ciclo di vita di durata variabile in funzione ai diversi parametri impostati in fase di progettazione e delle condizioni di esercizio.

L'attività di monitoraggio e quella di manutenzione costituiscono due momenti importanti nell'esercizio dell'opera, come si è visto nel momento in cui si è descritto il quadro generale delle opere di sistemazione dei versanti nella introduzione.

Il monitoraggio permette di verificare, in ogni momento, lo stato di conservazione, efficienza strutturale e di efficacia funzionale delle opere, predisponendo, in caso di mancata verifica, gli opportuni provvedimenti.

La manutenzione consente invece di riportare, attraverso particolari lavorazioni o interventi, lo stato di conservazione, efficienza strutturale e di efficacia funzionale delle opere allo stato originario di progetto o a livelli intermedi come

eventualmente previsti in fase progettuale (tenendo conto dell'usura e del degrado fisico naturale).

In particolare con il termine manutenzione, nel linguaggio comune, intendiamo:

“l'insieme delle operazioni svolte a mantenere in efficienza un manufatto, un impianto e più in generale un'opera costruita dall'uomo”.

Mentre, prendendo una definizione della manutenzione più tecnica grazie all'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI), per manutenzione si intende:

“La combinazione di tutte le azioni tecniche ed amministrative, incluse le azioni di funzioni richieste (UNI 9910,10147). La attività di manutenzione comporta:

- *il ripristino: recupero da parte dell'entità della propria attitudine ad eseguire una funzione richiesta (UNI 9910);*
- *la riparazione: intervento, rinnovo o sostituzione di uno o più componenti danneggiati mirato a riportare un'entità alle condizioni stabilite (UNI10147);*
- *il miglioramento: insieme di azioni di miglioramento o di piccola modifica che non incrementano il valore patrimoniale dell'entità (UNI 10147).”*

È proprio partendo da questa definizione che si vuole ripercorrere tutte le azioni proposte ed attuate in passato e vedere cosa ne è rimasto al 2013.

5.1 La manutenzione proposta

Grazie alla consultazione del materiale delle imprese, è risultato chiaro il messaggio che si è voluto lasciare al termine dei lavori svolti. L'Eurock per l'appunto scrive nella sua relazione generale che:

“si ritiene doveroso annotare che le opere realizzate risultano di durata e affidabilità ben più che biennale (ventennale i rivestimenti, presumibilmente centenaria paramassi ed imbrigliamenti, indefinibilmente maggiore gli ancoraggi) e che però è buona norma eseguire una ricognizione almeno semestrale dei luoghi e comunque dopo ogni precipitazione, evento franoso o sisma eccezionale, in modo tale da richiedere manutenzione”.

A tal proposito è stata realizzata una rete di sentieri sul versante, necessaria per l'azione di sorveglianza prevista e per mantenere le opere nello stato di efficienza iniziale e quindi conservare il livello di sicurezza acquisito.

Sono presenti inoltre, a favore di quanto detto, degli strumenti di controllo di eventuali micromovimenti profondi degli ammassi rocciosi. In particolare gli estensimetri adottati e alloggiati in fori di 85 mm di diametro e lunghezza fino a 15 m, consentono di misurare le variazioni relative della distanza tra un riscontro esterno e uno o più punti di ancoraggio distribuiti a profondità diverse entro un foro. Il tipo di estensimetro adottato è a una base di misura formata da asta libera in invar con misurazione di tipo elettrico con trasduttori lineari di spostamento; gli impulsi elettrici sono portati mediante una linea dalla zona di misurazione fino al piano stradale in modo da poter predisporre una acquisizione automatica dei dati mediante elaboratore elettronico.

Scendendo in particolare alla manutenzione effettivamente prevista che ha portato alla redazione delle stime degli interventi annuali di controllo, è possibile ripercorrere quanto è stato concordato tra l'impresa vincitrice dell'appalto - concorso e l'Amministrazione Provinciale di Rieti alla fine dei lavori, in modo da poterla effettivamente verificare a distanza di 23 anni dall'accaduto.

Dal punto di vista della manutenzione ordinaria, le schede tecniche delle opere realizzate segnalano che tutti i materiali utilizzati sono adeguatamente protetti contro la corrosione, per cui non è previsto un intervento di manutenzione o sostituzione di parti deteriorate per un periodo di tempo quantificabile, in base ad interventi già eseguiti, in 10 o più anni. In particolare per quanto riguarda il controllo e la manutenzione ordinaria per le singole tipologie di intervento, non sono stati richiesti interventi annuali di manutenzione ordinaria; il controllo di tutti gli interventi dovrà almeno essere curato, ogni giorno, con la lettura dei dati rilevati dalle apparecchiature di controllo per verificare che gli ammassi rocciosi non abbiano subito movimenti di rilievo.

Per il controllo della integrità delle opere, data la loro disposizione in vicinanza della sede stradale, è stato rilasciato l'incarico direttamente dal personale dell'Ente Appaltante. Tale controllo verte soprattutto alla individuazione di eventuali massi caduti ed arrestati dalle barriere o gravanti in modo pericoloso sulle reti metalliche, insieme ad un controllo per la eventuale ossidazione di parte delle opere realizzate.

Gli interventi di manutenzione straordinaria delle opere che sono stati proposti e necessari in caso di eventuale caduta massi, divisi per opera, sono:

- I. Barriere paramassi: in caso di caduta di volumi rocciosi che dovessero far crollare un ordine di barriere, è necessario e sufficiente sostituire le eventuali parti danneggiate; inoltre è necessario procedere allo sbriciolamento dei massi di grosse dimensioni eventualmente arrestanti a

monte delle barriere per evitare che questi possano costituire un trampolino per successivi volumi rocciosi;

- II. Rivestimento di pareti rocciose con rete metallica in aderenza armata: data l'estrema staticità dell'intervento è necessario prevedere lo sbriciolamento di eventuali massi di grosse dimensioni che, distaccatisi, dovessero gravare con il loro peso su pannelli di rete o sul reticolo di cavi di acciaio;
- III. Rivestimento di pareti rocciose con rete metallica in aderenza semplice: i massi che dovessero distaccarsi al di sotto della rete metallica scivolerebbero tra questa e la parete fino alla sua base; in questo caso è sufficiente procedere, quando necessario, alla pulizia del piede delle reti. In questo caso gli intervalli di tempo entro i quali effettuare la pulizia sono, sulla base delle caratteristiche morfologiche e strutturali degli ammassi rocciosi, di 5 anni;
- IV. Interventi di consolidamento in parete: per tali interventi costituiti da tiranti, ancoraggi passivi e rivestimento di massi instabili con rete estensibile; è richiesto un controllo della tensione ogni 5 – 8 anni o prima, nel caso si abbia la necessità.

Per tali accortezze e salvo eventi eccezionali, si è ritenuto comunque che l'esecuzione di due ricognizioni l'anno sia consigliabile.

Quest'ultima considerazione non è altro che un segno dell'attenta e richiesta manutenzione proposta dalle imprese.

5.2 Stato attuale dei luoghi

Dopo 23 anni, con il sopralluogo svolto nell'area oggetto di studio, si è verificata la scarsa manutenzione e le conseguenze di tale ingiustificata situazione.

Le opere passive di sistemazione dei versanti, come ad esempio le barriere paramassi elastiche, sono state progettate ed ubicate con il preciso scopo di proteggere la S.P. da eventuali crolli e per permettere la normale fruizione della strada provinciale nonché di salvaguardia per gli occupanti della stessa.

In seguito all'evento più tragico che ha colpito l'area oggetto di studio nel 1990 e dopo tutti gli interventi di consolidamento e protezione realizzati; ci si è augurato di trovare lo stato dei luoghi che corrispondesse, o almeno si avvicinasse, a quanto raggiunto in materia di sicurezza in passato.

A proposito delle barriere paramassi, che risultano essere il fulcro della protezione della S.P., ciò che nasconde la vegetazione agli occhi dei passanti non è di certo quello che effettivamente sta avvenendo e continua ad avvenire nell'area oggetto di studio. In Figura 5.1 si mostra quello che si è rinvenuto in un tratto a monte della progressiva stradale studiata.



Figura 5.1a - Barriera paramassi elastica investita da un crollo di roccia.



Figura 5.1b – Barriera paramassi elastica investita da un crollo di roccia.



Figura 5.1c – Barriera paramassi elastica investita da un crollo di roccia.

La barriera paramassi ha funzionato, ovvero ha impedito che quel blocco di roccia finisse nel sottostante tratto di strada posto a stretta vicinanza del pendio (Figura 5.2).



Figura 5.2 - Barriera paramassi elastica a ridosso della S.P.

La proposta di manutenzione straordinaria parlava chiaro:

“[...] è necessario procedere allo sbriciolamento dei massi di grosse dimensioni eventualmente arrestanti a monte delle barriere per evitare che questi possano costituire un trampolino per successivi volumi rocciosi”.

Sotto tale affermazione la mitigazione del rischio ottenuta in passato non risulta conservata, per cui l’attenzione si è accesa verso altri tratti di strada investiti da blocchi rocciosi che si ipotizza siano stati lanciati da trampolini di roccia, venuti a crearsi a monte di altre barriere paramassi per gli stessi motivi.

Non è stato possibile raggiungere durante il sopralluogo altri ordini di barriere paramassi per giustificare quanto detto ma, come si mostra in Figura 5.2, spicca un ordine di barriere paramassi proprio a monte di un tratto in cui a valle è stato rinvenuto un masso isolato che ha colpito presumibilmente prima il guardrail e poi si è arrestato nel margine opposto al versante della strada (Figura 5.3).



Figura 5.2 - Barriera paramassi elastica a monte di un tratto di S.P.



Figura 5.3 - Tratto di S.P. a valle del tratto di versante in Figura5.2: guardrail danneggiato(a sinistra);
masso isolato distaccatosi (a destra).

L'area oggetto di studio è tutt'ora in condizioni di instabilità.

Le opere realizzate e rinvenute in questo stato di abbandono non garantiscono la protezione necessaria che deve avere una strada di collegamento diretto tra la Città di Rieti e il comune di Varco Sabino.

Su questo aspetto si dovrebbe rivolgere l'attenzione degli enti competenti in quanto la manutenzione prevista dovrebbe essere regolarmente attuata, soprattutto a seguito di ogni evento eccezionale come il crollo di porzioni di versanti rocciosi. Barriere paramassi in tale stato sono praticamente inutili e posso andare incontro anche al completo collasso, se venissero investite da altri blocchi alle energia di impatto calcolate nel capitolo 4.

Un piano di manutenzione per tali opere potrebbe essere il seguente, in cui si prendono in considerazione le singole parti della barriera e non la barriera nel suo insieme:

➤ Montanti:

- Manutenzione ordinaria: con frequenza annuale e controlli a vista, è necessario verificare l'integrità sia degli ancoraggi al nastro di fondazione e sia l'integrità degli agganci con le funi portanti e con la rete di trattenuta massi. Ogni 2 anni è opportuno serrare gli ancoraggi al nastro di fondazione e gli agganci con le funi portanti e con la rete di trattenuta massi;
- Manutenzione straordinaria: quando necessario e con controlli a vista, in caso di avvenuto distacco di blocchi di pietra dalla parete rocciosa, verificare l'integrità degli ancoraggi al nastro di fondazione e l'eventuale deformazione subita dai montanti insieme al possibile distacco di essa dalle funi portanti e della rete di trattenuta massi. Inoltre è necessario ripristinare gli ancoraggi al nastro di fondazione qualora fossero danneggiati, sostituire i

montanti deformati e ripristinare gli agganci alle funi portanti e alla rete di trattenuta massi.

➤ Funi Portanti:

- Manutenzione ordinaria: con frequenza annuale e controlli a vista, è necessario verificare l'integrità degli ancoraggi al nastro di fondazione, degli agganci ai montanti e delle funi stesse. Per quest'ultime è importante verificare l'assenza di sfilacciamenti e tranciamenti. Ogni 2 anni è opportuno serrare gli ancoraggi al nastro di fondazione e i collegamenti ai montanti e alla rete paramassi;
- Manutenzione straordinaria: quando necessario e con controlli a vista, in caso di distacco di blocchi di pietra dalla parete rocciosa, verificare l'integrità degli ancoraggi al nastro di fondazione, degli agganci ai montanti e delle funi stesse (verificare l'assenza di rottura della fune). Inoltre è necessario ripristinare gli ancoraggi al nastro di fondazione qualora fossero danneggiati, sostituire le funi danneggiate (sfilacciate o tranciate) e ripristinare gli agganci con i montanti e la rete di trattenuta massi.

➤ Rete:

- Manutenzione ordinaria: con frequenza annuale e controlli a vista, è necessario verificare l'integrità degli ancoraggi ai montanti e della rete, verificando l'assenza di fili tranciati e/o buchi. Ogni 2 anni è opportuno serrare gli ancoraggi con i montanti con le funi portanti;
- Manutenzione straordinaria: quando necessario e con controlli a vista, in caso di avvenuto distacco di blocchi in pietra dalla parete rocciosa, verificare l'integrità degli ancoraggi ai montanti e della rete, verificando l'assenza di rotture significative e/o fori di grandi dimensioni. Inoltre è di fondamentale importanza la rimozione dei blocchi accumulatisi sulla barriera in seguito ad un evento franoso, la sostituzione completa dei pannelli danneggiati e il controllo delle condizioni di efficienza del meccanismo rete - tiranti.

Il tutto può essere monitorato grazie ad innovative soluzioni del mercato attuale in sostituzione agli obsoleti e forse non più operanti sistemi di controllo adottati e descritti brevemente nel capitolo 4.

Come riportato sul sito www.rockdefence.com, il Natural Risk Sensing (NRS) è un programma della piattaforma wireless sensor network (WSN) che offre un servizio di monitoraggio dei rischi di natura idrogeologica e in particolare delle opere di mitigazione ad esse associati. Le misure dei sensori sono accessibili via web grazie alla piattaforma wireless e sono georeferenziate, integrabili con archivi e base di dati esterne (Figura 5.3).

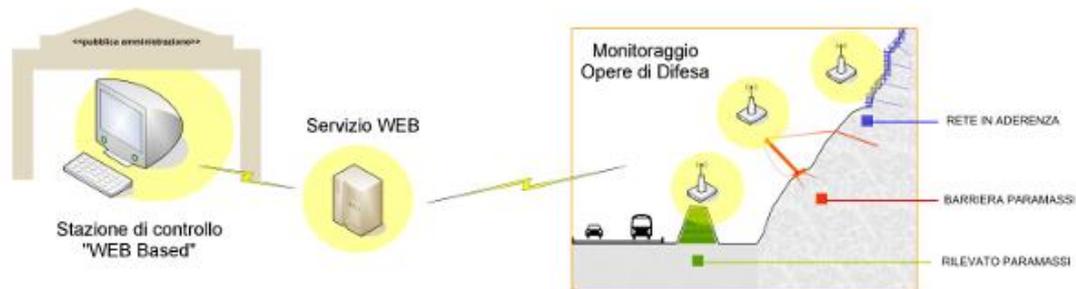


Figura 5.3 - Sistema Natural Risk Sensing. (Tratto da www.rockfalldefence.com)

Sono presenti sensori wireless multiparametrici, in grado di rilevare diverse tipologie di misura (accelerazione, posizione, temperatura, ecc.) utili a stabilire le condizioni di esercizio delle opere di difesa dalla caduta massi.

Dunque il sistema permette di verificare nel tempo le condizioni di esercizio delle opere realizzate.

L'obiettivo che ha spinto alla realizzazione di tale strumento di controllo è quello di dare una visione integrata e georeferenzata di tutte le misure rilevate sul territorio, supportando in questo modo la predisposizione dei "Piani di Manutenzione delle Strutture" previsti dal D.M. 14/01/2008 (che ha introdotto l'obbligo di allegare al progetto strutturale esecutivo il "piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera").

Un esempio di monitoraggio georeferenzato ottenibile dal programma NRS è riportato in Figura 5.4.

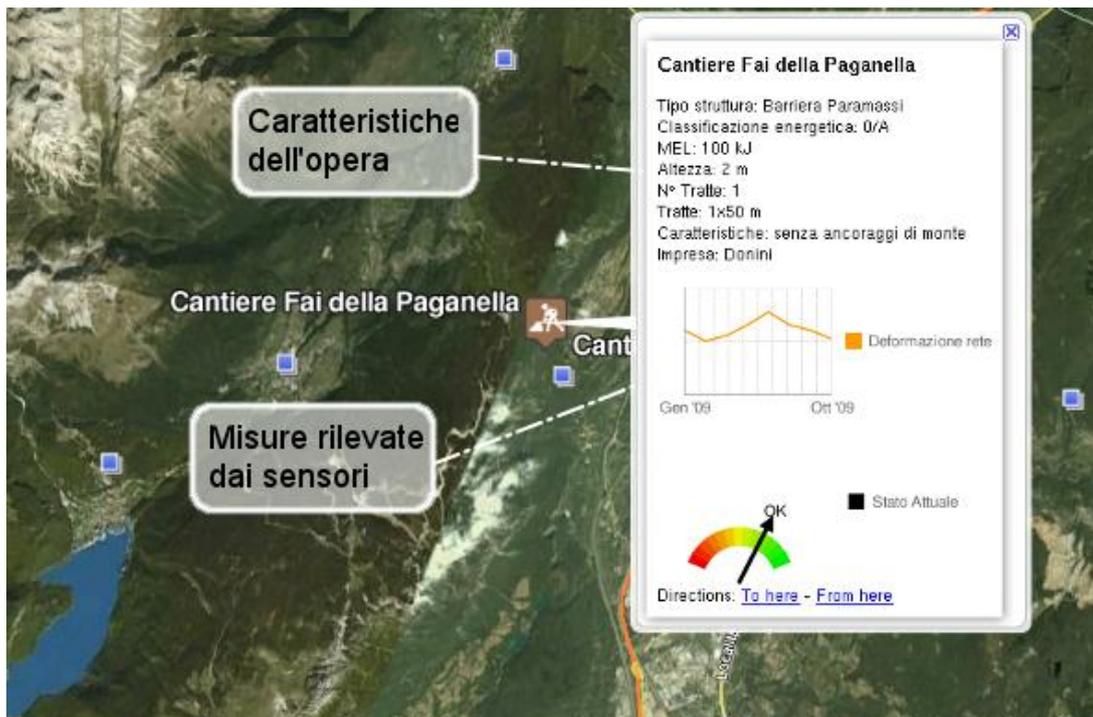


Figura 5.4 - Esempio di monitoraggio georeferenziato offerto dal programma NRS. (Tratta da www.rockfalldefence.com)

Quanto descritto precedentemente è un'insieme di proposte o almeno "richiami" per l'Amministrazione Provinciale di Rieti, in quanto si vuole mostrare che la soglia di rischio abbattuta 23 anni fa, ad oggi, non risulta più conservata e ciò mette in serio pericolo la normale fruizione della sede stradale.

Richiamando quanto detto in introduzione in merito alla politica adottata in questi casi e definita "emergentistica"; non è un caso che si sia riscontrata anche qui la stessa politica dopo quel crollo di roccia che ha causato una perdita umana.

Al termine dello studio svolto sugli interventi di mitigazione del rischio da frana in località S.P. Diga Salto - Bivio Rocca Vittiana, si è concluso che adottando un più accurato piano di manutenzione sarebbe possibile ridurre nuovamente il rischio da frana sulla strada; un rischio che, come risulta dal sopralluogo svolto, è ancora presente.

Bibliografia e sitologia

- Volkwein, K. Schellenberg, V. Labiouse, F. Agliardi, F. Berger, F. Bourrier, L. K. A. Dorren, W. Gerber & M. Jaboyedoff (2011) – “Rockfall characterization and structural protection – a review”. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 2617-2651.
- Ambrosini A. (2008) – “Riqualificazione paesistico-ambientale connessa alle opere di demolizione dello Scheletrone”. Progetto esecutivo, Tavola n°9.
- A.N.B.I. (2013) – “Report A.N.B.I. 2013”. Associazione Nazionale Bonifica e Irrigazioni, anno XV, n°14, Roma 12/04.
- ANPA (2001) – “Atlante delle opere di sistemazione dei versanti”.
- APAT (2006) – “Fenomeni di dissesto geologico – idraulico sui versanti”. Manuali e Linee Guida 39/2006.
- APAT (2007) – “Rapporto sulle frane in Italia”. Progetto IFFI, rapporti 78/2007.
- Bolt B.A., Horn W.L., Macdonald G.a., Scott R.F. (1975) – “Geological Hazards”. Springer-Verlag, Berlin.
- Boldini D., A.A 2012/2013 – “Dispense del corso di Ingegneria delle rocce e delle cave T”.
- Borgatti L., A.A 2011/2012 – “Dispense del corso di Geologia applicata T”.
- Bromhead E. N. (1992) – “The Stability of Slopes”. Blackie Academic & Professional, London, 411 pp.
- Canuti P., Menduni G. (2007) – “Linee guida per la stabilizzazione delle frane e strategia di mitigazione del rischio”. ADBARNO, UNIFI/DST, Gazzetta n. 176.
- Cruden D. M. & Varnes D. J. (1996) – “Landslide types and processes”. In: A.KnTurner & R. L., WA, 36-75 pp.

- Di Vincenzo Dino & C. S.p.A. (1990) – “Relazione generale”. Elaborato tecnico per l'appalto concorso, Pescara. 45 pp.
- Di Vincenzo Dino & C. S.p.A. (1990) – “Relazione geotecnica”. Elaborato tecnico per l'appalto concorso, Pescara. 18 pp.
- Eurock S.p.A. (1990) – “Relazione generale”. Elaborato n°1 per l'appalto concorso. 55 pp.
- Eurock S.p.A. (1990) – “Relazione geologica”. Elaborato tecnico per l'appalto concorso, 26 pp.
- Eurock S.p.A. (1990) – “Relazione geotecnica”. Elaborato tecnico per l'appalto concorso. 29 pp.
- Giani G.P., Cantarelli G. (2006) – “Analisi dei metodi di verifica dell'efficienza di reti di protezione contro la caduta di massi”. Rivista italiana di geotecnica 3/2006.
- Giordano A. (2002) – “Pedologia forestale e conservazione del suolo”. Collezione: Scienze Forestali e Ambientali, U.T.E.T., Torino, pp. 600.
- Hoek E. & Bray J. W. (1981) – “Rock slope engineering (3rd ed.)”. Institution of Mining and Metallurgy, London, 358 pp.
- Istituto Italiano Edizioni Atlas (2011) – “Elementi di Geomorfologia”. Libreria Web di Atlas, APPR n°16.
- Leggio T., Serva L. (1991) – “La bonifica della piana reatina dall'età romana al medioevo”. Rivista: notiziario dell'Enea, n° 25-26, 61-70 pp.
- Marinelli R., Menotti R. M., Millesimi F., Petitta M. (2000) – “I beni storico-architettonici in provincia di Rieti e i rischi connessi a fenomeni franosi”. Convegno GEOBEN, CNR-IRPI Torino, N°2133, 623-630 pp.
- Marinelli R. (2010) – “La bonifica reatina”. Editore Colacchi, L'Aquila 2010.
- Menotti R. M., Millesimi F., Petitta M. (1997) – “Censimento e cartografia dei movimenti franosi nella provincia di Rieti”. Atti dei convegni Lincei, La stabilità del suolo in Italia: Zonazione sismica-frane, ISSN: 0391-805X, n°134, Roma, 309-313 pp.
- Menotti R. M., Millesimi F., Petitta M. – “Studio dei fenomeni franosi interessanti i centri abitati e la viabilità nella provincia di Rieti”. Atti dei convegni Lincei, Roma, 432-447 pp.
- Menotti R. M., Millesimi F., Sabatini F. (1992) – “Fenomeni franosi nel territorio della provincia di Rieti: un caso studiato”. Estratto da: Atti della Fondazione, Giorgio Ronchi, n°3, Firenze, 478-503 pp.

- Menotti R. M., Millesimi F., Sabatini F. (1999) – “Rischio di frane per crollo nella provincia di Rieti”. Atti dei convegni Lincei, Il rischio idrogeologico e la difesa del suolo, ISSN: 0391-805X, n°154, Roma, 145-149 pp.
- Panizza M. (2005) – “Manuale di geomorfologia applicata”. FrancoAngelini S.r.L., Milano, Italy.
- Testella F. (2011) – “Evoluzione normativa sul rischio idrogeologico”. Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC), Venezia.
- WPWLI – International Geotechnical Societies’ UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (1993a) – “A suggested method for describing the activity of a landslide”. IAEG Bull., n° 47, pp. 53-57.
- WPWLI – International Geotechnical Societies’ UNESCO Working Party for World Landslide Inventory (1993b) – “Multilingual Glossary for Landslides”. The Canadian Geotechnical Society. BiTech Publisher Ltd. Richmond, Canada.

- www.arpa.piemonte.it
- www.associazionegeotecnica.it
- www.ambienteambienti.com
- www.comune.varcosabino.ri.it
- www.disat.unimib.it
- www.dista.unibo.it
- www.bgs.ac.uk
- www.geobrugg.com
- www.geologivda.it
- www.isprambiente.gov.it
- www.labro.gov.it
- www.maccaferri.com
- www.officinemaccaferri.com
- www.pcn.minambiente.it
- www.protezionecivile.it
- www.provincia.rieti.it
- www.regione.lazio.it
- www.rockfalldefence.com
- www.sici.irpi.cnr.it

- www.terra.unimo.it/appunti/1773.pdf
- www.uni.com
- www.wikipedia.it