



C.U.G.R.I.



CONSORZIO INTER - UNIVERSITARIO

Per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi
Università di Salerno – Università di Napoli “Federico II”

Autorità di Bacino Regionale Sinistra Sele

PIANO STRAORDINARIO PER LA RIMOZIONE DELLE SITUAZIONI A RISCHIO PIÙ ALTO

contenente

**“L’INDIVIDUAZIONE E LA PERIMETRAZIONE DELLE AREE A RISCHIO IDROGEOLOGICO
MOLTO ELEVATO PER L’INCOLUMITÀ DELLE PERSONE E PER LA SICUREZZA DELLE
INFRASTRUTTURE E DEL PATRIMONIO AMBIENTALE E CULTURALE”**

D.L. 11/06/98, n°180 convertito in legge 03/08/98, n°267

D.P.C.M. 29/09/98,

D.L. 13/05/99, n°132 convertito in legge 13/07/99, n°226

Rischio di Frana

RELAZIONE GENERALE

III Fase

IL RESPONSABILE E COORDINATORE
SCIENTIFICO DEL SETTORE GEOLOGICO

Geol. Domenico Guida
C.U.G.R.I. - Salerno

IL RESPONSABILE E COORDINATORE
SCIENTIFICO DEL RISCHIO FRANE

Il Direttore del C.U.G.R.I.
Prof. Ing. Leonardo Cascini

INDICE DELLA RELAZIONE

- 1. Introduzione**
- 2. Criteri generali informativi del presente documento**
 - 2.1. Il concetto di Rischio*
 - 2.2. Obiettivi degli approfondimenti*
 - 2.3. La strategia individuata per il conseguimento degli obiettivi*
- 3. Interventi per la mitigazione del rischio**
 - 3.1. Generalità*
 - 3.2. Sopralluoghi*
 - 3.3. Attività immediatamente eseguibili per la riduzione del rischio*
 - 3.4. Presidio Territoriale*
 - 3.5. Manutenzione*
 - 3.6. Indagini*
 - 3.7. Monitoraggio strumentale*
 - 3.8. Interventi*
 - 3.8.1. Crolli (ed eventuali ribaltamenti) in roccia*
 - 3.8.2. Colate di detrito*
 - 3.8.3. Scorrimenti in argilla*
 - 3.9. Ulteriori considerazioni*
- 4. Criteri per la progettazione degli interventi**
- 5. Aree degli approfondimenti previsti in Convenzione**
 - 5.1. Generalità*
 - 5.2. Assetto geologico e geomorfologico*
 - 5.2.1. Analisi Mesostrutturale*
 - 5.2.2. Geomorfologia*
 - 5.2.3. Tipologia e distribuzione territoriale delle frane*
 - 5.3. Scenari di franosità ed ambiti morfologici*
- 6. Azioni da intraprendere nelle aree degli approfondimenti**
 - 6.1. Generalità*

6.1.1 Scenario “A1”: crolli

6.1.2 Scenario “A2”, colate detritiche, e “A3”, :colate detritico-fangose

6.1.3. Scenario “B1”, colate argillose antiche, “B2”, scorrimenti rotazionali e rototraslativi, e “B3”, scorrimenti-colate e creep-scorrimenti-colate

1. Introduzione

L’Autorità di Bacino Sinistra Sele ed il Consorzio inter-Universitario per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi (C.U.G.RI.) hanno stipulato una Convenzione finalizzata all’attuazione del disposto di cui all’articolo 1, comma 1, della legge L. 267/98 così come modificato ed integrato dall’articolo 9, comma 2, del D.L. 132/99, convertito con modifica dalla Legge 226/99.

Nell’ambito della Convenzione l’articolo 3 prevede, inoltre, specifiche attività di approfondimento da svolgere in tre siti concordati tra il committente ed il contraente, essenzialmente finalizzati alla definizione, a scala di maggior dettaglio (1:5000), degli scenari di rischio e delle azioni da intraprendere per la mitigazione del rischio.

A tali fini è richiesta la redazione dei seguenti elaborati:

- *Carta geolitologica (ove disponibile);*
- *Carta dei lineamenti strutturali (ove disponibile);*
- *Carta degli elementi geomorfologici significativi (ove disponibile);*
- *Carta inventario dei fenomeni franosi in scala 1:5000;*
- *Stralci della carta degli insediamenti, delle attività antropiche e del patrimonio ambientale di particolare rilievo alla scala 1:5.000;*
- *Carta degli scenari del rischio in scala 1:5000;*
- *Linee guida per la definizione degli interventi strutturali e non strutturali;*
- *Programmi d’interventi per la mitigazione del rischio (strutturali e non strutturali);*
- *Relazione illustrativa finale che evidenzia criteri, metodi, riferimenti, fonti e dati assunti a base delle attività oggetto della convenzione.*

Il presente documento, con la cartografia allegata, fornisce un’adeguata risposta ai non facili quesiti posti in Convenzione in quanto, dopo una illustrazione dei criteri informativi che ne sono alla base, discute nel dettaglio i tematismi prodotti e le ulteriori azioni da intraprendere nelle aree oggetto di approfondimento, al fine di dare ulteriormente seguito al processo virtuoso avviato dall’Autorità di Bacino.

Il fine ultimo di tale processo è rappresentato dalla razionale, ed equa, perimetrazione delle aree a rischio che, in una fase di pianificazione e non di emergenza, passa necessariamente attraverso indagini e studi non previsti, e non prevedibili, in Convenzione oltre che attraverso il confronto, sistematico e proficuo, con tutte le Amministrazioni competenti.

2. Criteri generali informatori del presente documento

2.1. Il concetto di Rischio

I termini *Rischio*, *Pericolosità*, *Vulnerabilità*, ecc., sono da sempre stati utilizzati in uno stesso contesto con significati leggermente diversi, il che ha spesso dato luogo ad equivoci sia nell'interpretazione dei fenomeni, sia nelle azioni che da tali fenomeni sono derivati.

Non a caso nel 1991 le Nazioni Unite, nel dichiarare il periodo 1990-2000 quale *Decennio Internazionale per la Riduzione dei Disastri Naturali*, hanno prodotto un documento (UNDRO, 1991) nel quale hanno ritenuto necessario far chiarezza sull'argomento attribuendo ai vari termini che concorrono alla definizione di *Rischio* ed al rischio medesimo un significato ben preciso, da condividere in ambito politico, sociale, tecnico ed economico.

In particolare, si sono preliminarmente definiti i seguenti cinque termini:

PERICOLOSITA' (P): probabilità di accadimento, all'interno di una certa area e in un certo intervallo di tempo, di un fenomeno naturale di assegnata intensità.

ELEMENTI A RISCHIO (E): persone e/o beni (abitazioni, strutture, infrastrutture, ecc.) e/o attività (economiche, sociali, ecc.) esposte “a rischio” in una certa area.

VULNERABILITA' (V): grado di perdita di un certo elemento o insiemi di elementi esposti “a rischio”, derivante dal verificarsi di un fenomeno naturale di assegnata intensità, espresso in una scala che va da 0 (nessuna perdita) a 1 (perdita totale).

conseguenze delle sue attività. Tutto ciò riduce la naturalezza dell’evento, ma non il suo impatto”.

Tale impatto è diventato sempre più devastante per l’esplosione del processo di urbanizzazione che ha, negli anni, determinato una trasformazione sociale e del territorio molto profonda (Viggiani, 1994): nel 1800, solo il 3% della popolazione mondiale viveva in città; circa 200 anni dopo, il numero di persone che vive in agglomerati urbani supera di gran lunga la popolazione rurale. Studi e ricerche condotte su scala mondiale hanno portato a concludere che (Zupka, 1988) *”i disastri derivanti da rischi naturali dello stesso tipo e della stessa intensità hanno dato luogo, nel corso degli anni, ad un numero sempre maggiore di vittime e ad un impatto sempre più negativo”.* I risultati degli studi svolti nell’ambito dell’emergenza idrogeologica del 5 e 6 maggio 1998 hanno, purtroppo, confermato queste conclusioni.

2.2. Obiettivi degli approfondimenti

Pur nella semplicità della definizione fornita dalle Nazioni Unite, dalle brevi considerazioni svolte nel precedente paragrafo emerge che l’individuazione del *rischio di frana* in aree di notevole estensione è una complessa operazione che richiede la contemporanea presenza di più figure professionali (geologi, ingegneri, architetti, agronomi, topografi, ecc.) le quali, ognuno nel rispetto delle proprie competenze, possono contribuire alla:

- individuazione di una frana o dell’ambito nel quale essa può avvenire;
- definizione del suo stato di attività;
- stima della probabilità che essa si attivi o meno;
- valutazione della intensità del fenomeno franoso nella fase parossistica;
- stima delle conseguenze che esso può determinare su persone, strutture, infrastrutture, attività, ecc.

Pur con le approssimazioni derivanti dalla scala adottata (1:25000) e della limitatezza dei dati forniti dalle Amministrazioni competenti, un quadro organico di riferimento è

stato fornito già nella fase precedente (fase II) sulla base della metodologia esposta nella relazione generale.

In questa terza fase, lo studio è stato riferito ad alcune aree campione, scelte di concerto con l’Autorità di Bacino, per le quali si sono svolti tutti gli approfondimenti (in scala 1:5000) previsti in Convenzione che hanno consentito di sviluppare soltanto alcuni dei tematismi che concorrono alla definizione del *rischio* così come precedentemente introdotto.

La valutazione della *pericolosità* di una frana è, infatti, possibile solo a seguito di accurate indagini di rilevante impegno economico, che pongono in relazione l’intensità dell’evento con la sua periodicità. In altre parole, alla *pericolosità* di frana può attribuirsi un valore numerico se è nota la relazione che intercorre tra l’intensità **I** del fenomeno franoso (ad esempio, velocità, volume mobilitato, energia) ed il suo *periodo di ritorno* **T** (intervallo temporale tra due fenomeni di uguali caratteristiche ed intensità).

La possibilità di definire una siffatta relazione in uno specifico sito di frana passa attraverso l’acquisizione di una serie di dati di dettaglio che devono necessariamente discendere da:

- indagini geotecniche in sito (sondaggi, prove penetrometriche statiche, prove penetrometriche dinamiche, misure del regime delle acque sotterranee, prove di permeabilità in foro, ecc.);
- prove di laboratorio su campioni di terreno indisturbati appositamente prelevati nel corso di perforazioni di sondaggio (caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni).

Tali dati possono, quindi, essere direttamente utilizzati in metodi di calcolo sufficientemente consolidati nell’uso corrente (si pensi ai metodi per le verifiche di stabilità di pendii in argilla o a quelli per l’analisi cinematica della traiettoria seguita da un blocco che si distacca da un ammasso roccioso) o costituire una base di conoscenze per l’implementazione di modelli fisico-matematici innovativi.

A titolo di esempio, basti ricordare l'attività di ricerca che si sta svolgendo circa i meccanismi di innesco e di evoluzione delle colate rapide di fango.

Anche con riferimento alla *vulnerabilità V* degli *elementi a rischio E* sussistono notevoli incertezze, in quanto per la sua valutazione sarebbe necessario disporre di informazioni di notevole dettaglio che, nel caso delle strutture, ad esempio, riguardano le tipologie strutturali, i materiali, le fondazioni, i dettagli costruttivi, ecc.

Una ulteriore, ma fondamentale considerazione da fare, è che lo scenario di franosità, così come definito sulla base del criterio geomorfologico esposto nella relazione fornita al termine della fase II, pur portando in conto tutti gli eventi franosi (rilevabili) occorsi in un passato più o meno recente, è di fatto funzione del sistema fisico-antropico esistente all'epoca degli eventi e, pertanto, presumibilmente molto diverso da quello attuale. Ciò significa che uno scenario di rischio di frana attualizzato dovrebbe risultare dalla intersezione:

- di uno scenario di suscettibilità geomorfologica a franare che tenga implicitamente conto delle modifiche indotte dal sistema fisico-antropico;
- del sistema fisico-antropico stesso.

Per meglio chiarire questo concetto, solo apparentemente complesso, basti pensare, ad esempio:

- a) a fenomeni avvenuti in passato e che oggi potrebbero essere inibiti per la presenza di opere che, più o meno inconsapevolmente, hanno contribuito ad incrementare i margini di sicurezza nei riguardi di un potenziale collasso;
- b) a fenomeni di neoformazione che potrebbero innescarsi a seguito della costruzione di opere progettate senza tenere in debito conto la stabilità globale del territorio.
- c) ad aree che in passato sono state invase da un fenomeno franoso di una certa intensità, e che potrebbero non esserlo più per effetto di una difesa inconsapevolmente prodotta a monte dalla presenza, ad esempio, di nuove opere di

- urbanizzazione (edifici, strade, rilevati, ecc.);
- d) ad aree che in passato non sono state interessate da alcunché, ma che oggi potrebbero essere invase per un diverso percorso dei volumi di terreno in movimento dovuto alla presenza di opere di urbanizzazione assenti all’epoca dei fenomeni franosi rilevati su base geomorfologica;

I pochi esempi appena elencati mostrano in maniera incontrovertibile che l’acquisizione delle informazioni utili alla definizione univoca della *pericolosità P* (casi a) e b)) e della *vulnerabilità V* (casi c) e d)) necessita di risorse economiche e di tempi sicuramente non compatibili con quelli resi disponibili nell’ambito della Convenzione.

Non a caso l’Autorità di Bacino **Sinistra Sele**, consapevole di tutto ciò, oltre che della improrogabile necessità di coinvolgimento degli Enti territorialmente competenti, ha limitato le sue richieste alla formulazione degli scenari di rischio, nei fatti basati su sulla suscettibilità geomorfologica del territorio e sul sistema fisico-antropico pregresso. Tali scenari sono fortemente propedeutici alla perimetrazione di dettaglio delle aree (ossia alla scala della cartografia catastale) consentendo di giungere, se integrate con le ulteriori azioni di cui si dirà in seguito, ad una valutazione quantitativa del *rischio* e, quindi, ad una classificazione del territorio. Rappresentano, altresì, il presupposto di base per la individuazione delle azioni da intraprendere per la *mitigazione del rischio*, pur in assenza di una sua dettagliata valutazione.

2.3. La strategia individuata per il conseguimento degli obiettivi

Gli obiettivi previsti in convenzione sono stati perseguiti con una metodologia di lavoro essenzialmente basata sui seguenti tre punti:

1. definizione degli scenari di *rischio di frana*;
2. individuazione di un quadro organico ed unitario di azioni che è necessario intraprendere per la *mitigazione del rischio di frana*;
3. selezione di alcune azioni relativamente semplici e di immediata applicazione per il conseguimento di una parziale *mitigazione del rischio di frana*.

Con riferimento al punto 1, per i siti oggetto di approfondimento sono stati predisposti tutti quegli elaborati previsti in convenzione che consentono la definizione degli scenari di *rischio di frana* sulla base della suscettibilità geomorfologica e del sistema fisico-antropico pregresso. Ad alcuni elaborati sono state aggiunte altre informazioni (ad esempio, la carta delle coperture e/o la carta degli spessori delle coperture) che, seppur non richieste dalla Convenzione, si ritengono di notevole valore ai fini della valutazione quantitativa della *pericolosità* e, quindi, del *rischio* di frana.

Per quanto riguarda il punto 2, sono state individuate tutte quelle azioni attraverso le quali è possibile una riduzione progressiva del *rischio*, seppur in assenza di dati che lo rendano quantificabile.

In particolare, premesso che il controllo del numero e del tipo di *elementi a rischio* (delocalizzazione di insediamenti civili, industriali, agricoli) è, ovviamente, competenza di chi è responsabile della sfera politica e sociale (e, pertanto, esula da ogni specifica competenza tecnica) il contributo della comunità tecnica e scientifica può risultare decisivo nel suggerire e coadiuvare il “gestore del territorio” ad intraprendere numerose altre azioni (punto 3) che possono, nei fatti, contribuire alla *mitigazione del rischio*, quali ad esempio:

- a) le azioni finalizzate al rilievo continuo delle condizioni di rischio utili per attivare un sistema di supporto alle decisioni (sopralluoghi, presidio territoriale, indagini geotecniche, monitoraggio strumentale);
- b) le azioni di manutenzione del territorio e delle opere su di esso esistenti (anche mediante la loro riabilitazione ed adeguamento);
- c) la limitazione d’uso del territorio in condizioni di rischio ritenute critiche in base alle informazioni raccolte ed elaborate nelle attività di cui al punto a).

Per meglio chiarire questo aspetto, l’esperienza ricavata dall’emergenza idrogeologica del 5 e 6 maggio 1998 ha mostrato in maniera incontrovertibile che i volumi dislocatisi in quota si sono notevolmente incrementati lungo il percorso, intercettando ed inglobando quei volumi di materiale che era stato, nel corso degli anni, trattenuto a tergo di briglie che si erano completamente interrati. Attività quali quelle descritte alla

voce b) avrebbero sicuramente comportato la rimozione di detti volumi e, di conseguenza, ridotto la pericolosità e, quindi, il rischio. In altre parole, una semplice attività di manutenzione può, molto spesso, da sola contribuire significativamente alla *mitigazione del rischio*.

Allo stesso modo, attività di tipo a), comportando necessariamente una maggiore conoscenza del territorio, del suo stato attuale e della evoluzione in atto, nei fatti comporta una riduzione della *pericolosità* e, quindi, ancora una volta del *rischio*.

Attività quali quelle di tipo c), già sperimentate in altre occasioni (si pensi alla limitazione d'uso di un tratto dell'autostrada Napoli-Salerno a seguito della frana della Collina S. Pantaleone) nei fatti determina una riduzione degli *elementi a rischio*, quindi della loro *vulnerabilità*, producendo una *mitigazione del rischio*.

Tale strategia di *mitigazione* del rischio consente, tra l'altro, di utilizzare le notevoli giovani risorse umane ed intellettuali di cui dispone la Regione.

E' evidente che interventi strutturali veri e propri potranno e dovranno essere realizzati solo in quelle zone dove, anche per l'elevato rischio, non sia possibile ricorrere a criteri alternativi. Si vuole però richiamare quanto già affermato nella relazione predisposta al termine della fase II, e cioè che la notevole estensione delle aree esposte a rischio elevato non può in concreto che indirizzare verso una strategia di progressiva *mitigazione* del rischio, che non significa (e non può significare) *annullamento* del rischio. Questo concetto, peraltro esplicito nel dimensionamento delle strade o nella progettazione degli interventi per la protezione dalle alluvioni, ed implicito in quello della protezione sismica ed in qualunque altro progetto di ingegneria, esprime semplicemente l'idea che non è possibile realizzare opere assolutamente sicure. Pertanto, anche in presenza di interventi strutturali, permane un rischio residuo associato al concetto di probabilità di accadimento di un fenomeno diverso da quello posto a base del progetto.

In conclusione di questo capitolo, si vuole sottolineare che non è stato assolutamente affrontato il problema nell'ottica di redigere progetti, seppur preliminari, di consolidamento (cosa peraltro non richiesta in convenzione, viste anche le risorse messe

a disposizione); sono stati, invece, identificati i criteri più utili di indagine e di progetto per la realizzazione di tutte quelle opere che si rendano necessarie.

Successivamente alla messa in opera di tali interventi, sarà possibile ridefinire il rischio attraverso un processo circolare e dinamico di continuo aggiustamento e progressivo miglioramento delle condizioni di sicurezza complessiva del territorio.

3. Interventi di mitigazione del rischio

3.1. Generalità

La *mitigazione* del rischio, realmente perseguibile soltanto attraverso la concertazione tra gli Enti territorialmente competenti, richiede azioni tra loro combinate che siano finalizzate all'approfondimento delle conoscenze sui fattori predisponenti e sulle cause innescanti i movimenti franosi, al controllo di tali cause, alla manutenzione del territorio e delle opere già presenti su di esso, alla realizzazione di appropriati interventi di consolidamento, alla verifica della loro efficacia, ecc.

A tale fine, nella relazione sulla *mitigazione* del rischio redatta per dare adempimento al D.L. 180/56, sono state individuate azioni *immediate, a breve, medio e lungo termine*. Tali azioni sono qui di seguito ulteriormente esplicitate con il fine di fornire un quadro organico di riferimento che costituisce il presupposto di base per dare maggiore impulso ad un processo virtuoso avviato, e che si pone obiettivo primario un uso del territorio razionale e con i più ampi margini di sicurezza possibili.

Come descritto nella relazione redatta al termine della fase II, le azioni immediate sono quelle che vengono svolte nell'ambito dei primi 6 mesi dalla segnalazione della situazione di rischio, e devono comprendere tutte quelle iniziative atte a verificare e meglio definire lo stato di pericolo e a mettere gli enti in condizioni di operare rapidamente. Esse vanno eseguite in tutte le zone individuate a rischio, dove devono essere realizzati:

- a) sopralluoghi per la verifica della sussistenza di pericolo incombente per la pubblica e privata incolumità, infrastrutture e patrimonio ambientale e culturale, e per la sua migliore definizione;
- b) la valutazione speditiva dello stato di tutti i manufatti preesistenti nell’area ed il censimento della popolazione residente o comunque vulnerabile;
- c) l’individuazione di tutte quelle attività che è possibile eseguire immediatamente, utili per la riduzione del rischio.

Le azioni a breve termine vanno svolte appena possibile, e comunque nei successivi 6 mesi, e sono finalizzate alla riduzione del rischio ed alla programmazione degli ulteriori interventi. Oltre ad eventuali ulteriori sopralluoghi, esse comprendono:

- a) l’avvio del presidio territoriale, laddove se ne valuti l’opportunità;
- b) l’inizio delle attività di manutenzione straordinaria e delle ulteriori azioni per la riduzione del pericolo incombente
- c) la progettazione dell’eventuale monitoraggio utile per il controllo strumentale delle situazioni critiche;
- d) l’esecuzione di indagini propedeutiche di consolidamento.

Le azioni a medio termine, da eseguirsi nell’anno successivo, hanno la funzione di raccogliere tutti gli elementi necessari per la realizzazione di interventi finalizzati alla definitiva messa in sicurezza dell’area. Esse comprendono sia opere di manutenzione, che deve intendersi come un’attività permanente, che le seguenti azioni:

- a) la realizzazione delle indagini per l’approfondimento della conoscenza delle situazioni in oggetto e la progettazioni di quegli interventi di consolidamento che sono ritenuti necessari;
- b) la realizzazione dell’eventuale monitoraggio strumentale che affianchi le indagini conoscitive;
- c) la rimozione delle eventuali ulteriori situazioni di pericolo incombente messe in luce dal presidio territoriale.

Le azioni a lungo termine comprendono tutti gli interventi necessari per la definitiva stabilizzazione delle aree a rischio. Esse comprendono:

- a) gli eventuali interventi definitivi di consolidamento;
- b) la prosecuzione del monitoraggio nelle aree in cui si ritenuto indispensabile il continuo controllo strumentale anche per la verifica della validità degli interventi eseguiti.

Nel seguito vengono dettagliate tutte quelle azioni che appare necessario mettere in opera nelle aree oggetto della presente relazione.

3.2. Sopralluoghi

I sopralluoghi hanno la finalità di verificare le condizioni di rischio, soprattutto quando non sia stato ancora attivato il presidio territoriale, mediante osservazione diretta, fotografie, filmati ed eventualmente rilievi sporadici di tipo semiquantitativo. Differentemente dal presidio territoriale, che viene svolto con periodicità e sempre dallo stesso gruppo di persone che opera un controllo in continuo del territorio, i sopralluoghi sono azioni sporadiche tese ad accertamenti specifici.

I sopralluoghi possono, comunque, diventare oggetto di una normale attività conoscitiva e di verifica in qualsiasi fase successiva a quella immediata. In particolare, in assenza di presidio territoriale, e dopo che siano stati effettuati interventi di manutenzione o di consolidamento, essi hanno la funzione di verificare l'efficacia di tali interventi.

Nella fase conoscitiva iniziale, i sopralluoghi consentono di stabilire una eventuale priorità tra le zone a rischio, verificando la sussistenza di pericolo imminente per la pubblica e privata incolumità e, all'interno di ciascuna di esse, eventualmente di individuare le porzioni di esse che necessitano degli interventi più urgenti.

I sopralluoghi devono essere svolti da una *équipe* che comprenda almeno un geologo ed un ingegnere esperto in Geotecnica. Essi devono essere documentati da un dettagliato verbale al quale vanno allegare le fotografie ed i risultati di eventuali rilievi e misurazioni da riportare su carta e sotto forma di diagrammi. Una copia dei verbali va

conservata dall’Autorità di Bacino competente che provvederà ad elaborare tutti i dati e ad archivarli su supporto informatico. Nel caso di più sopralluoghi, è opportuno ripetere nel tempo le fotografie ed i rilievi, eventualmente installando riferimenti (ad es. picchetti di legno) per misure di modesto impegno.

Pur non avendo la funzione di indagine sistematica sul territorio e sulla sua evoluzione, i sopralluoghi dovranno prevedere, laddove necessario, l’esecuzione di:

- rilievi di tipo litologico finalizzati all’accertamento della natura dei principali materiali presenti nelle aree interessate, e delle loro caratteristiche macroscopiche;
- rilievi di tipo geologico-strutturale con particolare riferimento alle caratteristiche dei principali sistemi di discontinuità negli ammassi rocciosi (tipologia, spaziatura, persistenza, orientazione, apertura e grado di riempimento) ed alle eventuali venute idriche;
- rilievi della tipologia e delle zone di invasione di precedenti fenomeni franosi ancora riconoscibili (nicchie di distacco, zone di accumulo, eventuali blocchi trasportati dai corpi di frana ecc.);
- rilievi finalizzati alla delimitazione dell’area e della pendenza dei versanti giudicati potenzialmente instabili;
- rilievi di eventuali zone di concentrazione di afflussi idrici superficiali;
- rilievi di tutti gli elementi indicativi di possibili deformazioni del pendio (apertura di fratture, inclinazione di alberi, lesioni su strutture ecc.) e delle eventuali condizioni di danneggiamento dei manufatti;
- rilievi delle caratteristiche e dello stato di conservazione di esistenti opere di consolidamento già presenti sul territorio.

Nell’ambito dei sopralluoghi è opportuna una descrizione delle caratteristiche litologiche, strutturali e geomorfologiche anche nelle aree confinanti a quella in oggetto, con particolare riferimento a quelle che appaiono suscettibili di fenomeni di instabilità. Laddove gli accessi ai luoghi siano difficoltosi per l’impervia morfologia dei luoghi, i rilievi potrebbero essere effettuati con l’ausilio di elicottero.

3.3. Attività immediatamente eseguibili per la riduzione del rischio

Le azioni immediate hanno la funzione di eliminare il pericolo incombente. La prima funzione delle azioni da mettere in opera per il raggiungimento di questo obiettivo è quella di limitare al massimo l'evacuazione della popolazione e l'interdizione all'uso del territorio senza ricorrere ad impegnative ed onerose progettazioni.

A tale scopo, le attività in questione devono essere dirette a:

- a) eliminare e comunque mitigare le cause, naturali o antropiche, di innesco di frane di primo distacco, di rimobilitazione di corpi di frana quiescenti ovvero di accelerazione di movimenti franosi in atto;
- b) ripristinare l'efficienza di qualsiasi opera civile il cui malfunzionamento rappresenta, di per sé, una causa di frana;
- c) riabilitare le opere di consolidamento già esistenti, la cui funzionalità consentirebbe di mitigare gli effetti degli stessi movimenti franosi.

Tra le cause di innesco, rimobilitazione od accelerazione di movimenti franosi (punto a precedente), si possono citare:

- l'infiltrazione delle acque di pioggia ed il conseguente incremento delle pressioni neutre per riduzione della suzione negli strati superficiali parzialmente saturi, ricarica delle falde idriche o innesco di *cleft pressures* in discontinuità aperte esistenti in ammassi rocciosi, in depositi piroclastici o argillosi;
- fenomeni erosivi diffusi o concentrati, questi ultimi molto rapidi in depositi sabbio-limosi come i terreni piroclastici presenti nella zona in esame, per azione delle acque di ruscellamento;
- l'azione del ghiaccio o delle radici nelle discontinuità esistenti negli ammassi rocciosi;
- la propagazione di fratture di trazione (negli ammassi rocciosi) o di taglio (nei depositi di terreni sciolti) per cause naturali (ad es. l'alterazione) in funzione delle caratteristiche dei materiali interessati (rigidezza, resistenza e viscosità);
- accumulo di *colluvium*, specie alla base dei versanti e negli impluvi;

- ostruzioni al regolare deflusso delle acque in corrispondenza di impluvi, canali, ecc.
- sollecitazioni sismiche.

I sopralluoghi, così come il presidio territoriale, consentono di valutare sia i sintomi preparatori del collasso, ma anche (questo nel caso di movimenti molto lenti) i segni rivelatori dei fenomeni in atto.

Nell'uno e nell'altro caso, se i fenomeni in questione interessano terreni sciolti, tali segni rivelatori possono essere individuati essenzialmente nella formazione di fratture nel terreno (di trazione o di taglio per spinta attiva, nella zona di monte; di compressione, per spinta passiva, in quella di valle; di taglio lungo i bordi), di avvallamenti nella zona di monte e di rigonfiamenti in quella di valle, nella formazione di zone con ristagno d'acqua per difficoltà di drenaggio superficiale in qualsiasi zona dell'area in frana, in improvvise venute d'acqua, nella inclinazione degli alberi e di manufatti, in lesioni nelle strutture e così via.

Nel caso tali fenomeni interessino ammassi rocciosi, i fenomeni preparatori sono essenzialmente individuabili nella apertura delle discontinuità preesistenti, eventualmente nella propagazione di fratture in corrispondenza di “ponti” di roccia integra, in rigonfiamenti del versante, ed ancora in improvvise venute d'acqua, nella inclinazione degli alberi e di manufatti, in lesioni nelle strutture, ecc.

Le azioni immediate da adottare per la *mitigazione* del rischio consistono nella regolazione del deflusso delle acque, nella pulizia e nella rimozione di ghiaccio in corrispondenza di discontinuità in roccia, nella rimozione di materiale accumulato in zone instabili o in impluvi e canali sede di naturale deflusso delle acque, nella sigillatura di fratture aperte nel terreno o nella rimodellazione di aree morfologicamente depresse che possono essere sede di infiltrazione concentrata di acqua.

Laddove si constati l'impossibilità di interventi efficaci (ad es. in zone dove l'evoluzione dello stato di fratturazione non è controllabile con mezzi ordinari ed in tempi brevi), sono necessarie azioni di tipo diverso, come, ad esempio, quelle tipiche di protezione civile.

Con riferimento alle opere di tipo idraulico (acquedotti, fognature, canalette drenanti, briglie, ecc.), si osserva che il loro malfunzionamento può essere causa di fenomeni di

instabilità dovuti alla infiltrazione delle acque negli strati superficiali, a fenomeni di erosione concentrata, e più in generale al mancato controllo delle acque superficiali (punto b precedente).

Tra le azioni immediate si deve quindi includere il controllo di tutti i manufatti esistenti sul territorio e la loro rimessa in funzione od in esercizio, qualora se ne constati l'inefficacia o addirittura l'assenza di funzionamento.

Il piano delle azioni immediate deve, infine, includere la riabilitazione di opere di consolidamento già esistenti sul territorio (punto c) e caratterizzate da naturale degrado dei materiali che le costituiscono, da stato di fessurazione, da rotture parziali o totali.

Tra queste, le opere di tipo idraulico (drenaggi di vario tipo, superficiali e profondi, intervento di controllo delle acque superficiali) sono particolarmente soggette a perdita di efficienza ed hanno, allo stesso tempo, una notevole influenza sulle condizioni di stabilità dei versanti, sia per la conseguente perdita dei relativi effetti positivi sul regime delle pressioni neutre, sia perché potrebbero, addirittura, produrre effetti negativi sullo stesso regime delle pressioni neutre (ad es. a causa di immissioni di acque in zone instabili, dovute alla perdita di continuità idraulica di tali manufatti).

Altre opere il cui malfunzionamento può essere particolarmente influente sulla stabilità dei versanti sono individuabili nelle strutture metalliche, come i tiranti (soggetti a corrosione ed a cadute di tensione nel tempo), qualsiasi altro tipo di ancoraggio ed i chiodi (soggetti a corrosione), barriere e reti paramassi, per la rottura o la corrosione di elementi che fanno parte del sistema (funi, maglie metalliche) o per lo scalzamento delle fondazioni. Anche le strutture di calcestruzzo e simili (muri di sostegno, placcaggi, paratie, gunitature ecc.), soggette alla naturale degradazione del materiale ed a fenomeni di fessurazione, subiscono una perdita di efficienza nel tempo e vanno pertanto controllate.

Si rileva infine che la stessa vegetazione può contribuire alla stabilità dei versanti mediante la sua funzione regolatrice degli scambi di umidità con l'esterno, il controllo dell'erosione superficiale e la funzione resistente delle radici, per lo meno nel caso di fenomeni di instabilità superficiale (tipici nel caso delle coltri piroclastiche presenti nell'area in questione).

3.4. Presidio territoriale

Il presidio territoriale è finalizzato al rilievo in continuo delle modifiche di carattere geomorfologico che intervengono nelle zone a rischio elevato, e degli eventuali processi deformativi e di rottura sulle strutture e sulle infrastrutture presenti in tali zone, in un’ottica di gestione oculata del rischio. Normalmente, nell’ambito dell’attività di presidio va inoltre controllata, sia l’efficienza di opere, presenti sul versante, il cui malfunzionamento potrebbe influire sulle condizioni di stabilità dei terreni, sia la funzionalità di opere di consolidamento già presenti nell’area in questione (v. paragrafo precedente).

Il presidio territoriale si distingue dalla normale attività svolta mediante i sopralluoghi, sia perché, a differenza di questi ultimi, è continuo nel tempo ed ha frequenza all’incirca costante, sia per i contenuti di tale attività, caratterizzata da rilievi sistematici di elementi geomorfologici ed idrogeologici, e di tutte quelle grandezze (spostamenti, pressioni neutre, sforzi) che rappresentano la spia degli eventuali fenomeni deformativi (monitoraggio). Pertanto, nell’ambito del presidio vanno pertanto raccolti tutti quegli elementi di base di tipo geologico, morfologico ed idrogeologico che concorrono alla conoscenza del territorio e della sua evoluzione morfologica, oltre che i dati strumentali misurati dai sensori non automatici, installati per il controllo delle condizioni di stabilità dei versanti, che consentono di integrare i rilievi qualitativi e semiquantitativi oggetto dei sopralluoghi. L’attività di monitoraggio può essere esclusa solo nel caso in cui il programma di misure strumentali abbia esplicitamente previsto l’adozione di strumenti in grado di trasmettere a distanza i dati oggetto delle misure, ovvero quando il controllo strumentale sia stato affidato ad una ditta specializzata incaricata di sviluppare tale attività.

In sintesi, l’attività di presidio può includere la redazione dei seguenti documenti di lavoro:

- un carta geologica e strutturale
- rilievi di dettaglio dei sistemi di discontinuità presenti negli ammassi rocciosi;
- una carta delle coperture di tipo detritico;
- una carta geomorfologica di dettaglio;

- una carta dei movimenti franosi avvenuti;
- schede con tutte le informazioni già disponibili, o da raccogliere, sulle cause, la geometria, i meccanismi, la cinematica e gli interventi realizzati su tali movimenti franosi;
- una carta degli insediamenti;
- una scheda del tipo di strutture ed infrastrutture (con particolare riferimento a quelle idrauliche) presenti nell’area in frana e delle relative condizioni statiche;
- una scheda delle condizioni di esercizio delle strutture di consolidamento eventualmente presenti sui versanti;
- una carta degli elementi rivelatori di fenomeni franosi incipienti o in atto; una volta identificati, questi saranno individuati con una sigla, fotografati e segnalati a terra (quando possibile) mediante un picchetto od un cartello con l’indicazione della sigla corrispondente;
- diagrammi temporali dei principali parametri indicativi dei fenomeni franosi incipienti o in atto (apertura di fratture negli ammassi rocciosi o nei depositi sciolti di copertura, spostamenti assoluti o differenziali dei pendii, pressioni neutre o suzioni nel sottosuolo, inclinazione di manufatti, distanze tra oggetti mobili ed oggetti immobili, ecc.).

I rilievi effettuati nel corso del presidio territoriale permettono di variare eventualmente il programma di monitoraggio o quello degli interventi programmati per la manutenzione e/o il consolidamento dell’area in questione. In particolare, il presidio territoriale consente di gestire nel modo migliore quegli interventi di manutenzione che, da soli, in molti casi possono assicurare la stabilità di aree soggette a potenziali fenomeni di frana.

Nell’ipotesi che, per la specifica zona sotto controllo, siano state individuate una soglia di allerta ed una soglia di allarme collegate a misure non automatizzate, compito fondamentale del presidio è anche quello di verificare l’evoluzione della situazione in rapporto ai valori indicati dalle soglie.

Il presidio deve essere svolto da personale tecnico qualificato che includa per lo meno un geologo ed un ingegnere. I prodotti dell’attività di presidio, così come i verbali delle

attività di sopralluogo, devono essere consegnati alla competente Autorità di Bacino ed archiviati su supporto informatico.

L'attività del presidio territoriale va sottoposta ad un responsabile che ne trae le indicazioni necessarie per la gestione del rischio e l'eventuale attivazione, quando esistenti, delle soglie di allerta o di allarme.

3.5. Manutenzione

La manutenzione rappresenta l'insieme di tutti quegli interventi ordinari *sia sul territorio che sulle eventuali opere su di esso già esistenti*, che hanno la funzione di ridurre la probabilità di frana e, comunque, di mitigarne gli effetti prescindendo dal ricorso a specifiche opere di consolidamento, economicamente molto più impegnative.

Al fine di ridurre la frequenza e l'intensità dei fenomeni di frana, la manutenzione va eseguita periodicamente in modo da impedire l'accumulo di quei fenomeni di degrado che alla lunga portano alla instabilità.

La manutenzione del territorio, se effettuata in aree interessate da movimenti franosi di piccole dimensioni, può consentire la completa eliminazione del pericolo di frana e così, di fatto, può sostituirsi alla realizzazione di opere di consolidamento o comunque, integrata con esse, può ridurre gli oneri.

La manutenzione delle opere (qualsiasi manufatto, secondo le considerazioni già svolte nel paragrafo 6.3) ha la funzione di limitarne la naturale degradazione e perdita di efficienza. Essa si realizza in genere attraverso una serie di piccoli e poco costosi interventi.

In linea di principio, lo strumento principale di indagine alla base delle scelte relative alla definizione degli interventi di manutenzione sono i sopralluoghi e/o l'attività di presidio territoriale. Naturalmente, sia la natura dei terreni interessati, che i meccanismi dei potenziali fenomeni di instabilità influenzano considerevolmente tali scelte.

Normalmente, gli interventi di manutenzione sono analoghi a quelli precedentemente indicati come interventi immediati per la riduzione del rischio, con la differenza che quelli potrebbero essere considerati come attività di manutenzione straordinaria, mentre l'attività qui definita deve essere considerata ordinaria, da svolgersi periodicamente.

In linea di principio, qualsiasi intervento di manutenzione del territorio finalizzato alla regolazione del deflusso delle acque superficiali, specie in zone a drenaggio difficile, vuoi per attività antropiche, vuoi per effetto di precedenti fenomeni franosi, è opportuno, qualsiasi sia la tipologia dei terreni, e dei possibili meccanismi di frana. E' infatti ben noto, che l'azione delle acque è sempre causa di frana, in ogni tipo di terreno. Per questo motivo, qualsiasi ostruzione nel libero deflusso delle acque superficiali, così come qualsiasi concavità morfologica o frattura nel terreno che favorisca ristagni d'acqua ovvero infiltrazioni concentrate, vanno eliminate, rispettivamente mediante rimozione dei materiali che sono la causa di ostruzioni, rimodellamento del terreno con piccoli macchinari, sigillatura delle fratture.

Un'altra frequente causa di frana in terreni sciolti è l'erosione. Questa, alla lunga, determina modifiche degli stati tensionali e degradazione meccanica dei terreni, specie quelli a grana fina. Nei terreni limo-sabbiosi (come quelli piroclastici) l'erosione concentrata produce rapidi fenomeni di instabilità superficiale con effetti a catena e possibili meccanismi di collasso strutturale, specie in terreni di elevata porosità.

In questi casi, la manutenzione deve essere finalizzata ad impedire che si creino le condizioni per lo sviluppo di fenomeni di erosione. Tale risultato può essere ottenuto tramite la regolazione delle acque superficiali, evitando in particolare deflussi intensi e concentrati, e la protezione degli affioramenti con gabbionate, muretti, ovvero mediante piantumazioni eventualmente integrate con sistemi tipo geostuoie ovvero il rinforzo dei terreni con materiali plastici largamente diffusi in commercio.

In ammassi rocciosi, la pulizia di apparati radicali capaci di produrre l'apertura delle discontinuità e la continua rimozione di ghiaccio in corrispondenza di discontinuità aperte possono avere una certa influenza positiva sulla stabilità dei versanti.

In un'ottica di lungimirante protezione del territorio, la manutenzione può includere limitati interventi di stabilizzazione, eventualmente ripetuti ed integrati nel tempo, capaci di produrre un progressivo incremento dei coefficienti di sicurezza. Ad esempio, anche modesti movimenti di terra destinati alla rimozione di materiale instabile, o al consolidamento, mediante la costruzione di berme, del piede di scoscendimenti, ovvero la realizzazione di muretti, opere di tipo idraulico-forestale (vimate, piccole briglie) ecc. possono produrre effetti benefici, fino alla stabilizzazione del pendio, quando i

fenomeni di instabilità sono modesti. Anche quando i potenziali fenomeni di instabilità acquistino dimensioni maggiori, la somma di detti interventi potrà, alla lunga, produrre effetti benefici.

A questo tipo di interventi si può aggiungere qualsiasi intervento finalizzato allo sviluppo di un'adeguata copertura arborea dei versanti e, simmetricamente, quelli finalizzati alla protezione degli stessi versanti dagli incendi. La vegetazione ha infatti la funzione di limitare l'erosione e l'infiltrazione superficiale, oltre che fenomeni di instabilità di tipo superficiale.

Come già precisato, l'attività di manutenzione deve includere anche continui interventi su manufatti, sia di tipo strutturale o infrastrutturale, che di consolidamento. La manutenzione dei manufatti includerà ogni manufatto capace di incidere negativamente sulla stabilità del territorio. Fra queste, ogni infrastruttura (strade, muri ecc.) dotata di inadatte o inefficienti opere idrauliche di convogliamento e scarico delle acque superficiali, ovvero manufatti utilizzati per il trasporto di acqua (tubazioni, canali a sezione chiusa), le cui perdite idriche, dovute ad esempio a fessurazioni, potrebbero aggravare le condizioni di stabilità dei versanti. A tal fine, è importante la pulizia continua di cunette, canali di gronda, la cui ostruzione, anche con terreno, comporta lo sversamento di portate d'acqua all'esterno, con possibilità di infiltrazioni in profondità ed il controllo continuo, e le eventuali riparazioni, di manufatti idraulici destinati al trasporto di acque pulite o reflue.

E' infine necessario il continuo ripristino e la ripresa di efficienza di opere di consolidamento presenti sul territorio: opere idrauliche, interventi di tipo idraulico-forestale, manufatti strutturali in acciaio o in calcestruzzo. Su tali manufatti andranno pertanto effettuati continui controlli e misure: ad esempio, nel caso dei drenaggi, controlli sulle portate emunte dal sottosuolo (anche in relazione al regime delle piogge) ovvero, nel caso di ancoraggi attivi, controlli sui valori degli sforzi di tesatura.

E' appena il caso di rilevare che qualsiasi intervento di manutenzione dovrà essere oggetto di un apposito progetto, che può essere eventualmente basato anche solo sui risultati dei sopralluoghi e dell'attività del presidio territoriale.

3.6. Indagini

Le indagini hanno la funzione di raccogliere tutti i dati ritenuti necessari per la progettazione degli interventi finalizzati alla *mitigazione* del rischio. In linea di principio, tali elementi sono di tipo topografico, geologico, geomorfologico, idrogeologico, urbanistico, geotecnico, idraulico, e strutturale.

Il programma delle indagini deve essere definito in un progetto redatto da tecnici competenti sulla base di un apposito programma di indagini. In questa sede vengono descritte solo le indagini, o quegli aspetti di indagini, che hanno stretta attinenza con i problemi di instabilità dei pendii.

I rilievi di tipo topografico consentono una esatta rappresentazione del territorio e possono essere di ausilio per la individuazione di elementi geomorfologici utili per la ricostruzione delle caratteristiche litologiche degli affioramenti, di quelle dei movimenti franosi avvenuti nel passato e di quelli in atto. Essi hanno quindi anche una funzione di supporto per le indagini di carattere geologico, idrogeologico e geomorfologico.

La rappresentazione topografica del territorio deve essere eseguita sulla base di foto aeree, rilievi a terra ed eventualmente fotogrammetria terrestre.

La cartografia ricavata da tali rilievi va sviluppata in una scala adeguata alla dimensione delle aree investigate. In particolare, nel caso di aree riconosciute in frana, è utile che la specifica base cartografica di dettaglio non sia strettamente limitata a queste, ma sia estesa a superfici con dimensioni maggiori di quelle della frana. In effetti, è possibile che movimenti anche modesti interessino superfici più ampie di quelle considerate in movimento; inoltre, non può essere escluso che i movimenti si estendano successivamente alle aree confinanti.

La scala della rappresentazione deve essere commisurata alla dimensione delle aree in frana. Solo indicativamente, per lo studio di dettaglio di frane di larghezza minore di 200 m, la scala deve essere almeno 1:500, per frane di larghezza maggiore di 200 m, la scala può essere minore.

I rilievi geologici, geomorfologici e idrogeologici vanno affidati a geologi esperti che li svolgeranno nell'ambito di campagne appositamente programmate. Indagini finalizzate

ad approfondire tali conoscenze vanno comunque svolte anche nel corso delle attività del presidio territoriale.

Il prodotto di tali indagini deve essere costituito da una serie di carte tematiche, tra cui almeno:

- un carta geolitologica e strutturale;
- una carta delle coperture;
- una carta geomorfologica di dettaglio;
- una carta morfologica e delle frane.

La scala delle carte tematiche deve essere almeno corrispondente a quella della cartografia disponibile.

La carta geolitologica e strutturale e la carta delle coperture vanno elaborate essenzialmente sulla base di rilievi di campagna. Tali carte possono essere integrate e migliorate con i dati raccolti nel corso delle indagini geotecniche.

Nel caso di ammassi rocciosi, le indagini devono includere la descrizione sistemi di discontinuità attraverso la misura della loro orientazione spaziale e la determinazione della spaziatura, della persistenza, della rugosità, dell'apertura e della natura dell'eventuale materiale di riempimento. Tale misura va effettuata su fronti naturali e di scavo che consentano il rilievo delle discontinuità su almeno due piani mutuamente ortogonali ovvero, quando possibile, in galleria. In assenza di questo tipo di dati, sarà necessario effettuare rilievi dello stato di fratturazione almeno sulle carote estratte dai sondaggi (v. paragrafo successivo).

Nel caso di depositi di terreni sciolti su ammassi rocciosi va effettuata almeno una stima dello spessore di tali coperture e dell'inclinazione della formazione rocciosa di base, oltre che l'individuazione delle sorgenti d'acqua.

Nel caso di depositi argillosi consistenti è opportuna la determinazione dello spessore delle coperture alterate e la descrizione delle caratteristiche strutturali di questi terreni (omogeneità, stato di fessurazione, presenza di inclusioni lapidee o di livelli più permeabili ecc.).

Tutti i dati raccolti vanno inseriti in apposite relazioni allegate alle carte precedentemente descritte.

Anche la carta geomorfologica e la carta morfologica e delle frane devono essere elaborate essenzialmente sulla base di rilievi di campagna e di foto aeree. Nella elaborazione di queste carte è utile disporre di dati raccolti in precedenti indagini.

Anche tali carte vanno accompagnate da specifiche e dettagliate relazioni. In particolare, la carta delle frane va integrata con una relazione nella quale le frane vengano accuratamente descritte ed inserite nella ben nota classifica di Cruden e Varnes.

Le foto aeree vanno confrontate con analoghi documenti raccolti in epoche precedenti, se esistenti. Questo, sia per la verifica dei dati raccolti nella campagna attuale, che per la valutazione della evoluzione dei fenomeni di frana avvenuti nel passato.

Le indagini geotecniche devono essere eseguite da ditte dotate di adatti requisiti e programmate da un ingegnere esperto in geotecnica che svolga anche la relativa direzione dei lavori. L'esecuzione di tali indagini deve essere effettuata nel rispetto delle Raccomandazioni edite dall'Associazione Geotecnica Italiana (Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini in sito, 1977; Raccomandazioni sull'esecuzione delle prove geotecniche di laboratorio, 1994).

Le indagini geotecniche hanno lo scopo di definire un modello di sottosuolo da utilizzare per lo svolgimento delle analisi necessarie per la valutazione delle condizioni di stabilità dei versanti, la simulazione del comportamento indotto da azioni esterne e la progettazione dei necessari interventi di consolidamento.

Il modello di sottosuolo deve includere una schematizzazione della struttura dei terreni e del regime delle acque sotterranee e delle pressioni neutre, una caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e dei sistemi di discontinuità eventualmente presenti, ed infine, se ritenuto necessario, una stima dello stato tensionale iniziale.

Se e dove possibile, la definizione della struttura del sottosuolo deve essere effettuata in base ad una campagna di sondaggi, ed eventualmente pozzi, trincee, o addirittura gallerie esplorative, integrata da osservazioni di carattere geologico che consentano di inquadrare i dati geotecnici in un modello geologicamente compatibile.

In molti casi può essere opportuno sviluppare la campagna di indagini geotecniche in più fasi. In particolare, quando possibile, è opportuno individuare le seguenti fasi:

- 1) una fase *preliminare* da eseguirsi possibilmente solo dopo le indagini geologiche e geomorfologiche (o di una parte sufficientemente estesa di queste). In tal modo, lo studio geotecnico potrà prendere le mosse da una base di conoscenze da utilizzare come valida guida per il progetto delle stesse indagini geotecniche. Nei limiti del possibile, sarà opportuno che tale campagna abbia luogo nel periodo meteorologicamente più sfavorevole nei riguardi della stabilità, in modo che i dati raccolti riflettano implicitamente tali sfavorevoli condizioni (ad esempio, nei valori delle quote piezometriche o della coesione non drenata degli strati più superficiali).
- 2) una fase *di approfondimento* che spesso si rende necessaria quando lo studio complessivo comincia a fornire un quadro d'insieme coerente e consente di individuare quegli elementi di dettaglio, non ancora investigati, la cui conoscenza è necessaria per ottenere la soluzione completa del problema.
- 3) una fase *di completamento* generalmente costituita dal solo monitoraggio strumentale che, a sua volta, spesso integra i dati raccolti in fasi precedenti (ad esempio, nel corso del presidio territoriale). Poiché, come è noto, i pendii sono soggetti a variazioni cicliche degli stati tensionali seguite a volte da riattivazioni dei movimenti dovute alle oscillazioni del regime delle pressioni neutre, quando possibile è opportuno che il monitoraggio sia esteso ad almeno un anno intero o anche, tenuto conto dei cicli climatici, a più anni consecutivi.

Quando possibile, è opportuno ubicare i sondaggi lungo allineamenti disposti secondo le linee di massima pendenza, una delle quali in asse all'eventuale movimento franoso in istudio. Nel caso di aree in frana, non si deve trascurare di ubicare alcuni sondaggi al di fuori della superficie instabile; essi vanno inoltre approfonditi al di sotto della superficie di scorrimento. In particolare, nei terreni sciolti di copertura che possono essere stati sede di antiche frane, la lunghezza dei sondaggi o dei pozzi esplorativi deve essere spinta fino ad una profondità pari ad almeno 1.5 volte lo spessore del presunto corpo di frana, specie quando i terreni si presentino omogenei con la profondità.

Con l'eccezione delle perforazioni finalizzate alla installazione di strumenti nel terreno, i sondaggi vanno eseguiti a carotaggio continuo, limitando al massimo l'uso di acqua di perforazione. L'esame accurato delle carote (che dovrà essere effettuato da un geologo o da un ingegnere geotecnico dotato di notevole esperienza) può infatti consentire di ricostruire con accuratezza il dettaglio geologico-strutturale del sottosuolo, inclusa la presenza di paleosuoli, di superfici di taglio e di zone ammorbidite che può essere indicativo della presenza di un antico corpo di frana. Come è ben noto infatti, il dettaglio geologico influenza fortemente la stabilità dei versanti.

Per l'esecuzione dei sondaggi ed il prelievo dei campioni indisturbati di terreno vanno adottati adatti strumenti. Come è noto, questi dipendono notevolmente dalla natura dei terreni attraversati.

Il campionamento in materiali di frana non è sempre facile per la variabile consistenza dei terreni anche lungo tratti brevi, e per la presenza di elementi lapidei. Per questo motivo, il diametro del campionatore deve essere sufficientemente grande (possibilmente maggiore di 85 mm). Inoltre, quando possibile, è sempre meglio effettuare prelievi in pozzi o trincee direttamente con le fustelle del laboratorio.

Nel corso della fase di studio delle carote è necessaria la definizione esatta della percentuale di carotaggio, del coefficiente RQD e della natura delle discontinuità (negli ammassi e negli strati rocciosi), della resistenza all'avanzamento del penetrometro tascabile (negli strati limo argillosi). Anche questa indicazione, oltre ad essere utile per inquadrare il comportamento del terreno, può essere indicativa di anomalie dovute a movimenti pregressi. E' appena il caso di ricordare che la determinazione del coefficiente RQD ha significato solo nel caso il carotaggio viene eseguito con tecniche opportune (ad es. mediante uso di doppio carotiere).

Le schede descrittive delle stratigrafie devono essere sempre estremamente dettagliate, con indicazione:

- della percentuale di carotaggio;
- del coefficiente RQD;
- del tipo e della spaziatura di fessure e discontinuità;
- della granulometria e della plasticità dei terreni attraversati;

- della loro consistenza (anche con l’ausilio delle misure di consistenza effettuate con penetrometro tascabile);
- della presenza di frammenti, lamine, sacche di terreni di natura differente rispetto a quello carotato;
- della eventuale presenza di sostanza organica, che va riconosciuta mediante utilizzazione di acqua ossigenata, di inclusioni carbonatiche che va riconosciuta mediante utilizzazione di acido cloridrico, e di zone ossidate;
- del colore;
- di eventuali vene di acqua in pressione.

In molti casi (specie in terreni limo-argillosi) è necessario determinare lo spessore di corpi di frana quiescenti o attivi. A tal fine, è fondamentale un attento esame delle carote estratte dal sottosuolo, in quanto, per effetto delle deformazioni indotte dai movimenti e dal conseguente assorbimento di acqua, il corpo di frana in genere presenta colore (tipico delle formazioni alterate, con presenza di zone ossidate), litologia (presenza di paleosuoli, di zone ammorbidite, di contenuto organico, di frammenti lapidei, ecc.), e caratteri strutturali (stato di fessurazione e presenza di zone di taglio) molto differenti dalla formazione di base. Per questo motivo, come si è detto, è opportuno che la campionatura sia continua e che i terreni attraversati siano accuratamente descritti come indicato precedentemente.

Specie quando si presume che il corpo di frana presenti rigidità molto inferiore a quella della formazione stabile sottostante (per esempio nel caso di colate in terreni argillitici, caratterizzate, come è noto, da un forte decadimento della rigidità nel corso dei movimenti), può essere utile ricorrere ad indagini geofisiche di tipo sismico capaci di fornire, per via indiretta, la rigidità dei terreni attraversati. In alternativa, quando possibile (per esempio nel caso di terreni argillosi omogenei mediamente consistenti), si può fare ricorso a prove penetrometriche di tipo statico (CPT) ovvero a prove di tipo pressiometrico.

La rappresentazione grafica dei sondaggi eseguiti lungo allineamenti disposti lungo le linee di massima pendenza consentirà di definire con chiarezza la struttura del deposito

secondo sezioni significative ai fini dei calcoli geotecnici di stabilità. Tali informazioni potranno essere integrate con quelle derivate da indagini di tipo geofisico.

Per l'acclività dei versanti, negli affioramenti rocciosi i sondaggi potranno essere eseguiti anche in direzione suborizzontale.

I primi risultati delle indagini possono guidare verso una progressiva modifica ed affinamento in corso d'opera dello stesso programma di indagini (ubicazione dei sondaggi, loro profondità, ecc.). Per questo motivo, la scelta dei sondaggi da eseguire per primi potrà essere essenziale per l'esecuzione di una razionale campagna.

Il regime delle acque sotterranee va investigato mediante idonei strumenti di misura (piezometri). Poiché nei pendii in generale l'acqua è in movimento, e pertanto le quote piezometriche variano punto per punto e, in particolare, con la profondità, è d'obbligo l'esecuzione di misure puntuali mediante piezometri idraulici dotati di apposita cella, ovvero piezometri a tubo aperto sfinestrati solo per un breve tratto. Questo, come è noto, va isolato sopra e sotto mediante tamponi impermeabili e circondato da un filtro permeabile.

Evidentemente, il numero di piezometri deve essere tale da consentire di ricostruire il regime di flusso sulla base di dati puntuali. Spesso è buona norma disporre più piezometri lungo la stessa verticale.

La scelta del tipo di piezometri è funzione della natura dei terreni interessati e dei valori attesi delle altezze piezometriche: ad esempio, al di sopra del pelo libero della falda idrica e, in particolare, in terreni parzialmente saturi, è necessario installare piezometri o tensiometri capaci di misurare altezze piezometriche negative.

Negli ammassi rocciosi può essere utile installare piezometri per la misura delle pressioni neutre eventualmente esistenti all'interno di acquiferi, tamponati, ad esempio, dalle coperture argillose. Evidentemente questo tipo di misura non è facile perché negli ammassi rocciosi, a meno che non siano completamente frantumati, il flusso è concentrato nelle fratture. A questo fine, in tal caso può essere opportuna l'adozione di piezometri a tubo aperto sfinestrati per tutta la lunghezza.

Quando non si ritiene significativo questo tipo di indagini ovvero non è possibile l'installazione di piezometri, è necessario un attento rilievo delle manifestazioni sorgentizie e delle risorgenze di acqua.

La caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e dei sistemi di discontinuità deve essere effettuata mediante opportune indagini in sito od in laboratorio su campioni di classe di qualità adeguata al tipo di determinazione richiesta. A tal fine la scelta del campionatore e delle modalità di campionamento sono di notevole importanza.

La tipologia delle prove in sito ed in laboratorio va scelta in funzione della natura dei terreni interessati.

Negli ammassi rocciosi è a volta opportuno eseguire prove di taglio diretto in sito in pozzi o cunicoli. La loro esecuzione è molto impegnativa e costosa. In alternativa potrebbero essere eseguite semplici prove di *tilt* o di *pull* per la determinazione del coefficiente di rugosità da introdurre nella relazione empirica della resistenza al taglio di giunti in roccia proposta da Barton e Choubey.

In tali zone potrebbero essere eseguite anche prove pressiometriche. Esse sono comunque costose e di complessa interpretazione. La determinazione della permeabilità può essere infine eseguita in foro, adottando, ad esempio, la tecnica Lugeon.

Nei terreni sciolti, quando reso possibile dalla consistenza dei terreni e dall'assenza di frammenti lapidei, possono essere effettuate prove di tipo penetrometriche che consentono di risalire ai valori della coesione non drenata nei terreni a grana fina e dell'angolo di attrito in terreni più grossolani (ad esempio nelle coltri piroclastiche). E' comunque probabile che le prove penetrometriche debbano essere limitate ai soli strati più superficiali, per l'elevata consistenza dei terreni in gioco.

In alcuni casi (specie in terreni argillitici a scaglie, di difficile campionamento) può essere utile l'esecuzione di prove pressiometriche ovvero di prove di taglio diretto in sito.

Le prove meccaniche di laboratorio vanno eseguite su campioni indisturbati (classe Q5). A parte complesse prove di taglio diretto su giunti in roccia, tali prove possono essere eseguite solo su campioni a grana fina.

Spesso le caratteristiche strutturali dei campioni impediscono un campionamento di classe di qualità adeguata. Per questo motivo è necessario prendere campioni di dimensioni elevate e, quando possibile, effettuare il campionamento direttamente da pozzi o trincee in cui può essere effettuato anche il campionamento di blocchi. Il

campionamento da pozzi o trincee consente tra l'altro l'utilizzazione delle stesse fustelle di laboratorio, evitando così lo *stress* del doppio campionamento.

La sperimentazione di laboratorio include prove di permeabilità, in permeametro, edometro o cella triassiale, prove di compressione edometrica, isotropa od anisotropa, prove di compressione triassiale eventualmente a percorso di sollecitazione controllato, prove di taglio diretto o anulare. **Indicare la finalità di tali prove ed indicazioni generali sulle modalità di esecuzione da trarre dalle Raccomandazioni AGI**

Le condizioni di drenaggio vanno scelte in funzione del tipo di problema da affrontare e di considerazioni di natura squisitamente sperimentale.

La dimensione dei provini deve essere tale da inglobare il maggior numero possibile di mesostrutture (elementi lapidei o a maggior consistenza, sacchette sabbiose, fessure). E' sempre auspicabile utilizzare provini di diametro superiore ai 50 mm.

In molti casi, la determinazione della resistenza critica (nel caso di argille sovraconsolidate soggette a rottura progressiva) e/o della resistenza residua (nel caso di frane attive o riattivate in terreni a grana fina) è di fondamentale importanza. Pur essendo teoricamente queste grandezze indipendenti dai parametri di stato (e quindi misurabili su provini ricostituiti in laboratorio), è opportuno misurarle comunque su campioni indisturbati.

Le misure di stato tensionale possono essere utilizzate nella modellazione numerica del comportamento dei pendii. Esse sono di difficile realizzazione e vengono quindi effettuate solo in casi particolari e con tecniche sofisticate (*overcoring*, martinetto piatto, fratturazione idraulica, con pressiometro autoperforante ecc.).

3.7. Monitoraggio strumentale

Il monitoraggio rappresenta uno strumento fondamentale di conoscenza dell'evoluzione geomorfologica del territorio che si integra col presidio territoriale.

Il monitoraggio strumentale richiede un apposito progetto che precisi e giustifichi tipo, numero e *lay out* degli strumenti, oltre che la frequenza e le modalità delle misure. Tale progetto va redatto da un ingegnere geotecnico di documentata esperienza nel campo e deve essere approvato dagli organi competenti.

Una volta approvato il progetto, il programma di monitoraggio strumentale può essere affidato ad una ditta di comprovata esperienza.

Il monitoraggio viene utilizzato per:

- a) la valutazione delle attuali condizioni di stabilità dei versanti e della loro possibile evoluzione;
- b) l'utilizzazione di sistemi di allerta e di allarme;
- c) la scelta dei più opportuni sistemi di consolidamento.

La finalità a) ha la funzione di verifica ed ulteriore approfondimento dei risultati dei rilievi e dei sopralluoghi svolti e dei dati forniti dai presidi territoriali.

Mediante la messa in opera di strumenti di adeguate caratteristiche, capaci di misurare con elevata precisione le intensità di pioggia ed i livelli piezometrici in punti significativi del sottosuolo, gli spostamenti superficiali e profondi delle coltri instabili o a rischio di frana, l'apertura di fratture e fessure, eventuali stati di sforzo sulle strutture presenti nelle aree a rischio, è possibile tenere sotto controllo sia le azioni capaci di produrre instabilità che i corrispondenti comportamenti dei versanti.

Il controllo continuo di questi ultimi consente di decidere le più opportune azioni da intraprendere per la *mitigazione* del rischio

Sistemi di allerta o di allarme (finalità b) vengono adottati in tutte le situazioni di pericolo imminente in cui non sia possibile la delocalizzazione degli insediamenti e delle infrastrutture e fino a che non siano state realizzate opere definitive di consolidamento.

Tali sistemi sono basati sul monitoraggio di alcuni parametri fisici caratteristici del fenomeno (intensità di pioggia, pressioni neutre o suzioni in alcuni punti del sottosuolo, apertura delle fessure in un ammasso roccioso ecc.) caratteristici dei fenomeni in atto e che si valuta ne controllino l'evoluzione.

L'allerta è indicativa di uno scenario di possibile aggravamento del rischio ed impone:

- un accrescimento della sorveglianza;
- la valutazione continua della situazione da parte di specialisti;

- il coinvolgimento delle autorità responsabili della sicurezza;
- lo stato di pre-allerta per un piano di soccorsi.

L'allarme è il segnale che annuncia l'esistenza di un pericolo imminente e che avvia l'esecuzione di misure di urgenza.

I risultati del monitoraggio, uniti a quelli derivanti dall'attività del presidio territoriale, consentono, infine, di raccogliere gli elementi necessari per la progettazione degli interventi di consolidamento dei pendii instabili (finalità c). Ulteriori dati vanno eventualmente raccolti in specifiche indagini *ad hoc*.

Il monitoraggio riguarda tutte le grandezze fisiche che consentano di ricostruire ovvero controllino il comportamento dei movimenti franosi, come ad esempio:

- condizioni ambientali (temperature, piogge, neve, accelerazioni al suolo);
- pressioni neutre al di sotto del pelo libero della falda idrica;
- eventuali suzioni al di sopra del pelo libero della falda idrica;
- portate e qualità dell'acqua;
- spostamenti assoluti del piano di campagna;
- spostamenti assoluti in profondità;
- spostamenti relativi tra punti appartenenti al corpo di frana;
- sforzi su elementi strutturali;

La scelta del tipo di sensori dipende dalle caratteristiche dei fenomeni che si intende osservare. Essi devono avere adeguate caratteristiche di sensibilità, durabilità e stabilità nel tempo che deve essere giustificata dal progettista.

La durata del monitoraggio deve essere di norma quella sufficiente a raccogliere i dati necessari per il raggiungimento delle finalità dell'indagine. Nel caso queste consistano nella elaborazione di un progetto di consolidamento, è buona norma estendere il periodo di misure fino alla esecuzione del progetto ed eventualmente anche dopo, perché la strumentazione possa acquisire la funzione di controllo della efficacia degli interventi stessi.

In molti casi, e soprattutto quelli in cui i segni premonitori dei fenomeni franosi sono deboli e di breve durata (tipicamente per i crolli in roccia e le colate di detrito), è opportuno adottare sistemi in continuo con trasmissione dei dati via cavo o etere.

Le condizioni ambientali sono considerate il principale fattore di innesco dei movimenti franosi. Nelle aree in considerazione sismicità e piogge rappresentano di gran lunga i fattori di maggior rilievo.

Nel primo caso, il monitoraggio mediante accelerografi è certamente utile per approfondire la conoscenza del comportamento dei pendii, ma nel nostro caso ha scarsa utilità ai fini della previsione di possibili fenomeni di frana per la rapidità con cui essi evolvono.

Nel secondo caso, il monitoraggio si presenta di maggiore utilità, certamente nell'uso di modelli previsionali “a scatola chiusa”, ma sempre più, anche in quello di modelli più sofisticati capaci di mettere in relazione piogge, pressioni neutre e spostamenti. In molti casi (come è stato in occasione della emergenza Sarno) il rilievo della piovosità può essere utilizzato come fattore chiave per la messa a punto di sistemi di allerta e di allarme.

Per tali rilievi è necessaria l'installazione di stazioni meteorologiche o di semplici pluviografi. Tali stazioni, come tutti gli altri strumenti, vanno protette, per quanto possibile, da atti di vandalismo. Nei casi in esame è opportuna l'installazione di pluviografi per il controllo in continuo del regime delle piogge.

Le quote piezometriche, e quindi le pressioni neutre al di sotto del pelo libero della falda idrica o le suzioni al di sopra dello stesso pelo libero, controllano direttamente la resistenza al taglio dei terreni e quindi le condizioni di stabilità.

Ancora più e più direttamente della piovosità, le quote piezometriche possono essere correlate alle deformazioni dei pendii ed ai fenomeni di instabilità.

La conoscenza la distribuzione delle pressioni neutre, inoltre, consente la messa a punto di interventi di consolidamento dei versanti.

Come descritto in precedenza, le misure vengono effettuate mediante piezometri ovvero tensiometri (questi ultimi solo per la misura della suzione). Esiste in commercio un gran numero di strumenti con caratteristiche anche molto diverse. La scelta dello strumento

più adatto, delle modalità di installazione e della migliore ubicazione del sensore, dipendono da una serie di fattori di ordine tecnico ed economico.

Questi strumenti vanno adeguatamente protetti da possibili azioni esterne (non necessariamente legate ad atti di vandalismo) che ne alterino il funzionamento o le mettano fuori uso: nel caso di piezometri idraulici, i tubi vanno isolati dall'esterno per evitare l'accesso di acqua direttamente dal piano di campagna; nel caso di piezometri elettrici, i cavi devono essere protetti da possibili tranciamenti prodotti ad esempio da animali, da macchine in movimento ecc.

La misura di portate d'acqua e delle relative caratteristiche, che può essere fatta mediante strumenti anche semplici, può rappresentare un utile elemento di conoscenza di possibili fattori di instabilità o di individuazione delle cause di un movimento franoso.

Venute di acqua possono essere un segno di instabilità ovvero indicare la perdita da serbatoi, condotte, canali ecc.

La determinazione della qualità dell'acqua può aiutare a ricostruirne l'origine.

La misura degli spostamenti del piano di campagna risponde al problema di valutare se un pendio sia stabile o no, caratterizzare la cinematica superficiale di eventuali movimenti franosi, definire la possibilità concreta di interventi manutentivi o di consolidamento o addirittura prevedere il momento del collasso.

Il rilievo dei movimenti superficiali può essere effettuato mediante strumenti topografici di precisione o con una rete di misure da satellite GPS. I relativi picchetti, compresi quelli esterni ad eventuali zone instabili, vanno saldamente infissi nel terreno e protetti da possibili azioni esterne.

Le misure di spostamenti profondi, oltre alla funzione di riconoscere l'eventuale esistenza di movimenti franosi, consentono di determinarne lo spessore e di approfondire le conoscenze della loro cinematica.

Le misure vengono effettuate mediante sonde inclinometriche, le più recenti delle quali consentono di misurare tutte e tre le componenti del vettore spostamento.

I tubi inclinometrici vanno tappati e protetti da azioni esterne che potrebbero falsare le misure, specie quelle più superficiali.

Anche la misura di spostamenti relativi tra punti può essere un modo per riconoscere l'esistenza di movimenti e per risalire alla cinematica ed ai meccanismi dei movimenti.

Essa viene effettuata mediante estensometri, fessurimetri ecc.

La misura di sforzi sulle o nelle strutture rappresenta una indicazione della esistenza di movimenti e dei loro effetti sui manufatti. In particolare, la conoscenza dello stato tensionale agente nelle strutture consente di valutarne l'efficienza e di prendere in esame una loro eventuale sostituzione o rinforzo. Nel caso di opere di consolidamento, tali misure possono essere utilizzate nell'ambito dell'applicazione del metodo osservazionale, per valutare l'opportunità di una integrazione ed un miglioramento complessivo del sistema di stabilizzazione.

Gli strumenti di misura più diffusi sono le celle di carico e gli estensimetri.

3.8. Interventi di consolidamento

Gli interventi di consolidamento vanno realizzati in tutte quelle zone caratterizzate da una elevata pericolosità, dove non è possibile mitigare significativamente il rischio mediante soluzioni alternative (manutenzione del territorio e delle opere, sistemi previsionali, diversa destinazione d'uso delle aree ecc.).

La scelta e la progettazione degli interventi di consolidamento competono ad un ingegnere specializzato in Geotecnica. I progetti vanno eseguiti nel rispetto della normativa vigente e devono essere sottoposti agli organi competenti.

La tipologia degli interventi di consolidamento dipende dalle specifiche caratteristiche del sito nell'area da stabilizzare (natura e dalla struttura degli affioramenti, regime delle acque sotterranee, proprietà dei terreni), dalle potenziali cause innescanti e dai possibili meccanismi di frana.

Nel seguito, vengono descritti i principali metodi di consolidamento che si ritiene utilizzabili nell'ambito delle aree suscettibili di frana presenti nel territorio dell'Autorità. Detti interventi vengono distinti in relazione ai più diffusi meccanismi di frana riconosciuti.

3.8.1. Crolli (ed eventuali ribaltamenti) in roccia

In tutti quei casi in cui i possibili fenomeni di instabilità siano di crollo in roccia

fratturata a seguito di rottura per trazione (di ponti integri di roccia), di scivolamento o di ribaltamento, per la notevole velocità dei movimenti attesi (valutabile nell'ordine dei m/s), nessuna mitigazione del rischio è possibile nella fase immediatamente successiva all'innesco.

Per questo motivo, gli eventuali interventi dovranno essere di tipo preventivo, da realizzare cioè prima dell'innesco stesso nelle aree giudicate suscettibili di frana (riduzione della pericolosità), ovvero di protezione passiva delle aree a rischio (riduzione della vulnerabilità). In alternativa, possono essere utilizzati altri criteri di gestione del territorio, quale la modifica della destinazione d'uso dell'area di possibile invasione, ovvero sistemi di allerta e di allarme.

I possibili interventi per la mitigazione del rischio nelle aree giudicate suscettibili di frana includono la rimozione dei potenziali volumi instabili ovvero il loro consolidamento in sito mediante opere di vario tipo.

La rimozione dei potenziali volumi instabili può essere ottenuta mediante scavo a mano, o con escavatori, ovvero mediante esplosivo, miscele espansive ecc. Un recente esempio di questo tipo fu realizzato alcuni anni or sono nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino del Sarno (zona Pozzano), dove, mediante esplosivo, fu fatto crollare un enorme blocco di roccia che minacciava la sottostante strada statale.

Il consolidamento in sito delle zone potenzialmente instabili può essere ottenuto mediante interventi di vario tipo da scegliersi in funzione: della morfologia e dell'accessibilità dei luoghi, dei previsti meccanismi di rottura, delle caratteristiche meccaniche dei materiali, del costo degli interventi stessi ecc.

Tra gli interventi più diffusi, si possono citare: la stabilizzazione dei blocchi suscettibili di frana mediante muretti di sostegno, speroni ed opere analoghe; l'imbracaggio dei blocchi stessi mediante funi metalliche e/o reti ancorate al suolo; il loro consolidamento mediante chiodi, ancoraggi attivi o passivi, travi ancorate, placcaggi, calcestruzzo proiettato ecc.

Il progetto di questi interventi richiede una accurata indagine preliminare di tipo strutturale consistente nel riconoscimento delle famiglie di discontinuità, tramite rilievi di direzione, inclinazione ed immersione, e rilievi della spaziatura e della persistenza, e nella definizione dei parametri fisici delle discontinuità (rugosità, resistenza a

compressione della roccia in prossimità delle labbra, angolo di attrito di base ecc.). Il riconoscimento delle famiglie di discontinuità e delle loro caratteristiche geometriche e spaziali è necessario per la definizione dei possibili meccanismi di rottura; quello dei parametri fisici delle singole discontinuità può essere utile per utilizzazione di espressioni semi-empiriche della resistenza al taglio (come quella di Barton o quella di Ladanyi e Archambault) qualora non sia possibile alla misura diretta della resistenza stessa tramite prove di taglio diretto in sito od in laboratorio.

Il progetto consisterà nel proporzionare opere strutturali la cui resistenza aggiuntiva sommata a quella propria del materiale potenzialmente instabile (resistenza a trazione, laddove esistano ponti integri, e resistenza al taglio lungo le superfici di scivolamento) risulti congruamente superiore alle forze instabilizzanti dovute alla gravità. Su questo argomento, ed in particolare sui valori dei coefficienti di sicurezza da adottare nella progettazione degli interventi di consolidamento, la Normativa non si esprime. E' comunque ovvio che le opere strutturali siano comunque progettate adottando i coefficienti di sicurezza proposti per esse dalla relativa Normativa in quanto opere strutturali, assumendo come note le azioni da esse assorbite. Cautelativamente, queste possono essere a loro volta calcolate mediante *back analysis* assumendo che siano appena sufficienti a comportare il raggiungimento di un coefficiente di sicurezza unitario del sistema.

Tra gli interventi passivi, si citano:

- reti, barriere ed argini paramassi;
- letti smorzanti;
- gallerie paramassi.

Reti, barriere ed argini paramassi sono tutti interventi finalizzati ad arrestare il moto del blocco nella sua corsa. Vengono in genere realizzati mediante elementi metallici di elevata deformabilità e messi in opera in modo da esaltare la deformabilità dell'insieme, incluse le fondazioni (reti e barriere) o con manufatti di terra.

I letti smorzanti sono costituiti da strati di terreno naturale (in genere granulare) di adeguato spessore e modesta densità relativa, capaci di arrestare il moto di un blocco

smorzandone l'energia cinetica nel momento dell'impatto.

Le gallerie paramassi vengono in genere realizzate lungo tracciati stradali con la sola funzione di proteggere la sede stradale dall'impatto di massi cadenti dall'alto. A volte sulla copertura viene messo in opera un letto smorzante.

Il progetto di queste opere non può prescindere da una valutazione del comportamento dei blocchi nella fase post-rottura. L'analisi delle traiettorie e delle velocità assunte dai blocchi stessi (cinematismo), può essere effettuata mediante un approccio basato sullo studio del moto di un punto materiale in cui viene concentrato il peso. Mediante analisi più sofisticate possono essere considerate la forma e la resistenza dei blocchi oltre che la risposta elastica del suolo ad ogni impatto. Il progetto delle opere di protezione, che hanno la funzione di assorbire l'energia cinetica trasmessa dal blocco, trasformandola in energia di deformazione del sistema struttura-terreno di fondazione, va effettuato in base a criteri di tipo energetico.

L'adozione delle tipologie di intervento va adattata in funzione della situazione dei luoghi e della esperienza del progettista. Questi, tra l'altro, potrà adottare anche una combinazione di più tipologie, il cui effetto integrato risulti particolarmente efficace, o altre tipologie ancora non citate in questa sede.

3.8.2. Colate di detrito

La problematica connessa alla possibilità di intervento nel caso delle colate di detrito (costituite da materiali essenzialmente incoerenti a grana grossa) e di fango (costituite essenzialmente da sabbie e limi spesso inizialmente parzialmente sature) non si discosta da quella esposta per il caso dei crolli. Anche in questo caso, infatti, la velocità dei movimenti attesi è tanto elevata (dell'ordine dei m/s) che non è possibile immaginare la realizzazione di interventi di consolidamento nel corso dei movimenti. Pertanto, le metodologie possibili contemplan ancora una volta il ricorso ad opere attive di consolidamento in aree giudicate a stabilità precaria ovvero interventi passivi finalizzati alla protezione dei beni vulnerabili.

Gli interventi attivi hanno la funzione di mitigare le cause di innesco ovvero di consolidare i potenziali corpi di frana. Infatti, sia nel caso delle colate di detrito che di quelle di fango, spesso i movimenti coinvolgono inizialmente solo modesti volumi di

terreno, ma possono evolvere in maniera catastrofica, mobilitando anche ingenti volumi di terreno disposti lungo la traiettoria del corpo di frana. E' quindi sempre opportuno limitare le possibilità di innesco mediante opere anche di modesto impegno economico. Tra queste, si possono citare:

- opere idrauliche per il controllo delle acque superficiali (canalizzazioni e drenaggi);
- interventi di rimozione di materiale suscettibile a franare;
- viminate ed interventi analoghi di tipo forestale;
- briglie disposte lungo il tracciato di impluvi montani riempiti di materiali suscettibili di colata;
- opere di sostegno in muratura, calcestruzzo, terra rinforzata o mediante paratie di pali o di micropali;
- chiodatura (*nailing*).

Le opere di canalizzazione hanno la funzione di raccogliere e regolare i deflussi superficiali, evitando portate concentrate di acqua capaci di produrre trasporto solido e rapida erosione, specie in terreni sabbio-limosi. Per il loro progetto è necessario un accurato studio dei deflussi superficiali.

I drenaggi sono utili quando i terreni suscettibili a franare sono sede di falde sotterranee o possono essere soggetti a sottospinte idrauliche provenienti da formazioni più permeabili sottostanti (es. materiali limo-sabbiosi a copertura di depositi calcarei fratturati). Essi hanno la funzione di abbattere le quote piezometriche (nelle coltri sede di moti filtranti ovvero nelle formazioni sottostanti). Nel caso qui considerato (terreni di permeabilità relativamente elevata), situazioni in cui sia necessario l'abbattimento di eventuali falde sospese non sono frequenti (in ogni caso, per le relative metodologie di intervento si rimanda al paragrafo successivo relativo alle frane in argilla), mentre è possibile che in qualche situazione sia necessario il ricorso a drenaggi profondi (tipo tubi drenanti). Anche per questo, si rimanda al paragrafo successivo.

La rimozione di materiale può essere necessaria in situazioni in cui si riconosca la suscettibilità a franare di volumi di materiale sciolto, ad esempio accumulato in terrazzi e vallecicole ubicate in quota ovvero all'interno di impluvi montani. La possibilità di

realizzazione di questi interventi è a volte limitata da problemi di accesso.

Gli interventi di tipo forestale hanno l'importante funzione di impedire l'instaurarsi di fenomeni di erosione e di piccoli smottamenti che, per i motivi precedentemente esposti, possono trasformarsi anche in fenomeni catastrofici.

Le briglie vengono disposte all'interno degli impluvi e possono avere sia una funzione attiva (come elementi di contenimento) che passiva (come interventi di protezione). Nel primo caso, esse hanno la funzione di contenimento e sostegno del materiale detritico che si accumula negli impluvi. Esse vanno pertanto proporzionate come qualsiasi opera di sostegno. Nel secondo caso, disposte sempre negli impluvi, ma liberi (o liberati) della presenza di terreni di riempimento, vengono utilizzate essenzialmente come dissipatori di energia. In tal caso, infatti, le tipologie ricorrenti sono quelle di strutture “a griglia”. Specie per la seconda funzione richiamata, la progettazione delle briglie andrebbe opportunamente verificata mediante modellazione fisica.

Le opere di sostegno hanno la stessa funzione degli interventi di tipo forestale prima richiamata e delle briglie (nella versione di interventi di tipo attivo), ma un maggiore impegno statico, rispetto ai primi, e una più ampia possibilità di realizzazione (ad esempio, al di fuori delle zone occupate da impluvi montani), rispetto alle seconde. Le tipologie possibili sono assai varie ed includono sia opere fuori terra, come i muri (sia in pietra che in calcestruzzo), le Terre Armate o le “terre rinforzate”, che entro terra (come le paratie). Ciascuna di queste categorie presenta inoltre un'ampia varietà di sistemi di realizzazione, la cui scelta andrà effettuata in relazione ai vincoli di tipo logistico (possibilità di accesso per gli uomini, i mezzi ed i materiali), tecnico (geomorfologia e natura dei terreni) ed economico. Spesso sono sufficienti interventi anche modesti, ma opportunamente ubicati e mantenuti, per risolvere in maniera brillante situazioni di potenziale rischio.

Le chiodature (*nailing*) sono interventi consistenti nella introduzione nel terreno di barre metalliche opportunamente protette dalla corrosione, micropali o pali isolati con funzione di sostegno o rinforzo delle coltri superficiali soggette al pericolo di frana. Per la progettazione di questi interventi, sono stati elaborati criteri basati sia su analisi tipo equilibrio limite che più sofisticate analisi elasto-plastiche capaci di considerare il regime deformativo di tali strutture (le Raccomandazioni francesi *Clouterre* sono a

questo proposito molto complete).

Tra gli interventi passivi si citano:

- briglie;
- spianate finalizzate allo smorzamento della velocità del flusso;
- vasche di accumulo o di laminazione;
- canali di diversione;
- argini e barriere di tipo strutturale.

La realizzazione delle aree di spianata è tesa alla riduzione dell'energia cinetica del materiale in movimento attraverso la modifica della morfologia delle zone di possibile invasione, spesso poste agli sbocchi di impluvi. La progettazione di questo tipo di intervento può essere basata su criteri di tipo idraulico e verificata mediante modellazione fisica. Essenziale ai fini della progettazione è la stima dei volumi mobilitati e della loro velocità.

Le vasche di accumulo o di laminazione consistono in scavi da realizzare lungo il possibile tracciato della colata, con la funzione di arrestare i movimenti (vasche di accumulo) mediante assorbimento dei volumi di terreno in colata ovvero smorzamento delle relative velocità (vasche di laminazione). La relativa progettazione sarà basata su approcci di tipo idraulico in cui è essenziale la stima del volume di materiale mobilitato e della sua velocità. E' raccomandabile la verifica della funzionalità del sistema mediante modellazione numerica e fisica.

Le opere di deviazione rappresentano strutture con funzione di convogliare il flusso di materiale di colata verso zone prive di elementi a rischio. Tali opere possono essere sia tipo strutturale che geotecnico (in terra). La progettazione della posizione e delle caratteristiche geometriche di questi manufatti è essenziale ai fini di un loro corretto funzionamento.

3.8.3. Scorrimenti in argilla

Gli scorrimenti ed i colamenti vengono qui trattati unitariamente, sia perché i relativi meccanismi sono solo relativamente differenti, sia perché le tipologie di intervento sono

spesso simili.

Le frane in argilla sono generalmente caratterizzate da velocità minori che nei casi precedenti (crolli in roccia, colate di detrito o di fango). Le velocità maggiori caratterizzano gli scorrimenti di primo distacco ed i colamenti nella fase parossistica di innesco. In questi casi, possono essere raggiunte velocità fino a qualche m/ora. Negli altri casi, le velocità raramente superano qualche m/giorno e sono sovente dell'ordine dei m/mese fino ai cm/anno. Va inoltre considerato che i soli colamenti hanno significative capacità di propagazione sui pendii, mentre gli scorrimenti si sviluppano essenzialmente lungo la stessa superficie di scorrimento formatasi nel momento della rottura.

Questi aspetti del comportamento delle frane in argilla pongono il problema del rischio in termini differenti che nei casi precedenti. Infatti, il rischio di perdite di vite umane è limitato, ed in ogni caso è possibile l'evacuazione dalle zone minacciate. Inoltre, per lo meno nel caso degli scorrimenti, il rischio stesso è limitato all'area direttamente coinvolta dal collasso. Nel solo caso dei colamenti, la capacità del corpo di frana di propagarsi lungo il pendio mette a rischio aree sottese dalla zona del dissesto, ma la velocità con cui la frana si propaga consente di mitigare i danni, sia mediante l'evacuazione di uomini e cose, che mediante la realizzazione di interventi di consolidamento, possibili nel corso stesso degli eventi. Dopo l'arresto dei movimenti, è comunque spesso necessario eseguire delle opere definitive di consolidamento allo scopo di limitare la possibilità di fenomeni di riattivazione, tipici dei terreni argillosi, al cui resistenza al taglio subisce una drastica riduzione lungo la superficie di scorrimento. La tipologia dei possibili interventi di consolidamento di frane in argilla (siano esse di tipo scorrimento che di tipo colamento) è molto varia e dipende notevolmente dalle condizioni iniziali (morfologia, dell'area, struttura del sottosuolo, meccanismi di rottura e geometria del corpo di frana, regime delle acque sotterranee, proprietà dei terreni) e dalle cause di innesco. Questi interventi sono di tipo attivo e possono essere eseguiti sia con funzione preventiva (allo scopo di prevenire il collasso), che curativa (durante i movimenti, per mitigarne gli effetti e possibilmente stabilizzare il corpo di frana), che di stabilizzazione definitiva (allo scopo di evitare fenomeni di riattivazione).

Tali interventi possono essere finalizzati sia alla riduzione delle azioni instabilizzanti,

che all'incremento delle azioni stabilizzanti.

Tra le azioni instabilizzanti, si possono citare gli eventi meteorici (che influenzano direttamente il regime delle acque sotterranee e quindi la resistenza al taglio dei terreni), gli eventi sismici, l'erosione, il decadimento delle proprietà meccaniche dei terreni (per effetto dell'alterazione, del *softening* e, talvolta, anche dell'immissione di sostanze inquinanti) e le azioni antropiche.

La riduzione delle azioni instabilizzanti deve essere quindi diretta verso tutte le cause ora citate e può essere ottenuta sia mediante un'attenta e continua manutenzione e gestione del territorio, che mediante interventi *ad hoc*, come drenaggi (per il controllo delle acque sotterranee), briglie, muretti, gabbionate, inerbimenti ecc. (per il controllo o dell'erosione).

Un particolare tipo di interventi finalizzati alla riduzione dei carichi instabilizzanti è costituito da movimenti di terra per il rimodellamento dei versanti. Questi consistono in riprofilature, terrazzamenti, gradonature, scavi, capaci di ridurre i carichi instabilizzanti dovuti al peso proprio dei terreni. Il progetto di questi interventi può essere effettuato con i classici metodi dell'equilibrio limite, capaci di definire con chiarezza l'influenza sul coefficiente di sicurezza della distribuzione dei carichi sul pendio.

L'incremento delle forze stabilizzanti può essere ugualmente ottenuto mediante movimenti di terra, oppure con sostituzione di materiale, miglioramento dei terreni, drenaggi, opere di sostegno, chiodature, ancoraggi, ecc.

In questo caso, i movimenti di terra consistono nella realizzazione di berme o di riempimenti al piede del versante, con la funzione, sia di riequilibrare la distribuzione dei carichi sul pendio, sia di incrementare l'aliquota di resistenza al taglio dovuta all'attrito. Questo tipo di interventi è particolarmente opportuno quando il cinematisma del corpo di frana è di tipo rotazionale; è invece inadatto nel caso di movimenti traslativi. Esso può essere molto efficace come intervento curativo nel corso stesso dei movimenti annullandoli o comunque riducendone la velocità. Una buona progettazione può essere effettuata mediante i classici metodi dell'equilibrio limite. I movimenti di terra sono condizionati dall'entità dei volumi di terreno da movimentare.

La sostituzione di materiale può essere realizzata solo quando i volumi da sostituire sono modesti, e soprattutto nel caso l'intervento riguardi spessori modesti di terreno.

Questi interventi sono efficaci soprattutto nel caso di fenomeni riattivati (caratterizzati da bassa resistenza al taglio mobilitata) utilizzando materiali grossolani dotati di elevato attrito. La progettazione può essere effettuata utilizzando i metodi dell'equilibrio limite. Interventi tesi a migliorare le caratteristiche dei terreni mediante iniezioni, elettroosmosi, *jet grouting*, pali di calce, cottura delle argille sono raramente realizzabili per difficoltà tecnologiche e comunque solo nel caso di frane di modeste dimensioni. E' opportuna la verifica della efficacia degli interventi mediante campi prova.

I drenaggi, sia superficiali (trincee drenanti) che profondi (setti, tubi, pozzi, gallerie drenanti) hanno la funzione di ridurre le pressioni neutre, incrementando il regime delle tensioni efficaci. Naturalmente, essi hanno efficacia solo nel caso le pressioni neutre alla base del movimento franoso assumano valori significativi.

Le trincee drenanti raggiungono raramente profondità superiori a 5-6 m e vengono disposte secondo file parallele o «a spina di pesce», comunque sempre secondo la massima pendenza del versante. Il progetto può essere sviluppato per via numerica o utilizzando abachi validi, però, solo per casi particolari. Nella progettazione, è importante tenere conto dei tempi necessari per raggiungere l'«efficienza» richiesta. Le trincee drenanti sono particolarmente efficaci nel caso dei movimenti traslativi su versanti di modesta pendenza, ma non è opportuno realizzarle su pendii in movimento. Esse vanno opportunamente protette, mediante filtri o geotessili, da fenomeni di «contaminazione».

Quando devono essere raggiunte profondità più importanti, possono essere realizzati setti drenanti, che hanno lo stesso funzionamento delle trincee drenanti.

I tubi drenanti vengono realizzati su pendii più inclinati e spesso in congiunzione con altri interventi (muri, paratie, pozzi). Vengono progettati mediante approcci numerici o utilizzando abachi validi solo per casi articolari. Anche in questo caso, nella progettazione è importante tenere conto dei tempi necessari perché sia raggiunta l'«efficienza» richiesta. Vanno opportunamente protette da fenomeni di intasamento mediante «calze» di geotessile.

I pozzi drenanti possono essere di piccolo ($d=1-1.5$ m) e di grande diametro (fino a 10-15 m) e raggiungono profondità di 8-10 m, nel primo caso, anche molto maggiori nel secondo. Nel primo caso, tranne alcuni pozzi, che vengono rivestiti per consentire

l'ispezione, sono riempiti di materiale arido e disposti in fila secondo la linea di massima pendenza; sono inoltre collegati in basso mediante un tubo collettore col quale viene ottenuto lo scarico per gravità dell'acqua drenata. Nel secondo caso, i pozzi sono sostenuti da paratie di pali disposte ad anello e rinforzate con travi ad anello interne, e, spesso, integrati con tubi drenanti realizzati a partire dal fondo. Hanno quindi, anche una funzione strutturale. Spesso sono isolati o realizzati in piccolo numero. Lo scarico delle acque raccolte va effettuato mediante pompe. Il progetto di questi pozzi è sia strutturale che idraulico.

Cunicoli e gallerie drenanti consentono di raggiungere grandi profondità ed operare sulle falde profonde. Sono spesso integrati con raggieri di tubi drenanti.

Le opere di sostegno (muri, paratie), eventualmente integrate con ancoraggi, hanno efficacia solo per spessori instabili relativamente contenuti (fino ad una decina di metri o poco più). In alcuni casi vengono disposte ad arconi per assorbire sforzi maggiori di quelli operativi in regime piano di deformazione. Nel caso di frane attive, l'azione esercitata dai terreni su tali strutture può essere calcolata mediante *back analysis* utilizzando i metodi dell'equilibrio limite. Il valore limite che tale azione può attingere è comunque quello della spinta passiva. Si osservi che una struttura di sostegno capace di assorbire la spinta passiva trasmessa dal terreno non è necessariamente capace di stabilizzare la frana che potrebbe comunque scavalcarla.

In alcuni casi (movimenti superficiali) è possibile intervenire con manufatti in terra rinforzata o in Terra Armata.

Delle chiodature si è già discusso nel paragrafo precedente.

Gli ancoraggi (sia attivi che passivi) vengono spesso realizzati in congiunzione con altri interventi (muri e paratie). Altre volte possono essere realizzati da soli, trasmettendo gli sforzi al terreno tramite placcaggi, travi o piastre isolate. L'efficacia degli ancoraggi può essere valutata mediante i metodi dell'equilibrio limite, considerando le sollecitazioni trasmesse da questi ultimi sulla superficie di scorrimento. Questi interventi sono a volte inefficaci a causa della corrosione che attacca le barre. E' quindi necessaria l'adozione di efficaci metodi di protezione contro la corrosione.

3.9. Ulteriori considerazioni

E' possibile che, anche dopo che siano state portate a termine tutte le azioni di cui ai punti precedenti, si stimi che in alcune aree permanga un rischio residuo.

In tali contesti sarà necessario proseguire il monitoraggio ed eventualmente il presidio territoriale per approfondire la conoscenza delle situazioni ed avviare eventualmente una procedura di continua manutenzione e/o consolidamento per la progressiva mitigazione del rischio residuo secondo un procedimento di tipo essenzialmente osservazionale.

Fino a che il rischio non sia stato significativamente ridotto, potranno essere installati o mantenuti dei sistemi di allerta e di allarme, i cui parametri di controllo potranno essere eventualmente modificati in funzione dell'incremento delle conoscenze derivante dal monitoraggio stesso.

4. Criteri di progettazione degli interventi

La scelta e la progettazione degli interventi di consolidamento è subordinata alla valutazione di numerosi fattori derivanti sia dal contesto geologico-ambientale di riferimento, che alla destinazione d'uso del pendio.

Per l'ampiezza e la complessità del tema, piuttosto che di regole generali di progetto, difficilmente codificabili, nel seguito verranno fornite alcune raccomandazioni, la cui validità deriva dalle conoscenze acquisite in campo tecnico-scientifico dopo molti anni di sperimentazione su casi reali.

Le indagini e gli studi svolti nell'ambito delle attività di presidio territoriale, finalizzate all'inquadramento del fenomeno, costituiscono la fase preliminare delle indagini di dettaglio sulle quali basare la progettazione geotecnica di ogni intervento. L'accurata individuazione topografica del fenomeno, le conoscenze di base degli elementi di geologia, geomorfologia, geotecnica, etc, rappresentano, infatti, l'indispensabile punto di partenza della progettazione.

I modelli di calcolo utilizzati per le analisi di stabilità (in assenza e in presenza di interventi di consolidamento) devono essere considerati solamente come *schemi*

semplificati di riferimento, da applicarsi con cautela ai fini dell'interpretazione di un fenomeno reale spesso altamente complesso.

Essi dovranno essere impostati assumendo come parametri di riferimento quei fattori che, nel singolo caso in esame, si ritengono più significativi e che sono stati posti sotto controllo con misure in sito estese ad un arco di tempo sufficientemente lungo per la raccolta dei dati significativi (ad esempio, pressioni neutre, spostamenti). Le verifiche condotte attraverso un siffatto modello risulteranno di gran lunga più significative in quanto “*tarate*” sulla base di risultati sperimentali e consentiranno, laddove ritenuto necessario, la modifica del tipo di modello da utilizzare.

Sarà, comunque, opportuno accertare la *sensibilità* dei risultati del calcolo alle variazioni che tali parametri potranno subire nel tempo o per l'incertezza derivante da stime preliminari.

Un altro aspetto molto importante è quello legato alla *definizione del coefficiente di sicurezza FS* e alla *scelta del valore numerico* da attribuire allo stesso nella valutazione del grado di stabilità di un pendio prima ed eventualmente dopo la realizzazione di interventi di consolidamento.

Con riferimento al primo aspetto ed in particolare al caso degli scorrimenti, i vari metodi disponibili per le verifiche di stabilità definiscono il coefficiente di sicurezza in svariati modi, comunque riconducibili alle seguenti tre definizioni nelle quali si fa riferimento ad un evento di rottura lungo un'ipotetica superficie di scorrimento:

- rapporto tra le forze che si oppongono allo scivolamento (Forze Resistenti F_R) e quelle che lo favoriscono (Forze Instabilizzanti F_I): $FS = F_R / F_I$;
- rapporto tra il momento, intorno ad un punto, delle forze che si oppongono allo scivolamento ed il momento delle forze che lo favoriscono: $FS = M_R / M_I$;
- rapporto tra la resistenza al taglio disponibile ($\tau = c' + \sigma' \tan \varphi$) e la tensione tangenziale media mobilitata (τ_m): $FS = \tau / \tau_m$.

In alcuni casi (verifiche svolte in termini di tensioni efficaci), potranno essere introdotti fattori di sicurezza parziali FS_c e FS_φ con i quali si riducono localmente i parametri di

resistenza al taglio misurati con le prove in sito o di laboratorio ($c'_m = c' / FS_c$; $\tan \varphi'_m = \tan \varphi' / FS_\varphi$).

Le precedenti definizioni fanno tutte riferimento a metodi deterministici per l'accertamento del grado di sicurezza; il giudizio sull'*affidabilità del progetto* dipende, dunque, in larga massima, dall'esperienza del progettista. Teoricamente la stabilità è assicurata se il coefficiente di sicurezza è superiore all'unità; i valori numerici assunti da tale coefficiente dipendono, tuttavia, dalla definizione prescelta.

La diversità di definizioni comporta, inoltre, l'assunzione di differenti valori di esercizio per i singoli valori della resistenza al taglio, come può facilmente verificarsi mettendo a confronto, per esempio, le ultime due definizioni. Appare, infatti, evidente che FS_c e FS_φ coincidono solo se assumono il valore del coefficiente di sicurezza globale FS . Tale circostanza è tutt'altro che frequente soprattutto in terreni argillosi, stante la diversa dipendenza della coesione e dell'angolo di attrito dagli spostamenti: il primo dei fattori citati si mobilita, infatti, per spostamenti notevolmente inferiori a quelli necessari per mobilitare la resistenza per attrito. Ne segue che se, in dipendenza degli spostamenti avvenuti, la coesione si è interamente mobilitata ($FS_c = 1$), il coefficiente di sicurezza parziale FS_φ deve assumere valori alquanto superiori all'unità perché FS conservi il valore che si intende globalmente attribuire al pendio; inoltre i vari procedimenti numerici di calcolo forniscono in generale risultati alquanto diversi per il coefficiente di sicurezza.

Da quanto detto, risulta indispensabile che la valutazione del grado di stabilità di un pendio (con o senza interventi) venga effettuata *specificando* di volta in volta a quale definizione del coefficiente di sicurezza ci si riferisce ed attraverso quale procedimento di calcolo esso è stato valutato.

Per quanto riguarda la *scelta del valore numerico* da attribuire al coefficiente di sicurezza, nel caso concreto esso dipende:

- dal grado di approssimazione delle indagini;
- dall'affidabilità dei processi di elaborazione ed interpretazione dei dati raccolti;

- dalla completezza delle informazioni disponibili;
- dalle conseguenze prodotte in termini di vite umane e/o di danni economici.

Nello spirito di tutto quanto detto finora, il D.M. 11.03.1988 non fornisce alcun valore per i pendii, in quanto *“il valore del coefficiente di sicurezza sarà assunto dal progettista e giustificato sulla base delle considerazioni relative al livello di conoscenza raggiunto ed al grado di affidabilità dei dati disponibili, alla complessità della situazione geologica e geotecnica”*. Può, comunque, essere utile segnalare che nel citato decreto viene richiesto un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1.3 per i fronti di scavo e per la stabilità globale di un muro di sostegno, da valutare con metodi analoghi a quelli utilizzati per la verifica di stabilità dei pendii. Inoltre, altre normative, come quelle relative alla progettazione di sbarramenti idraulici in terra consentono l’adozione di un coefficiente di sicurezza pari ad 1.2 in presenza di azioni sismiche.

Tenuto conto che le situazioni alle quali il D.M. fa riferimento sono caratterizzate dalla conoscenza di una serie di elementi (condizioni al contorno, geometria e proprietà meccaniche dei materiali), nel caso di pendii naturali, per i quali l’incertezza relativa a tali elementi è in genere molto maggiore, pur in assenza di indicazioni cogenti, appare naturale imporre coefficienti di sicurezza non inferiori a quelli proposti per i pendii artificiali. Solo in situazioni particolari per le quali esistano i presupposti per una progettazione spinta e, contemporaneamente, non siano previste conseguenze catastrofiche sulla vita umana, sulle strutture e sulle infrastrutture e sulle attività economiche, il progettista potrà valutare se adottare coefficienti di sicurezza minori.

A questo proposito, si rileva che normative adottate da altri Paesi (ad. es. Hong Kong) sono più articolate e forniscono valori differenziati in funzione di varie combinazioni di rischio, comunque sempre in presenza di un’area di limitata estensione nella quale il livello di conoscenze geologiche e geotecniche è molto elevato.

5. Aree degli approfondimenti previsti in Convenzione

5.1. Generalità

Nel seguito vengono riportate le linee guida per la mitigazione del rischio nelle tre zone di approfondimento nell'area campione indicate nella cartografia in scala 1:25.000 mostrata sulla Figura I, ricadenti nell'area di competenza dell'Autorità di Bacino Sinistra Sele, ed in particolare nel territorio del Comune di Celle di Bulgheria (SA).

Le zone individuate e ritenute significative per le finalità del presente lavoro sono:

- versante montagnoso settentrionale di Monte Bulgheria e relativo piedimonte (Foto n. 1)
- versante collinare tra Celle di Bulgheria e Poderia (Foto n. 2)
- gola del F. Mingardo (Foto n. 3)

e ricoprono rispettivamente una superficie di circa 8, 10 e 2 km².

Sulla Foto n. 4 viene mostrato una porzione di versante collinare e del suo raccordo con fondovalle del F. Mingardo.

Esse sono oggetto di movimenti franosi di caratteristiche diverse (crolli, colate detritiche, colate detritico-fangose rapide, colate lente in argilla, scorrimenti rotazionali e roto-traslativi, ecc.), che possono essere considerati rappresentativi di numerosi altri ambiti territoriali ricadenti nell'area di competenza dell'Autorità di Bacino.

Pertanto le linee guida qui proposte, finalizzate alle sole zone esplicitamente indicate nel presente documento, sono comunque un documento di base utile per una effettiva mitigazione del rischio di frana nell'ambito di tutta l'area in questione.

Il documento qui proposto è stato elaborato sulla scorta di una cartografia redatta in scala 1:5000. Esso consente una migliore rappresentazione di quelle zone, già individuate in scala 1:25000, di cui è stato possibile delimitare più dettagliatamente i limiti e per le quali sono stati definiti gli scenari di rischio.

La documentazione fotografica allegata alla presente relazione fornisce un'ulteriore rappresentazione capace di meglio chiarire la tipologia dei fenomeni in atto o temuti e dei relativi contesti fisici di riferimento. Mediante gli approfondimenti, innanzi tutto geologici e geomorfologici, che è stato possibile effettuare in tali zone, e sulla scorta dei pochi dati stratigrafici disponibili, in questa sede vengono definite le procedure e le metodologie utili per la mitigazione del rischio.

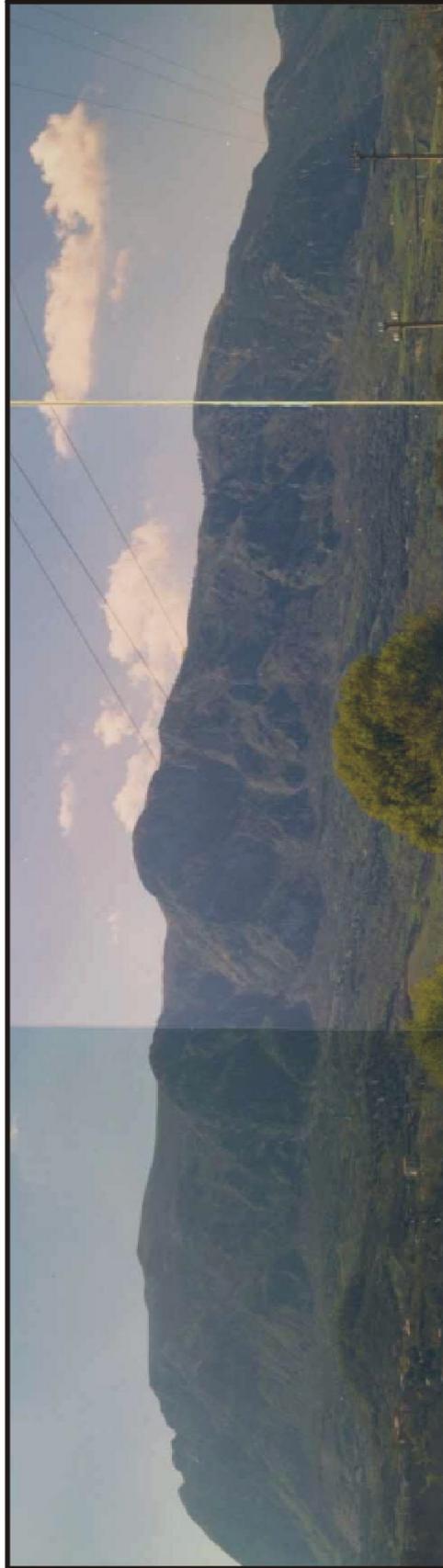


Foto 1: Settore orientale del versante montagnoso settentrionale del M.te Bulgheria e relativo piedimonte



Foto 2: Il versante collinare e piedimonte settentrionale del M.te Bulgheria; sulla destra l'abitato di Celle di Bulgheria, sulla sinistra la frazione di Podernia, sullo sfondo il fondovalle del F. Mingardo



**Foto 3: Gole del F. Mingardo con il versante della Tragara;
in primo piano il borgo medioevale di San Severino di Centola**



**Foto 4 : Il versante collinare e relativa pendice a raccordo
con il fondovalle del F. Mingardo**

Anche tenuto conto della limitatezza degli strumenti che è stato possibile utilizzare per la limitata disponibilità di fondi (al momento sono del tutto assenti dati di carattere geotecnico e strumentale, essenziali per lo sviluppo di tali studi), mano a mano che sarà possibile disporre di ulteriori dati, eventualmente elaborati in scale più dettagliate, e quindi più adatte per la risoluzione del problema della mitigazione del rischio di frana, il presente documento andrà ulteriormente approfondito. Si ritiene che il processo dinamico di progressivo sviluppo ed approfondimento di tutta la documentazione raccolta, attraverso ulteriori rilievi geologici e geomorfologici, e soprattutto indagini di carattere geotecnico e strumentale, debba rappresentare una delle *idee chiave* per l'effettiva mitigazione del rischio in tutte le aree di competenza dell'Autorità di Bacino.

5.2. Assetto geologico e geomorfologico

Dal punto di vista geologico e geomorfologico, l'area campione di Celle di Bulgheria risulta sufficientemente nota, ai fini del presente studio.

Guida et al.(1989 e 1996), seppur con riferimento alle problematiche relative alle Deformazioni Gravitative Profonde di Versante ed alla pianificazione ambientale, forniscono un utile modello geologico e geomorfologico del fronte settentrionale del M.te Bulgheria e del relativo piedimonte.

I modelli illustrati dagli Autori forniscono gli elementi di base per la comprensione dei *fattori spaziali* del volume significativo di versante (litologie, stato fisico-chimici, rapporti geometrici, assetto macro e mesostrutturale) e dei *fattori temporali* (tendenze a lungo termine del regime tettonico regionale, successione degli eventi morfogenetici passati e tendenze morfoevolutive attuali).

Il massiccio carbonatico del M.te Bulgheria è costituito da una successione stratigrafica di margine di piattaforma carbonatica che va dal Trias al Miocene, denominata Unità Stratigrafico-strutturale del Monte Bulgheria.

Lungo il fronte settentrionale del massiccio affiorano esclusivamente le formazioni stratigraficamente più alte dell'Unità, in particolare:

- **Membro delle Marne Gialle:** marne e marne argillose giallastre; calcareniti e calcari marnosi, LIAS SUP.

- **Formazione dei Calcari Oolitici:** calcilutiti e calcareniti grigio-azzurre ben stratificate; calcilutiti nere; calcareniti oolitiche con rare liste di selce, BERRIASIANO-BAIOCIANO.
- **Formazione dei Calcari a Frammenti di Rudiste:** calciruditi a frammenti di rudiste e calcareniti grigie ben stratificate, CRETACICO SUP.
- **Formazione della Scaglia Rossa:** calcilutiti grigie ben stratificate calcari marnosi giallastri, rosati e rossi (“scaglia”) in strati e straterelli - OLIGOCENE - SENONIANO SUP.
- **-Formazione dei Calcari a Miogypsine:** calcareniti grigie ben stratificate, LANGHIANO - AQUITANIANO
- **Formazione del “Flysch Nero” di S. Giovanni a Piro:** alternanza di strati e straterelli di marne, argille e calcari marnosi verdognoli, grigi e nerastri con livelli di quarzoareniti, calcareniti e brecciole calcaree – MIOCENE INFERIORE.

Su quest’ultima formazione poggia in contatto tettonico per sovrascorrimento una successione calcareo-marnoso-argillosa attribuibile alle **Successioni “ad affinità sicilide”** ed alla **Formazione delle Crete Nere**, appartenenti entrambe alla famiglia delle Unità Interne di Bonardi (1988). Tale accavallamento tettonico è ben rappresentato in località Morigialdo, dove i terreni sovrascorsi formano un “klippe” residuale con un evidente riscontro morfologico (Foto n.5).

L’assetto strutturale di questo settore del massiccio carbonatico, invece, è caratterizzato da una piega asimmetrica coricata e da una superficie di accavallamento complessa (faglia inversa e piega-faglia) che sovrappone la successione carbonatica ai terreni fliscioidi.

Lungo il fronte settentrionale si riconosce una porzione centrale, caratterizzata anche da una maggiore elevazione, e da due settori meno elevati uno ad Est, nei pressi di S. Giovanni a Piro ed uno ad Ovest, nei pressi di Centola-Palinuro.

Questa segmentazione del massiccio è probabilmente legata alla tettonica polifasica, che ha fatto sopravanzare il corpo centrale della piega, originariamente con vergenza N-S, rispetto alle ali che si sono poi svincolate tramite due fasce di trascorrenza, orientate attualmente circa N45°, durante una fase compressiva successiva.



Foto 5: Rilievo collinare di Colle Morigialdo: "klippe" residuale di successioni ad affinità sicilide calcareo-mamoso-argillose, sovrascorse sul Flysch Nero.

Durante la storia deformativa del massiccio si sono prodotti accavallamenti secondari che hanno condotto ad una generale struttura tettonica a scaglie, come ben visibile presso il borgo medioevale di S. Severino di Centola (Foto n. 6).

Per meglio illustrare l'assetto geostrutturale del massiccio, qui di seguito viene mostrato uno Schema Strutturale e delle sezioni geologiche schematiche con relativa traccia di riferimento.

Sul substrato in posto prequaternario così costituito e strutturato poggiano depositi di ambiente esclusivamente continentale, ma di genesi ed età differenziata.

I terreni della copertura detritica più antichi presenti nell'area in esame sono costituiti dai **detriti calcarei cementati**, informalmente denominati Breccie di Poderia, composti da corpi detritici stratoidi (Foto n. 7) amalgamati in forma di conoidi antiche anastomizzate e di falde detritiche al piede del versante calcareo settentrionale del M.te Bulgheria e del relativo piedimonte, fino al fondovalle del F. Mingardo. Lo spessore di questi detriti cementati, sulla base delle informazioni raccolte, risulta non inferiore a 20 metri.

I detriti cementati poggiano sia sul substrato argilloso- marnoso del Flysch Nero che su lembi di alluvioni antiche del F. Mingardo, come evidenziato da alcuni sondaggi geognostici e da stratigrafie di pozzi per acqua.

L'età di questi depositi , quindi, risulta non più recente del Pleistocene Medio.

Sovrapposti ai precedenti e di età più recente sono presenti, sempre lungo la fascia pedemontana di M.te Bulgheria, **detriti calcarei sciolti**, differenziabili in ragione della maggiore o minore presenza di matrice sabbioso-limosa di natura residuale ovvero piroclastica. Lo spessore è molto variabile fino a circa 20 metri.

Accumuli di frana antichi, recenti ed attuali, composti da argille limose rimaneggiate con blocchi e scheletro litoide da medio a minuto, ricoprono i versanti collinari, alternati agli accumuli colluviali che colmano le depressioni topografiche sul substrato e sui detriti calcarei cementati e sciolti.

Depositi colluviali sono diffusi lungo le vallette dei ripiani sommitali, lungo i versanti montagnosi e collinari sia in forma di “talus” che di vallette a fondo concavo; si



Foto 6: Superficie di accavallamento secondaria (faglia inversa) lungo il fianco destro delle Gole del Mingardo presso il borgo medioevale di S. Severino.

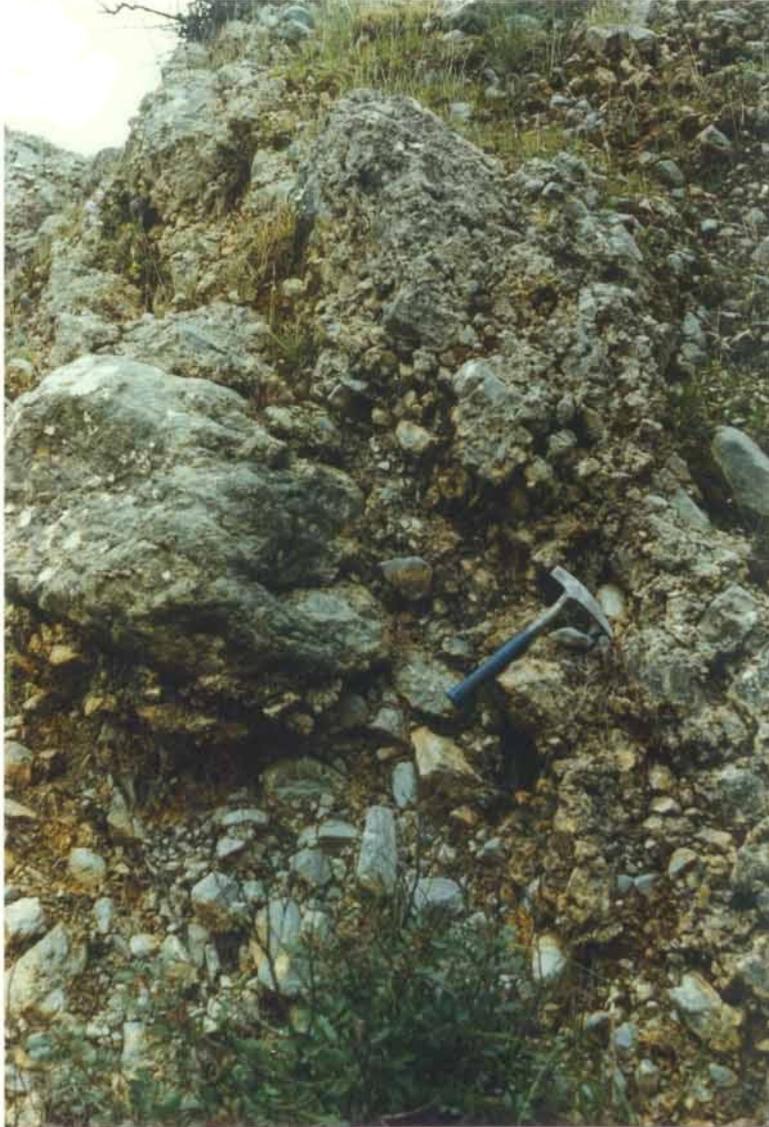


Foto 7: Detrito cementato in località Terra Palumbo presso Poderia.

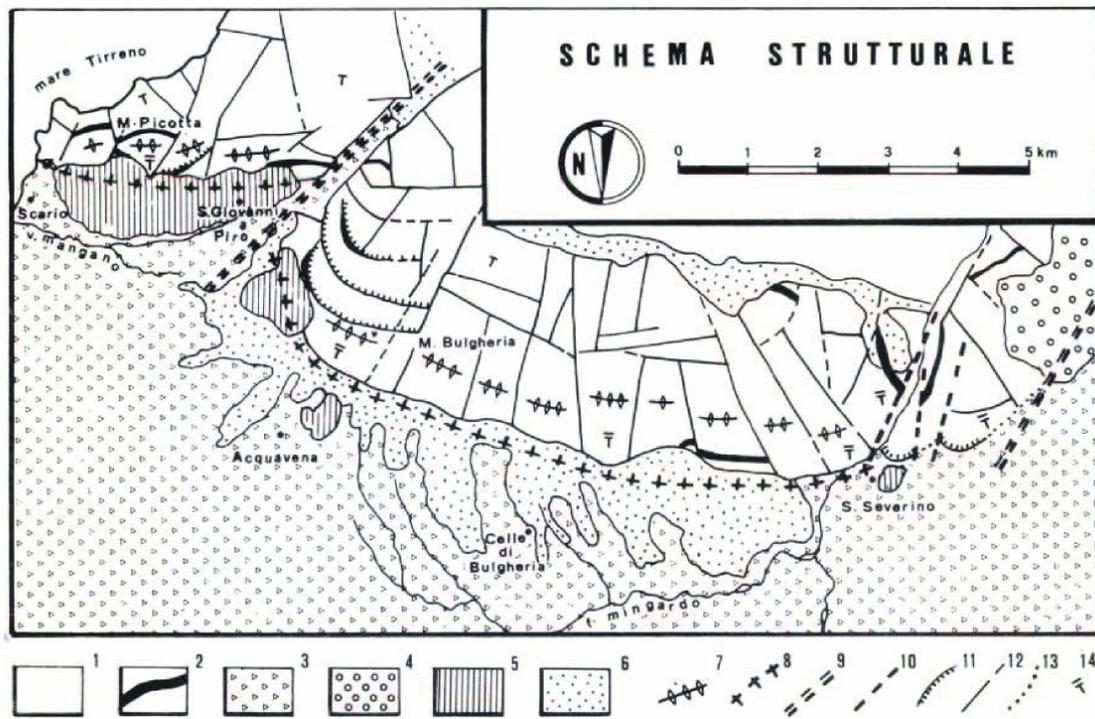


Fig. 1 - SCHEMA STRUTTURALE. Legenda: 1) Calcari (Lias inf.-Oligocene); 2) Marne ad Ammoniti (Lias sup.); 3) Flysch; 4) Conglomerati di Centola (Pleistocene inf.); 5) Corpi dislocati da fenomeni gravitativi; 6) Detriti di falda cementati e sciolti; 7) Asse di piega; 8) Superficie di accavallamento principale; 9) Faglie principali a prevalente componente orizzontale; 10) Faglie secondarie a prevalente componente orizzontale; 11) Faglie inverse; 12) Faglie dirette; 13) Scollamenti; 14) Giacitura degli strati.

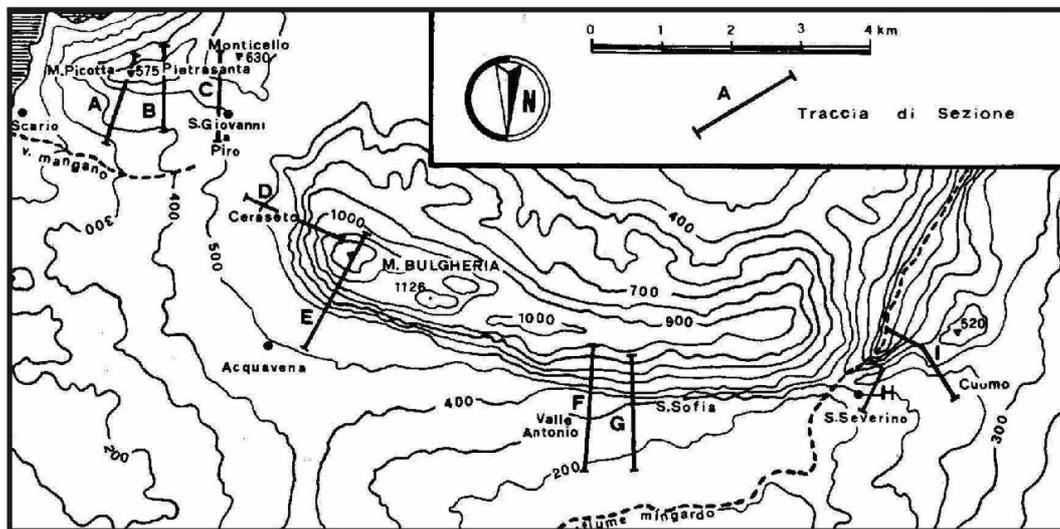


Fig. 2: Schema geomorfologico con ubicazione dei profili

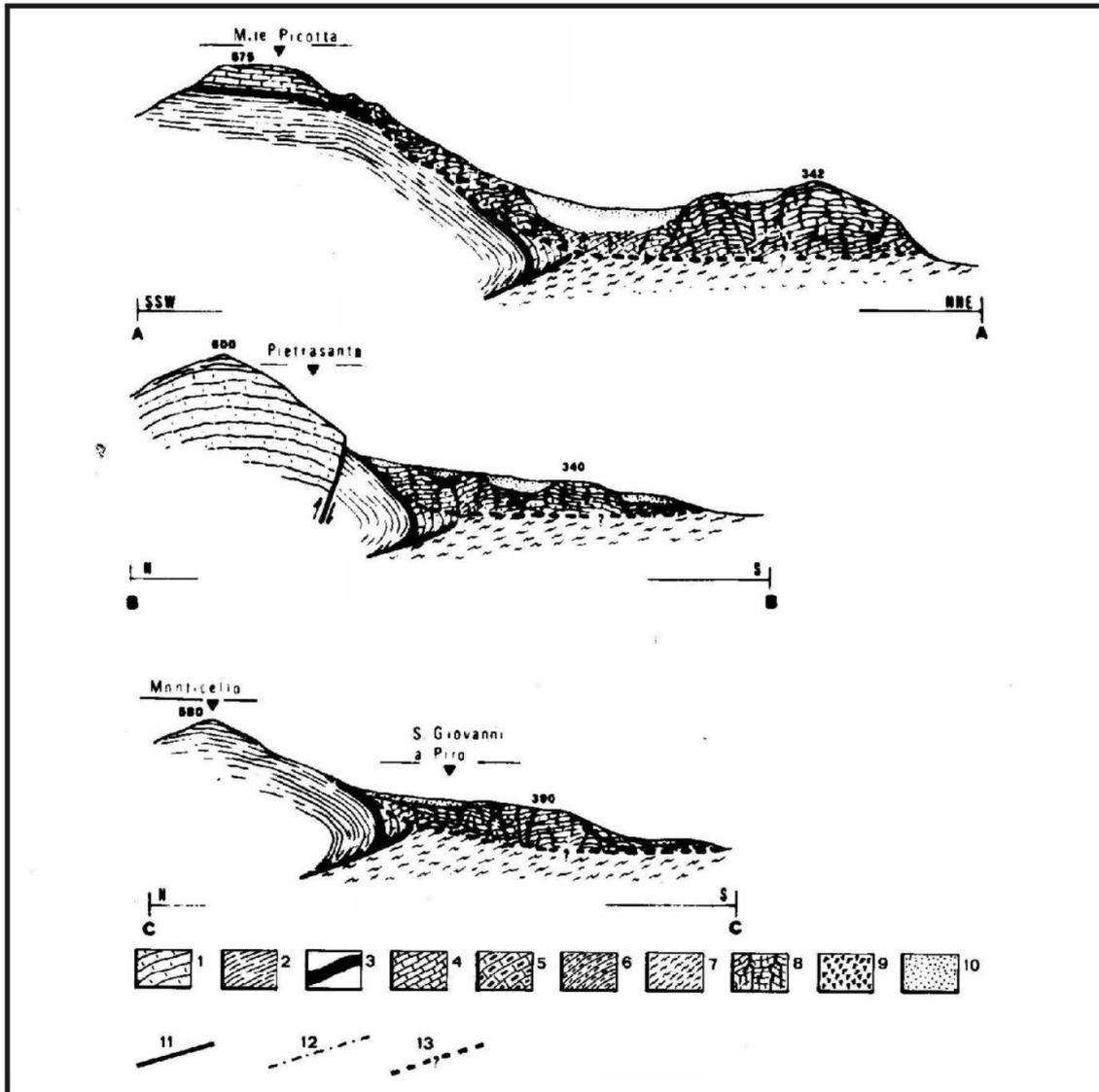


Fig.3

Figg. 3, 4, 5, 6 - SEZIONI GEOLOGICHE. Legenda: 1) Calcari dolomitici (Lias inf); 2) Calcari con selce (Lias medio); 3) Marne gialle ad Ammoniti (Lias Sup.); 4) Calcari oolitici e pseudoolitici (Giurassico sup.-Cretacico inf.); 5) Calcari a frammenti di Rudiste (Cretacico sup.); 6) Calcari marnosi tipo scaglia (Cretacico sup. - Oligocene); 7) Flysch; 8) Corpi dislocati da fenomeni gravitativi; 9) Detrito cementato; 10) Detrito sciolto e terreni eluvio-colluviali; 11) Superfici di accavallamento principali e faglie inverse; 12) Faglie dirette; 13) Superfici di rottura per gravità.

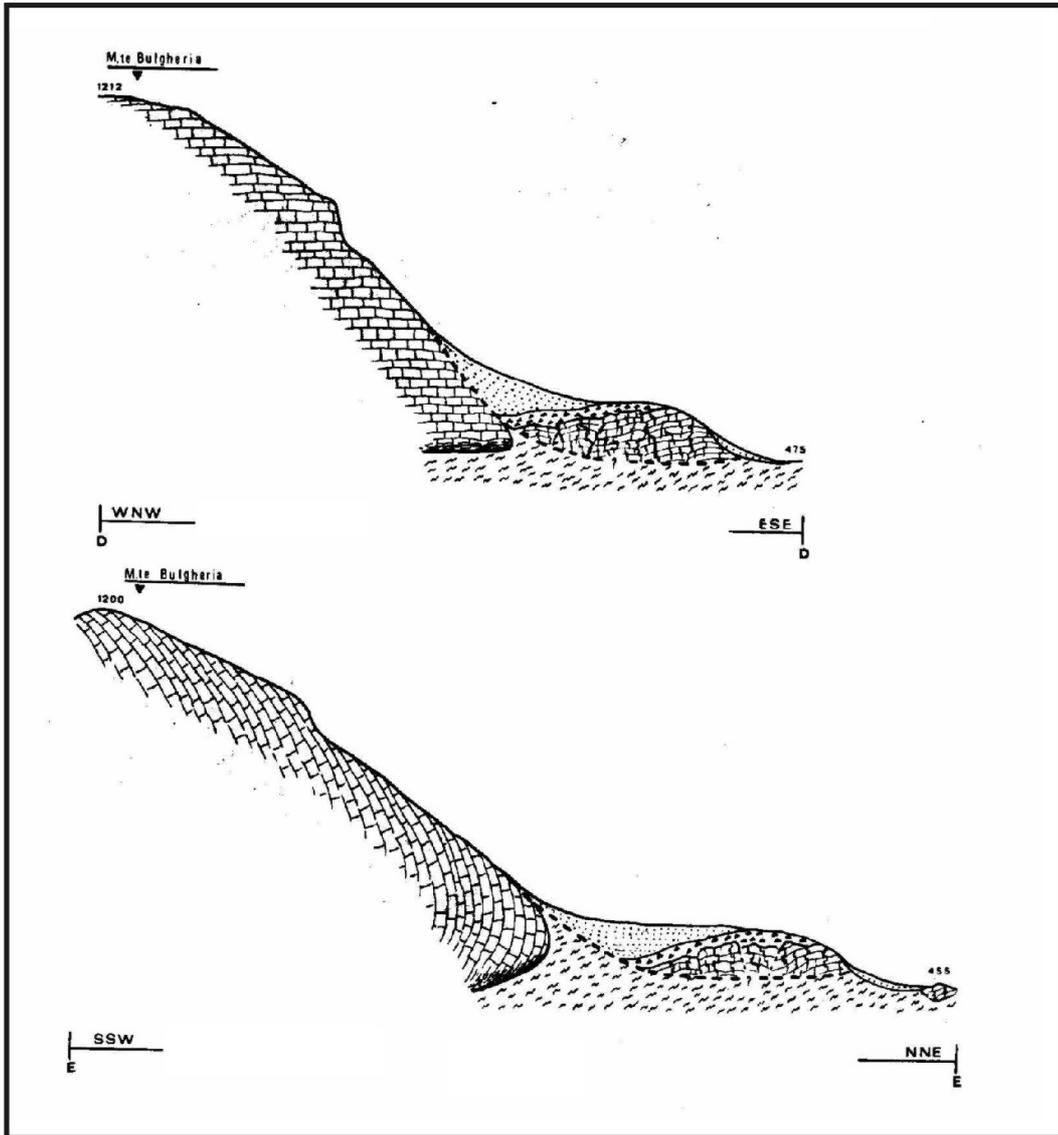


Fig. 4

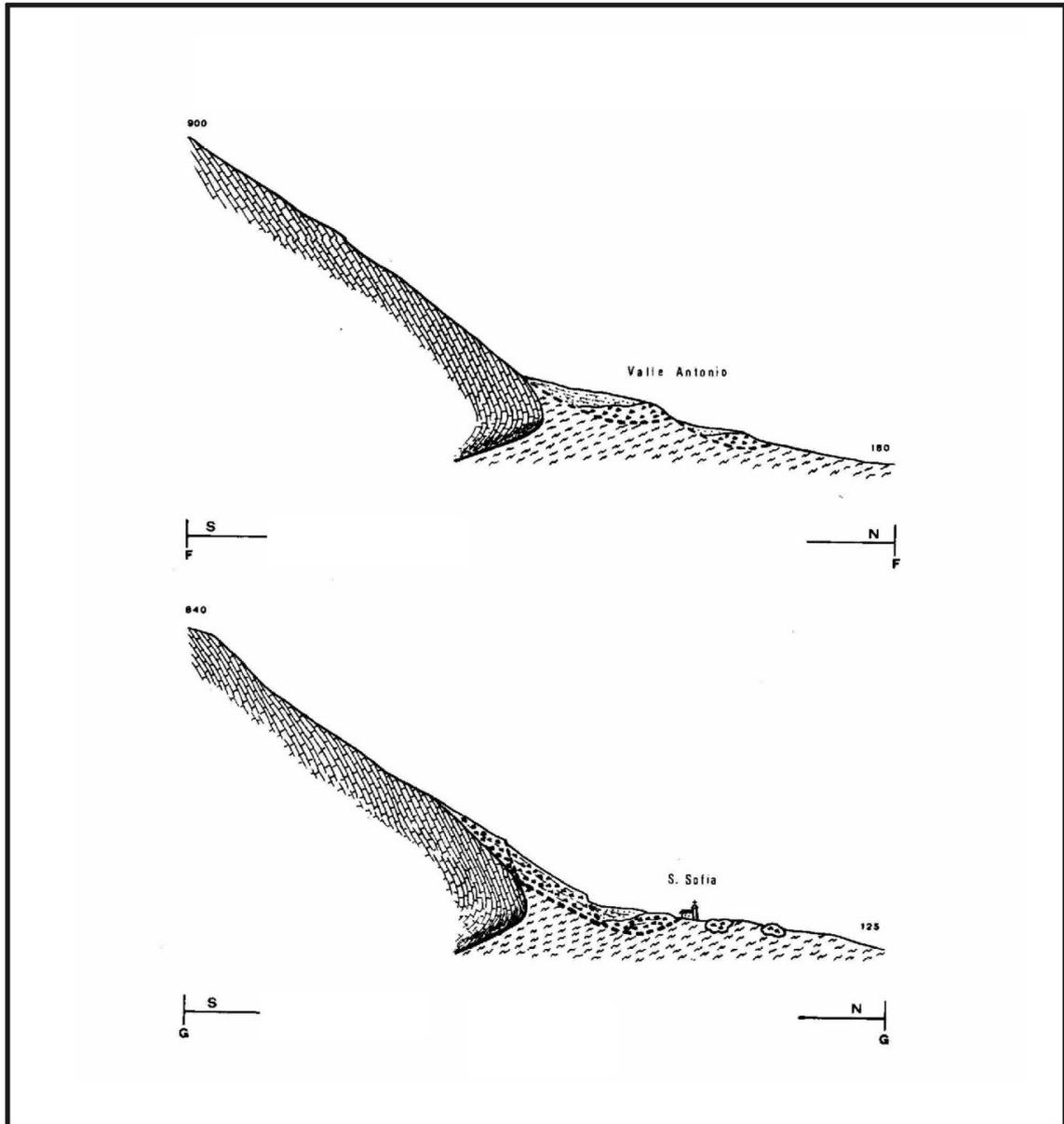


Fig. 5

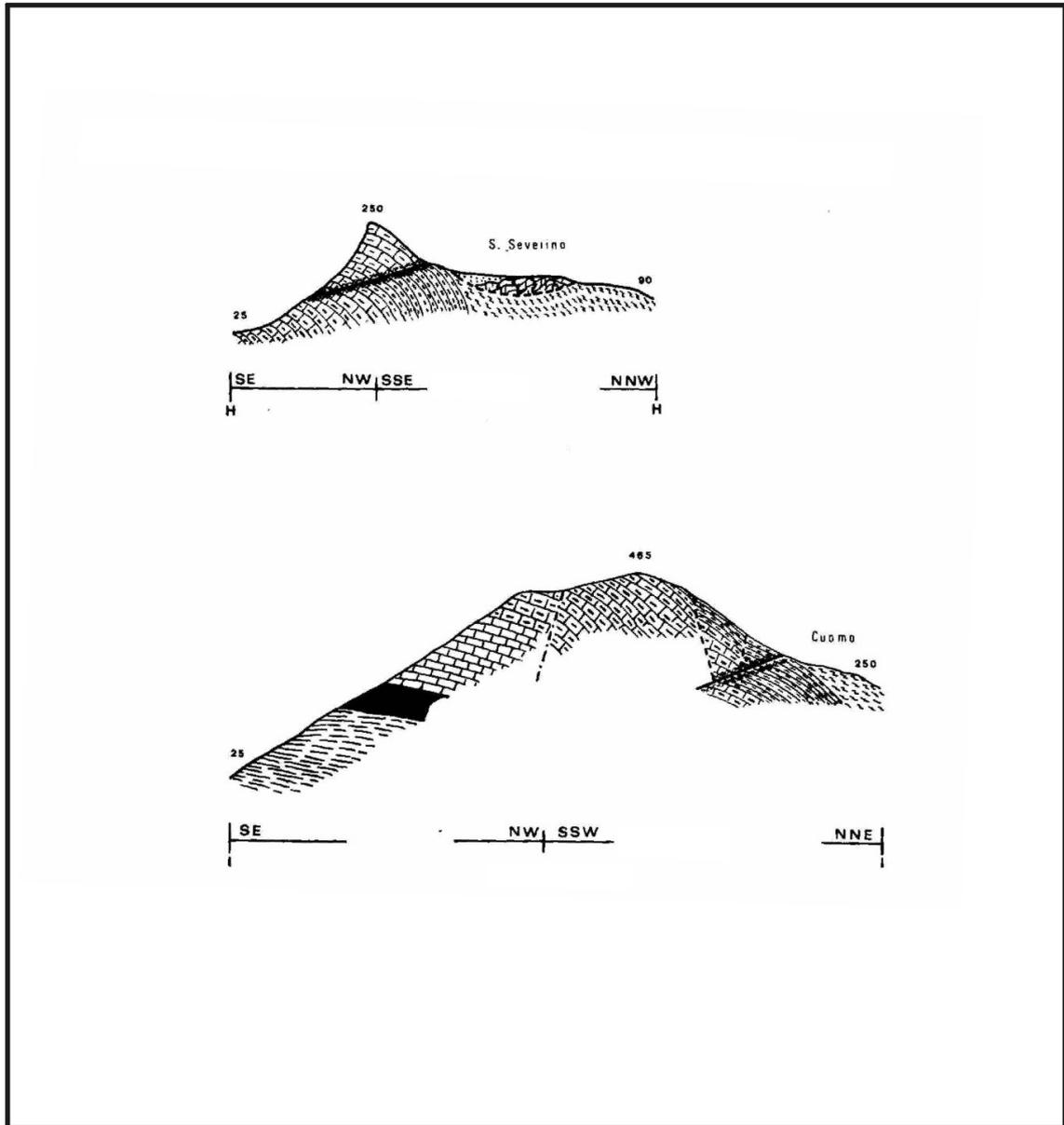


Fig. 6

possono distinguere colluvioni limoso-argillose sul substrato argilloso-marnoso e colluvioni sabbioso-limose sul substrato detritico.

Costituiscono anche piccoli apparati di conoide all'uscita dei piccoli corsi d'acqua di primo ordine; lo spessore non supera generalmente i 10 metri.

Alluvioni fluviali e torrentizie, lungo i fondovalle dei principali corsi d'acqua e del F. Mingardo in particolare. In queste zone, ed in particolare in prossimità della confluenza con il torrente Sciarapotamo, gli spessori dovrebbero essere dell'ordine dei 25-30 metri circa.

L'insieme delle informazioni ricavate dalla letteratura scientifica geologica (Guida et al, 1979, 1989 e 1996) hanno consentito di redigere la Carta Geolitologica del Settore territoriale di Celle di Bulgheria riportata in scala 1:5000 sulla TAVOLA I.

Allo scopo di tenere conto della influenza dell'assetto strutturale del fronte montagnoso sulle caratteristiche morfologiche e sulle condizioni di stabilità in grande dello stesso, si è ritenuto opportuno effettuare un approfondimento di indagine specifico, qui di seguito più estesamente illustrato.

5.2.1. Analisi Mesostrutturale

In questa sede si è eseguita un'analisi mesostrutturale mirata a verificare le suddette condizioni. Non si è tenuto conto delle caratteristiche di resistenza al taglio (angolo d'attrito), rimandando la loro determinazione in fasi di studio più di dettaglio.

In primo luogo si è eseguita una suddivisione del versante settentrionale di M.te Bulgheria sulla base dei caratteri geomorfologici, macro-strutturali e di esposizione:

- Zona A: è la zona in corrispondenza della forra del F.me Mingardo, caratterizzata da numerose balze rocciose, di origine prevalentemente strutturale, con esposizione prevalente a NW e SW;
- Zona B: è il settore centrale, con esposizione a N, caratterizzato da un versante evoluto secondo il modello della recessione rettilineo-parallela e poi regolarizzato con inclinazione media di circa 35°. Nel tratto superiore sono presenti balze rocciose con esposizione prevalente a NNE e subordinatamente a ENE (Foto 8 e 9);



Foto 9: Aspetti della fratturazione sul versante Nord-Occidentale.

— Frattura con spostamento relativo delle parti

— Facce di strato

— Clivaggio



Foto 8: Set di fratture allargate e riempite di terra nera ("rendzina")

- Zona C: è il settore orientale con profilo molto irregolare, in quanto caratterizzato da numerose rotture di pendenza con balze rocciose aventi esposizione a N, NE e ENE.

I dati sull'orientazione dei piani di discontinuità, distinti per le tre zone, sono stati rappresentati su diagrammi polari (proiezione equiareale di Schmidt) allo scopo di individuare, mediante *contouring*, le famiglie presenti; si è ulteriormente proceduto alla restituzione di tali dati mediante ciclografiche, adottando la proiezione equatoriale di Schmidt, che confrontate con l'orientazione dei fronti ha permesso di valutare l'esistenza o meno di masse rocciose, per le quali esiste libertà cinematica, in condizioni prossime all'instabilità.

Dal *contouring* dei poli relativi alle discontinuità rilevate (vedi Tavola II : Carta dei Lineamenti Strutturali) si evince che esse si raggruppano in famiglie con diversa orientazione e inclinazione a secondo della zona cui si riferiscono; a conferma della diversità strutturale individuata sulla base dei lineamenti macro-strutturali rilevati dall'analisi aereofotogrammetrica.

In particolare, nella zona A, si individuano due famiglie di fratture K1 e K2 con immersione, rispettivamente, a E e NNE e inclinazione di 42° e 72°. La stratificazione presenta un'immersione a NW ed un'inclinazione di circa 60°. Dal confronto con l'orientazione dei tratti di pendio sub-verticali si evince la presenza di cunei rocciosi in condizioni di libertà cinematica, e prossimi all'instabilità per l'elevata inclinazione (52°) della linea di intersezione tra la famiglia K2 e la stratificazione (vedi carta strutturale), che possono interessare le balze esposte a NNW. Sono possibili ribaltamenti di blocchi sui tratti esposti a SW, a causa dell'elevata inclinazione delle discontinuità K2. Lungo i piani di strato, inoltre, si possono verificare scivolamenti di blocchi, delimitati lateralmente dalle discontinuità K1 e K2, che interessano i fronti esposti a NW.

Anche nella zona B si individuano due famiglie di fratture (K1 e K2) con immersione rispettivamente a NNE e a ESE e inclinazione di 66° e 71°. La stratificazione si presenta immergente a NNW con inclinazione di circa 31°. In questa zona i tratti di pendio su cui

sono possibili movimenti di cunei rocciosi sono quelli esposti a ENE. Infatti le discontinuità K1 e K2 si intersecano secondo una linea che presenta una direzione di N60 e un'inclinazione di 61°.

Nella zona C, invece, l'analisi eseguita indica che sono presenti tre famiglie di fratture: K1, K2 e K3; le prime due immergenti rispettivamente a NNE e a ESE con inclinazione di 81° e 67°, mentre la terza si presenta verticale con direzione all'incirca N-S. La stratificazione si presenta sub-verticale (circa 75°) e con immersione a NE. Tutte le discontinuità individuate si intersecano secondo linee che presentano direzione compresa tra NNE e ESE ed inclinazione compresa tra 65° e 73°; di conseguenza, sono possibili instabilità su tutti i tratti sub-verticali poiché le balze rocciose presentano esposizione compresa tra N e E.

5.2.2. Geomorfologia

Al fine di meglio schematizzare i caratteri geomorfologici dell'area campione di Celle di Bulgheria sulla Figura 7 viene mostrato uno schema geomorfologico relativo all'intero fronte settentrionale del massiccio.

Dallo schema si evince che gli elementi morfologici del Settore di Celle di Bulgheria significativi per gli scopi del presente studio e più estesamente rappresentati e dettagliati sulla Carta degli Elementi Geomorfologici in scala 1:5.000 TAVOLA III, sono:

- il **Crinale Montagnoso Principale** del Monte Bulgheria, nell'ambito del quale si riconoscono Unità Morfologiche di ordine inferiore, come **Spianate Sommitali**, quali lembi residui delle antiche superfici morfologiche plio-pleistoceniche, dotate di un embrionale carsismo, **Valli Longitudinali e Rilievi Montuosi Sommitali**;
- il **Versante Montagnoso** settentrionale del M.te Bulgheria, evoluto per recessione rettilineo parallela a partire da lineamenti stratigrafico-strutturali, come faglie-strato e faglie dirette; il versante montagnoso, come sopra esposto, evidenzia diversi aspetti morfometrici tra il settore centrale, più regolarizzato, quello orientale molto articolato con canali e grandi pareti rocciose subverticali e quello occidentale altrettanto acclive ed articolato, aggettante direttamente nella forra del Fiume

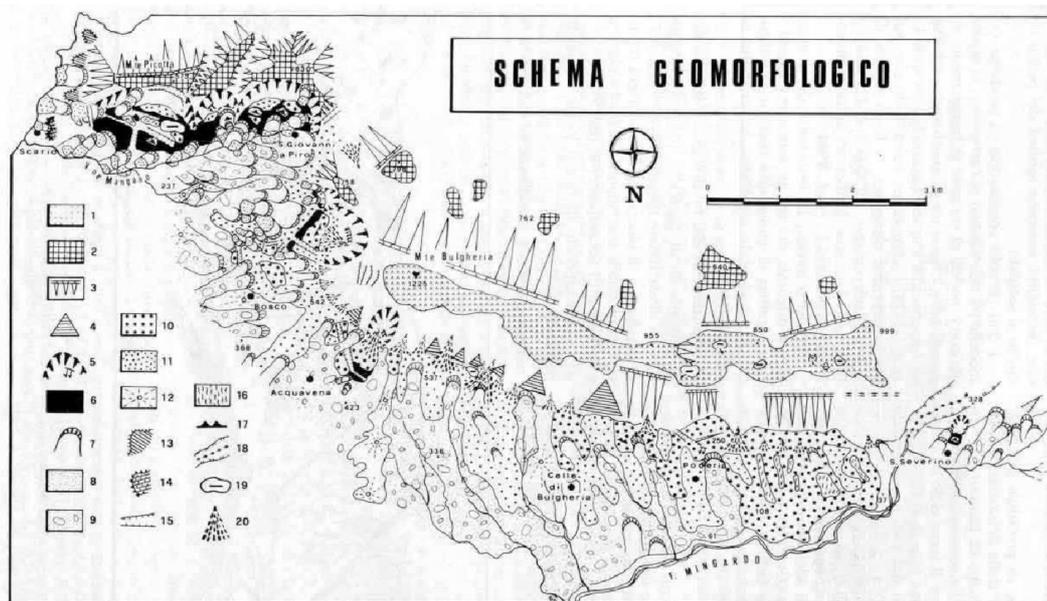


Fig. 7 - SCHEMA GEOMORFOLOGICO. Legenda: 1) Lembi di paleosuperfici del I ordine (900-1200); 2) Lembi di paleosuperfici del II ordine (600-800 m); 3) Versanti strutturali di recessione con eventuali cornici residuali; 4) Facce triangolari residue su superfici di discontinuità (prevalentemente piani di strato); 5) Coronamenti delle D.G.P.V. con eventuali tracce delle superfici di rottura; 6) Corpi rocciosi dislocati gravitativamente; 7) Coronamenti di fenomeni gravitativi secondari del tipo *rotational* e *translational slides*; 8) Corpi dislocati dai fenomeni gravitativi secondari; 9) Accumuli da *debris flow*; 10) Detrito cementato; 11) Detrito sciolto; 12) *Residual hills* nelle successioni fliccioidi; 13) Terrazzi marini (75-100 m s.l.m.); 14) Terrazzi marini (50 m s.l.m.); 15) *Trenches* e fratture beanti; 16) Colluvioni; 17) Contropendenze; 18) Forra; 19) Depressioni carsiche e pseudo carsiche; 20) Conoidi detritiche.

- Mingardo. I dislivelli, comunque, sono molto significativi, superando di norma i 500 metri.
- il **Piedimonte** settentrionale di M.te Bulgheria, con estese coperture detritiche grossolane in forma di conoidi e falde detritiche di varia età e genesi su di un substrato fliscioide argilloso.
 - il **Versante Collinare** a pendenze medio-basse sulle litologie della Formazione del Flysch Nero e con **Rilievi Collinali** Isolati per morfoselezione sulle litologie della Unità Nord Calabrese ed Affinità Sicilide.
 - la **Pendice Collinare** caratterizzata dagli apparati deposizionali dei principali fossi di incisione trasversali del Versante Collinare, raccordati ai depositi della Unità Morfologica successiva, costituita dal **Fondovalle** del Fiume Mingardo, con l'alveo di magra e quello di piena, incastrati nell'ambito del terrazzo alluvionale di ordine più basso.

Sotto l'aspetto morfologico, la caratteristica più evidente del **Versante Montuoso** è costituita dal diverso grado di maturità fra il settore NE e quello NW del fronte: il primo, infatti, è caratterizzato da pendenze più accentuate, profonde incisioni impostate lungo evidenti lineamenti strutturali (Figura n. 8) e meccanismi di smantellamento ancora in atto; il secondo, da maggiore regolarizzazione con pendenze meno accentuate e con incisioni pressoché assenti.

Il tratto di versante montuoso in sinistra orografica delle Gole del Mingardo assume di nuovo gli aspetti del settore NE.

In Guida et al. (1989) tale differenza era attribuita a fattori litostrutturali (confermata dall'analisi mesostrutturale riportata nel paragrafo precedente) ed al diverso rapporto di rilievo con il fondovalle che hanno indotto diverso grado di smantellamento delle coperture detritiche antiche.

La Figura 9 mostra una sezione geologica schematica mostra l'assetto strutturale del fronte, soprattutto in riferimento al rapporto fra superficie di accavallamento carbonati-flysch ed il *knickpoint*, la linea, cioè, che segna la rottura di pendenza fra fronte montagnoso carbonatico acclive ed il piedimonte fliscioide a pendenze medio-basse.

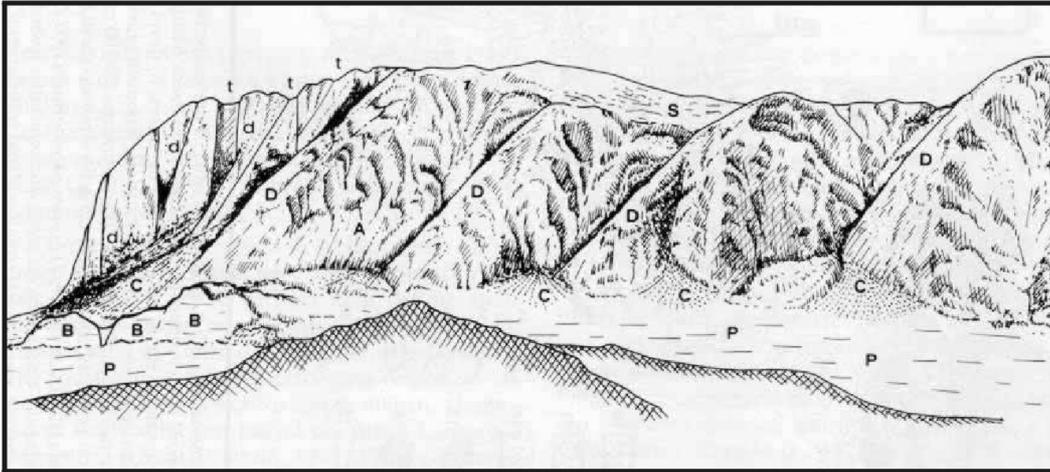


Fig. 8: Il versante settentrionale di M.te Bulgheria tra Acquavena e Celle di Bulgheria (disegno da foto). Legenda: A) Area di distacco della D.G.P.V.; B) Corpi dislocati dalla D.G.P.V.; C) Conoidi; D) Sets di discontinuità di I ordine; d) Sets di discontinuità del II ordine; P) Piedimonte; t) Trenches; s) Paleosuperficie sommitale.

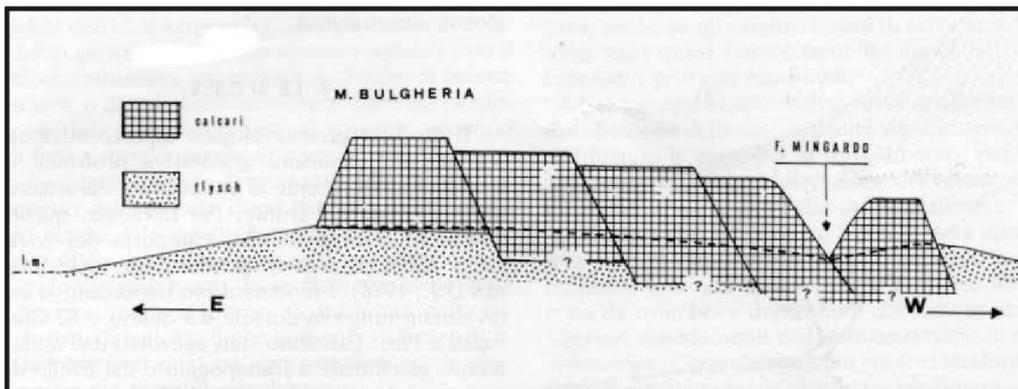


Fig. 9: Schema dell'assetto strutturale del fronte tra Acquavena e S. Severino. La line a trati segna il Knickpoint tra il versante carbonatico e il suo piedimonte.

La Figura 10 evidenzia il probabile modello evolutivo del settore orientale che comprende nello stadio a) quello che attualmente si riscontra nel settore di Poderia.

Sotto l'aspetto geomorfologico, l'area di modellata sul flysch argilloso-marnoso, già denominato Formazione del Flysch Nero di S. Giovanni a Piro, costituisce il versante collinare settentrionale di Monte Bulgheria raccordante il fronte calcareo ed il relativo piedimonte del rilievo con il fondovalle del Fiume Mingardo(Foto n. 4) .

L'attuale andamento morfologico e le tendenze morfoevolutive risultano strettamente connesse con la morfogenesi recente del sistema “versante montagnoso-pedimonte-fondovalle” ed in particolare sono il prodotto del riadattamento geomorfico, ai fattori morfogenetici del regime morfoclimatico attuale (temperato mediterraneo), delle forme del rilievo creatisi in seguito al modellamento sotto regimi non più attuali, del tipo periglaciale mediterraneo, durante le ultime fasi stadiali wurmiane.

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

Queste coperture detritiche antiche, durante le fasi di approfondimento del reticolo drenante, sono state progressivamente smantellate secondo meccanismi erosivi gravitativi a partire dagli impluvi secondari, con il ventaglio di testata retrogressivamente montante verso il piedimonte.

I prodotti dell'erosione della copertura detritica e di quella parte del substrato fliscioide più degradato ed alterato, coinvolto nello smantellamento del bordo inferiore del “glacis”, costituiscono i corpi deposizionali dei movimenti di massa per scorrimenti traslativi detritico-fangosi, che sono localizzati nella parte più depressa degli impluvi.

Un chiaro esempio di questa morfogenesi passata è rappresentata dall'area del Cimitero e da quella su cui sorgono gli Impianti Sportivi della Fraz. Poderia, lungo la quale passano alcune Sezioni Geologiche, mostrate sulla Tavola I.

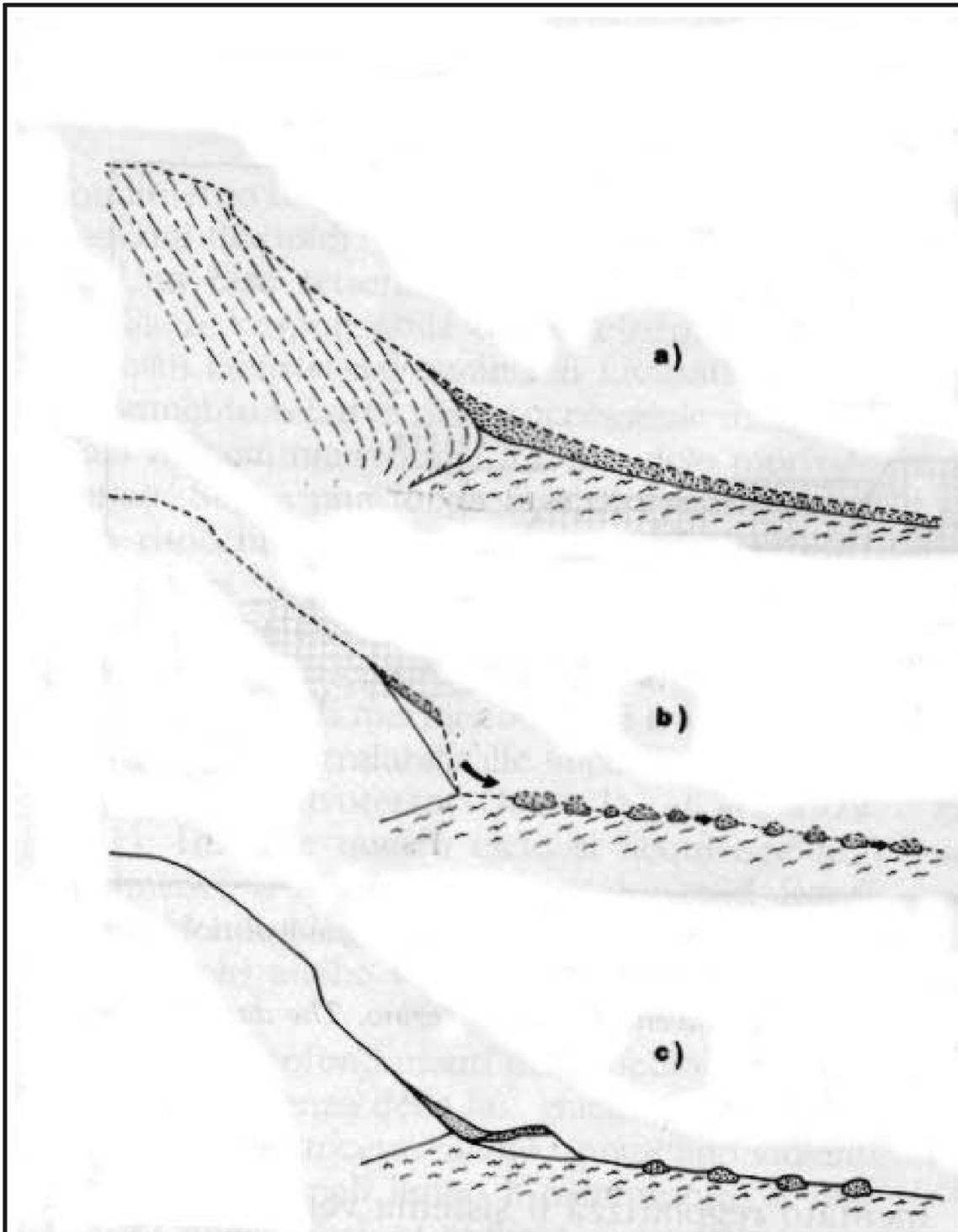


Figura 10: Modello morfoevolutivo del Sistema Versante - Piedimonte

Esse ricadono sul fianco sinistro di piccoli fossi d'incisione che prendono origine da ampie conche semicircolari molto svasate in loc. Castauro.

Queste sono limitate a monte e lateralmente dagli affioramenti detritici calcarei a grana grossa e sono colmate da accumuli detritico-colluviali costituiti dai prodotti di ablazione dei detriti calcarei, dalle loro fasce di alterazione e da porzioni allentate e degradate del substrato pelitico-marnoso.

Nella parte alta della conca i depositi detritico-colluviali sono interessati da lente deformazioni del tipo “soil creep”, mentre nella parte bassa i suddetti fenomeni deformativi evolvono in colate lente che conferiscono al suolo le caratteristiche ondulazioni metriche e decametriche.

L'analisi geomorfologica approfondita su quest'area “*campione*” porta a concludere che l'area rientra in un settore territoriale modellato in passato in prevalenza da movimenti di massa che, già quiescenti, sono stati accelerati da interventi antropici di sbancamento e riempimento, ovvero di scarsa manutenzione delle opere di drenaggio e di canalizzazione.

5.2.3. Tipologia e distribuzione territoriale delle frane

La popolazione delle frane esistenti sul territorio esaminato è costituito da fenomeni di complessa identificazione ed interpretazione, caratterizzati da un diverso grado di “leggibilità morfologica” di cui già è stato tenuto conto nell'affrontare la fase di “inventario su vasta area”.

La necessità di aggiornare il quadro delle conoscenze con un dettaglio utile ai diversi scopi dell'Autorità di Bacino ha richiesto l'applicazione di criteri e metodi innovativi in vaste zone caratterizzate da condizioni geolitologiche e morfoevolutive molto diversificate, già sperimentati in alcune aree dell'Appennino Meridionale.

Alla base dei criteri adottati sussiste il presupposto che i fenomeni franosi non sono distribuiti in modo casuale nei diversi tratti del rilievo, e che le crisi di franosità avvenute nel corso delle ultime migliaia di anni hanno determinato, nelle diverse aree, la sovrapposizione di frane di differente estensione areale e di età morfologica variabile. La ricomposizione dei processi di franosità di versante è, pertanto, basata sulla intersezione dei parametri geologici, litostratigrafici, geomorfologici e geomorfico-

applicativi attraverso l'applicazione di criteri e sistemi integrati, finalizzati alla definizione delle caratteristiche di fondo del rilievo e della sua evoluzione morfologica recente. La metodologia adottata filtra gli indizi morfologici e geologici utili per la identificazione dei singoli eventi franosi, consentendone il “riconoscimento”, la classificazione per tipologia e per caratteristiche morfologiche principali ed infine facilita il loro posizionamento su base topografica alla scala prescelta.

Il sistema utilizzato è stato reso flessibile ed integrato con una preliminare analisi ed interpretazione delle aereofoto stereoscopiche, che a loro volta sono lo strumento di analisi territoriale più diffuso, che “cristallizza” lo stadio di sviluppo delle frane in un determinato momento della storia evolutiva del paesaggio, con opportune “tarature” sul terreno.

Successivamente è stato impostato uno studio geomorfologico di tipo morfoevolutivo tale da consentire di integrare i dati fotogeologici in un preliminare modello di evoluzione dei versanti.

In questa fase di approfondimento si è proceduto ad una maggiore differenziazione dei fenomeni di frana, ad una loro migliore tipizzazione ed a una puntuale definizione del contesto geologico e geomorfologico locale.

Uno dei criteri che ha suggerito di scegliere l'area campione in oggetto è stato quello di avere a disposizione un numero sufficiente di informazioni di carattere scientifico e tecnico per i numerosi lavori disponibili in letteratura e per la presenza di numerosi dati di sondaggi e perforazioni contenuti in relazioni tecniche tali da rendere disponibile un modello geologico e geomorfologico di riferimento per gli scopi applicativi.

Tale modello rende disponibile uno strumento, utile alla individuazione delle aree di alimentazione e di espansione dei fenomeni franosi e dei versanti, definito **ambito morfologico** significativo, il cui concetto verrà esplicitato nel seguito.

Come già esposto in precedenza i fenomeni franosi non sono collocati nell'ambito del paesaggio secondo una distribuzione casuale, ma sono controllati dalla evoluzione morfologica sviluppata sui versanti in epoca recente.

D'altro canto per alcuni tipi di movimenti franosi segnalati, come i crolli e le frane di flusso rapido, la sola segnalazione del fenomeno non è sufficiente per una valutazione completa della potenziale pericolosità. In questi termini il problema di una valutazione

qualitativa, o almeno di una stima, dell'ulteriore ampliamento della frana con elevata pericolosità può trovare soluzione nella definizione di uno “spazio versante” comprensivo della nicchia di distacco, della zona di transito o canale della frana e della zona raggiunta dall'accumulo.

La interpretazione mirata di ciascun elemento citato e dei relativi indizi morfologici delle frane avvenute in epoca precedente consente la estrapolazione della possibile zona di alimentazione e di invasione del materiale di frana, nel caso di eventi con mobilitazione di volumi ingenti di materiali.

Questa valutazione si basa sul presupposto che i volumi di possibile mobilitazione devono essere realmente disponibili a monte dell'area di distacco e che si devono trovare nelle stesse condizioni predisponenti che hanno concorso a generare fenomeni franosi analoghi in ambiti morfologici analoghi.

Ne deriva che la reinterpretazione su base morfologica delle aree situate a monte delle frane può aiutare nella comprensione sulle potenzialità del fenomeno, definendo la zona di alimentazione delle frane.

Le esperienze condotte durante l'emergenza Sarno del 5 e 6 maggio 1998, consentono di ritenere affidabile l'impostazione concettuale e attendibili i risultati della valutazione; ovviamente, se l'analisi è condotta in prevalenza con interpretazione di aereofoto, essa può fornire indicazioni di carattere qualitativo e non quantitativo.

In pratica i fenomeni franosi di crollo e di flusso rapido possono interagire solo con spazi versante situati all'intorno della nicchia, ovvero zona di distacco o di alimentazione, nei quali si riscontra la presenza di terreni di copertura o volumi di roccia potenzialmente instabili. Il continuo arretramento della nicchia o il collasso di porzioni situate lungo i bordi può avvenire in presenza di materiali riconoscibili per la sagoma morfologica delle concavità più o meno accentuate al margine della frana.

Utilizzando alcuni dei parametri morfologici necessari per la definizione degli spazi versante interessati da frane, si può individuare un tratto di pendio compreso tra la zona sommitale del rilievo (ad evoluzione morfologica completa) o crinale sommitale ed il fondovalle più prossimo a valle della frana stessa, e limitata dai crinali morfologici secondari che limitano i bordi del tratto interessato dalla frana considerata.

Questa operazione di non semplice esecuzione, per la necessità di integrare più parametri nella fase di lettura di aereofoto su tratti di estensione limitata, delimita uno spazio versante elementare in cui si mantengono costanti le condizioni litostratigrafiche, morfoevolutive, di presenza di materiali di copertura sul substrato locale e di evoluzione della franosità. Ne deriva che lo “spazio versante elementare” così delimitato può essere definito “**ambito morfologico significativo**” con un preciso significato rispetto alle frane di versante. Infatti la frana sviluppata all’interno dell’ambito morfologico significativo, possiede un potenziale sviluppo che non può interagire con elementi esterni, a meno di profonde alterazioni dell’attuale assetto morfologico locale.

Nel caso dei crolli sono state prese in considerazione le caratteristiche delle zone di elevata acclività, con analisi della sagoma delle scarpate, per discriminare, laddove possibile, gli ultimi distacchi avvenuti. La impossibilità pratica di distinguere, con ragionevole precisione, la zona di transito dei materiali da quella di solo accumulo ha portato alla unificazione delle due aree. Allo stesso modo la estensione dell’area di transito e accumulo è stata definita con un certo grado di approssimazione utilizzando il riconoscimento della posizione raggiunta dai materiali delle frane pregresse. I limiti della zona di possibile invasione da parte dei materiali di frana, soggetti a rimbalzi e rotolii con traiettorie talora molto irregolari, sono stati adattati di volta in volta alla condizione morfologica del versante.

Nel caso delle frane di colata rapida di fango sono state considerate le aree di monte, sede di possibili accumuli di materiali, che possono determinare ulteriori distacchi di una certa consistenza significativa ai fini della pericolosità; tali aree sono state completate verso valle dalla posizione della frana avvenuta, dalla segnalazione della zona di accumulo della frana e dell’area di probabile invasione interpretata sulla base dei fenomeni con maggiore evidenza morfologica, pertanto di più recente avvenimento.

Informazioni analoghe sono state registrate per i fenomeni di colata di detrito, per i quali si è tenuto conto delle condizioni morfologiche delle aree a monte dei canali e della esistenza di depositi lungo le aste torrentizie, purché riconoscibili nelle aereofoto.

Si fa osservare che le variazioni significative inserite nella legenda della Carta Inventario delle Frane (TAVOLA IV), per meglio adattarsi alle esigenze di pianificazione territoriale, hanno lo scopo di discriminare elementi morfologici di

riferimento attraverso l'analisi del dettaglio morfologico delle aree di interesse, compatibilmente con la scala delle aereofoto. La scelta delle informazioni da discriminare nella fase di raccolta dei dati è stata inoltre adeguata in questa fase ai vincoli temporali imposti dal D.L. 180/98 e proposti nel relativo allegato tecnico. Un ulteriore miglioramento è stato raggiunto integrando gli indirizzi di lavoro sperimentati negli ultimi anni, non escluse le fasi emergenziali del '97 e '98.

Nei paragrafi seguenti si procederà prima ad una caratterizzazione dei fenomeni franosi presenti nell'area campione inquadrandola, in accordo con i criteri utilizzati nella prima fase, nelle classifiche più aggiornate ed universalmente utilizzate; verrà approfondita la problematica relativa alla individuazione ed alla caratterizzazione dell'ambito morfologico e degli scenari morfoevolutivi e di franosità specifici dell'area.

A partire dalla classificazione di Varnes del 1978, comunemente riconosciuta ed accettata in ambito scientifico e tecnico, durante la fase II è stata elaborata una formulazione originale, apportando alcune modifiche ed integrazioni alla precedente, in modo tale che la “*Carta inventario dei fenomeni franosi*” a cui è riferita, meglio si adattasse come “strumento di lavoro operativo” per i successivi passaggi ad altre carte tematiche e, nel complesso, in modo da rispondere meglio agli scopi previsti dal D.L. 180/98.

La classificazione adottata è riportata nella Legenda alla Carta Inventario delle Frane; le diverse tipologie franose sono state riaggregate in gruppi in funzione del cinematisma prevalente e dei caratteri morfodinamici

Per ciascuno dei tipi di dissesto considerati, riaggregati in gruppi, sono di seguito riportate alcune brevi note di commento con riferimento alla frane specifiche presenti nell'area campione, per le quali sono anche mostrati gli stralci cartografici.

Gruppo 1 – Frane di crollo e ribaltamento

Sono fenomeni tipici delle scarpate morfologiche con forte acclività e sono molto diffusi nelle successioni lapidee, ma frequenti anche lungo le scarpate fluviali, quindi, in terre più o meno addensate. Il distacco è improvviso e lo spostamento dei materiali avviene in caduta libera nel vuoto.

Diffusi sono questi tipi di fenomeni nell'area campione; essi sono concentrati in diversi ambiti morfologici fra cui i più significativi sono il sistema delle cornici sommitali del versante montuoso settentrionale del M.te Bulgheria e le scarpate basali dello stesso quali tratti di versanti strutturali poco evoluti in forma di residue faccette triangolari. Continui crolli si verificano inoltre lungo le pareti acclivi dei canali molto incisi sedi di conoidi di deiezione attivi (Foto n. 10).

Gruppo 2 – Frane di flusso rapido

In tale gruppo sono stati riuniti tutti i fenomeni di flusso rapido, caratterizzati da attivazione improvvisa. Il movimento della massa mobilizzata spesso avviene lungo depressioni morfologiche ben definite, canali ed impluvi incisi su versanti con acclività elevata e tende ad invadere le zone di raccordo morfologico alla base dei versanti fino ai tratti pianeggianti.

Colata rapida detritico-fangosa

Sono fenomeni caratterizzati dalla mobilizzazione improvvisa di una massa di materiali di origine vulcanica in posizione secondaria (depositi vulcanici rielaborati di concavità morfologica assieme ai materiali residuali del substrato ed a detriti calcarei), poggiati su un substrato carbonatico o fliscioide di natura lapidea lungo versanti a bassa evoluzione morfologica. Dopo il distacco i materiali a prevalente contenuto di materiali fini e con elevato contenuto d'acqua si spostano verso valle incanalandosi lungo zone di deflusso già esistenti nella morfologia del versante. Il movimento continua fino a quando il materiale di frana raggiunge la base del pendio o le aree con bassa acclività, dove si esaurisce l'energia di movimento. Il materiale di frana si amplia con sagoma a conoide ricoprendo superfici proporzionali alla massa mobilizzata ed all'energia di questa.

A questa tipologia si devono attribuire alcune fenomenologie storicamente registrate per il versante settentrionale del Bulgheria dove sono presenti residui lembi di coperture colluviali fortemente pedogenizzate a partire da antiche coperture piroclastiche; questi accumuli sono concentrati soprattutto nelle depressioni morfologiche sommitali che in particolari condizioni possono alimentare le testate dei canali sottostanti con i materiali limo-sabbiosi e miscelarsi ai materiali più grossolani ivi presenti.



Foto 10: Blocchi calcarei crollati dal Ssettore Nord-Orientale del Monte Bulgheria.

A questa tipologia sono riferite le fenomenologie storiche mostrate in Figura 11 di cui si riscontrano evidenze morfologiche e quelle più recenti (1982 e 1997) innescatesi a seguito di incendi avvenuti lungo il fronte montuoso.

Colate di detrito

Sono fenomeni riscontrabili in ambienti morfologici fortemente accidentati ed in litologie carbonatiche o arenaceo-conglomeratiche, dove masse di detrito di versante, anche con granulometrie superiori alle ghiaie sono posizionate nelle porzioni superiori delle testate di impluvio o lungo tratti di canale a forte acclività. L’attivazione è in genere improvvisa ed il materiale a prevalente contenuto di materiale grossolano e con elevato contenuto d’acqua in seguito alla mobilitazione tende ad invadere le zone di raccordo morfologico con i tratti pianeggianti, nelle aree di conoide.

A questa tipologia sono da attribuire tutte le fenomenologie di frana che si registrano lungo i canali non raccordati alle depressioni sommitali; particolare attività permanente mostrano le colate detritiche presenti lungo i canali della Tragara , come mostrato sulla Foto 3.

Colate rapide in terreni argillo-marnosi

Sono fenomeni tipici delle aree di affioramento di depositi ad elevata componente argilloso-marnosa o argillosa, in cui si registra il progressivo allentamento meccanico ed ammorbidimento della coltre di materiali più prossima alla superficie. Il movimento segue di norma percorsi preferenziali segnati da direttrici costituite da depressioni morfologiche o canali preesistenti che possono essere ostruiti o talora sepolti. Raramente questi fenomeni si verificano a partire da tratti di versante indisturbati, generalmente si originano quale effetto terminale , talora catastrofico, di sistemi franosi a lenta evoluzione ed a cinematismo non parossistico, ovvero quale rimobilitazione di coltri detritico-colluviali rimaneggiate nell'ambito di concavità morfologiche.

Non sono state riscontrate queste tipologia nell'area campione se non per alcuni fenomeni complessi e quiescenti localizzati nel settore in destra fiume Mingardo del territorio comunale di Celle di Bulgheria.

Gruppo 3 – Frane di scorrimento e colamento

In questo gruppo sono stati inseriti gli scorrimenti rotazionali e traslativi ed i colamenti, sia in terra che in roccia. A tal proposito si precisa che nel caso di frane complesse del tipo scorrimento-colata lenta, quando si tratta di fenomenologie con evoluzione priva di discontinuità temporale, la simbologia adottata è data dalla sommatoria delle singole tipologie.

Scorrimento traslativo

Sono fenomeni tipici delle aree con strati in giacitura ordinata o con giunti di discontinuità orientati a franapoggio con inclinazione minore del versante, in cui il movimento avviene lungo discontinuità preesistenti, talora favorito dalla presenza di litologie a comportamento duttile; sono tipici di successioni ben stratificate, ma con litotipi a diversa competenza che si riscontrano in alcune successioni di bacino torbiditico, anche se non mancano esempi di frane analoghe in sequenze a comportamento rigido.

Non sono state riscontrati fenomeni attribuibili a questa tipologia nell'area esaminata, se non alcune evidenze di scorrimenti incipienti lungo il versante della Tragara.

Scorrimento rotazionale

Sono frane con aspetto morfologico tipico, caratterizzato da una sagoma concava sede di una netta contropendenza del cumulo di frana (quando conservato), spesso associate ad una fase di colata lenta del materiale mobilizzato. Si riscontrano sia in litologie miste di terreni geotecnicamente complessi sia in presenza di successioni a comportamento rigido sovrapposte a litologie a comportamento plastico o duttile.

Colata lenta – colamento

Questi fenomeni franosi presentano continue deformazioni e/o movimenti che determinano tipiche ondulazioni della superficie della massa in frana, con raggio di curvatura da metrica a decimetrica; tali dissesti sono caratteristici di successioni con componente argilloso-marnoso significativa.

Questa tipologia è estremamente diffusa nel settore di versante collinare e di pendice , soprattutto in forma complessa scorrimento-colata e colata –scorrimento; a luoghi la fase di colamento è preceduta da una fase di deformazione lenta , tipo creep, della copertura colluviale a riempimento delle concavità morfologiche.

Gruppo 4 – Espansioni laterali, D.G.P.V. e depositi di concavità morfologica

In questo gruppo sono stati inseriti tutti gli altri movimenti di massa cartografati e riportati nella “*Carta inventario dei fenomeni franosi*”, incluse alcune tipologie che di norma non vengono considerate frane s.s, ma che in genere evolvono a fenomeni lenti delle coperture.

Ad una fenomenologia di scorrimento profondo è stata attribuita la evidenza di trincea in roccia riscontrata in loc. Macera , a sud di Poderia.

Espansione laterale di pendio

In tal modo sono state cartografate le tipologie così definite in Varnes (1978), anche se tali dissesti non sono compresi in quelli riportati nella bozza di legenda allegata all’Atto di Indirizzo del D.L. 180/98.

Questi movimenti sono stati riscontrati solo in presenza di successioni a comportamento rigido sovrapposte a litologie a prevalente componente argilloso-marnosa e consistono in un progressivo allontanamento reciproco di grandi blocchi o masse lapidee con creazione di trincee sommitali e rigonfiamenti basali. Non sono stati riscontrati fenomeni del genere nell’area campione esaminata.

Deformazione gravitativa profonda di versante (D.G.P.V.)

Le D.G.P.V. in genere coinvolgono l’intero sistema crinale-versante-fondovalle, dislocando ammassi di substrato di dimensioni discrete lungo discontinuità sia preesistenti che di neoformazione e con tempi di evoluzione lunghi; le forme presentano maggiore o minore evidenza a seconda del tipo di D.G.P.V. e dallo stato di attività. Anche in questo caso le situazioni più caratteristiche si manifestano in concomitanza di sovrapposizioni, tettoniche e/o stratigrafiche di successioni a comportamento fragile su successioni a comportamento duttile. Anche di queste fenomenologie non sono stati

riscontrati esempi nell'area campione, ma esse sono presenti immediatamente ad occidente ed oriente.

Creep in depositi di concavità morfologica

Comprendono i movimenti che si sviluppano in prevalenza nelle coltri di copertura, laddove si associano particolari condizioni idrogeologiche ; sono stati considerati solo gli accumuli detritico-eluvio-colluviali di concavità morfologica, in quanto nell'ambito di queste ultime sono stati riscontrati i casi più evidenti ed importanti. I movimenti si esplicano con deformazioni progressive delle masse interessate, che in superficie presentano tipiche ondulazioni da decimetriche a metriche, con smorzamento più o meno rapido degli stessi in profondità.

Le informazioni cartografiche relative alle frane già inserite nella Carta Inventario delle Frane consegnata per la Fase II sono state approfondite e integrate con dati aggiuntivi di campagna e storici portando ad una nuova versione estesamente riportata sulla TAVOLA IV in scala 1:5.000 .

5.3 Scenari di franosità ed ambiti morfologici

Come già premesso, gli scenari di frana e di rischio riguardano tre aree ricadenti nel territorio comunale di Celle di Bulgheria (SA).

Scenario "A": franosità di versante montuoso e del relativo piedimonte

La prima area coincide con il versante Montagnoso settentrionale del M.te Bulgheria. Sulla base dei criteri di analisi esposti nel paragrafo precedente e che conducono alla definizione di ambiti morfologici significativi, è stato possibile individuare tre differenti scenari di frana:

A1 : crolli

A2 : colate detritiche

A3 : colate detritico-fangose

Queste tre tipologie ed i relativi ambiti sono stati schematizzati in Fig.12 e Fig. 13.

A1: crolli

Il primo scenario (A1) riguarda aree che ricadono sia nel versante orientale che in quello occidentale del monte di Bulgheria e sono interessate essenzialmente da fenomeni franosi classificabili come crolli (ambito morfologico "A1" Carta degli Scenari del Rischio in scala 1:5000 (TAV. VI)).

Alla tipologia dei crolli appartengono numerosi casi, tra cui si possono citare:

- i crolli dalle cornici sommitali del versante montuoso di loc. Varicalemmo, di cui la Sezione Geologica 1 mostra il profilo.
- i crolli lungo la parete basale di loc. Variondina indicati nella Sezione Geologica n.4.
- i crolli lungo le pareti calcaree della Gola del F. Mingardo (Figura 14).

Come si evince dagli schemi e dalle sezioni, i fenomeni di crollo sono favoriti dalla concomitanza di fattori geologici e geomorfologici predisponenti, (struttura degli ammassi) e la sovrapposizione di membri litologici massivi su orizzonti più erodibili e



Fig. 11: Colate detritico-fangose storiche di celle di Bulgheria e di Podera

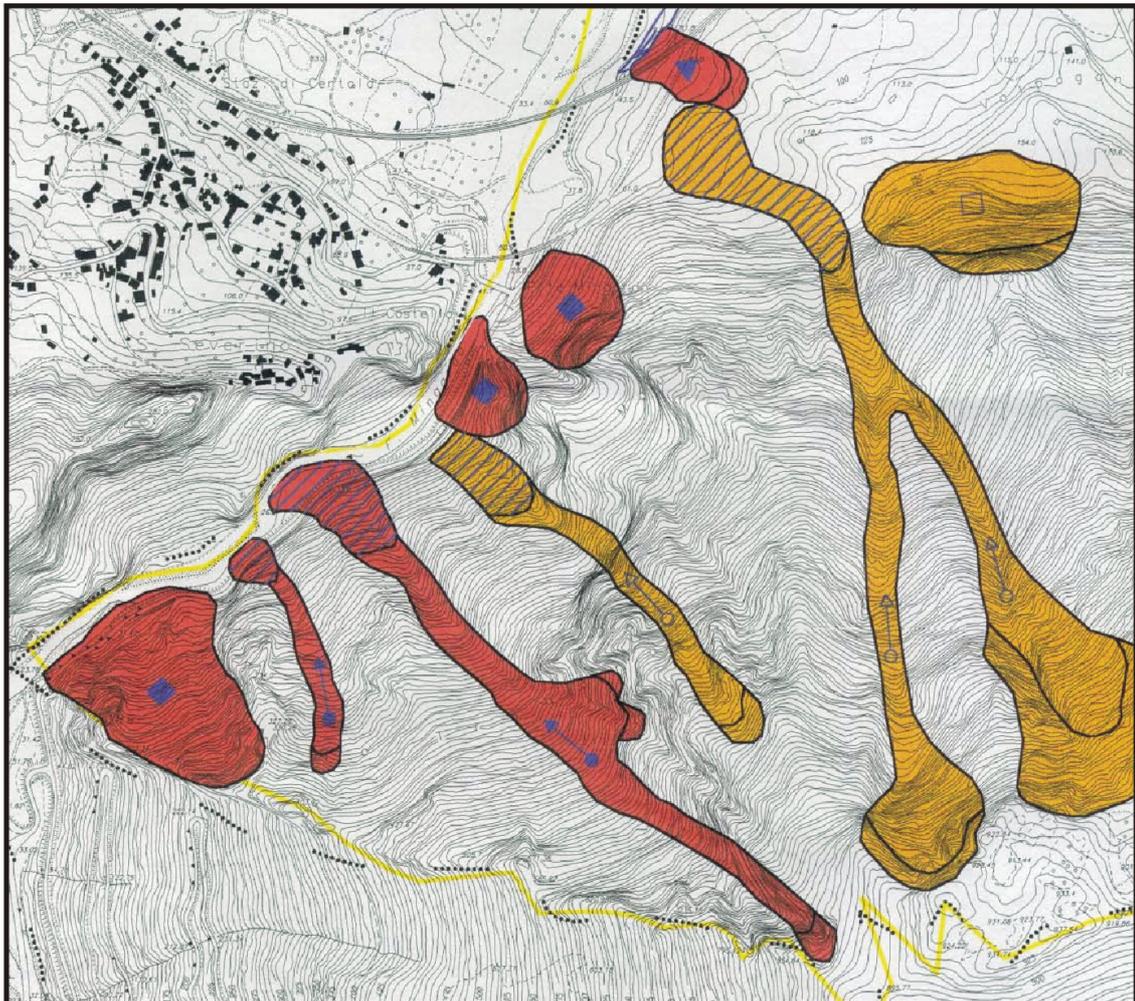


Fig. 14: Crolli ripetitivi lungo i versanti delle Gole del F.me Mingardo

disgregabili. In particolare l'influenza delle superfici di discontinuità, sull'instabilità dei fronti rocciosi, è legata alla loro orientazione spaziale in relazione alla orientazione dei fronti stessi, che determinano la presenza o meno di blocchi in condizioni di libertà cinematica e la tipologia stessa del movimento.

Alcuni approfondimenti di carattere geostrutturale relativi al versante montagnoso sono mostrati nella TAVOLA II degli Lineamenti Strutturali in scala 1:5.000, allegata alla presente.

In generale, le problematiche connesse con gli ammassi lapidei sono legate alle condizioni di instabilità dei fronti naturali e artificiali, influenzate da azioni crioclastiche e termoclastiche, erosioni intensive, radici di piante, terremoti, ecc., dove comunque il distacco dei blocchi è riconducibile alla maggiore o minore fratturazione della roccia (fattore predisponente), che influenza le condizioni di stabilità dei fronti.

Analizzando nel dettaglio la Sezione Geologica n°1 (loc. Varicalemmo), è possibile comprendere il cinematiso del fenomeno franoso. Tale fenomeno ha origine essenzialmente dalle cornici sommitali; queste presentano pareti anche subverticali e risultano caratterizzate da superfici di discontinuità e da grado di fratturazione (vedi paragrafo 5.2.1) che favoriscono il crollo di blocchi dell'ordine anche delle decine di metri cubi. Tali blocchi possono percorrere l'intero versante e raggiungere la zona di valle attraversata da una strada comunale (v. Foto 11).

Negli studi relativi alla prima fase (1:25000), tale area è individuata come Area a Rischio Molto Elevato in quanto ricade all'interno del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano (Zona 1). La probabile zona di invasione interseca una strada comunale (vedi Carta degli Insedimenti, delle Attività Antropiche e del Patrimonio Ambientale in scala 1:5000).

Nella carta dell'Intensità dei Fenomeni Fransosi in funzione delle Massime Velocità Attese possibili movimenti sono classificati classificati come di alta intensità, in quanto possono presentare una velocità massima dell'ordine dei m/s.

In località Variondina (vedi sezione Geologica n.4), lungo le pareti calcaree della Gola del F. Mingardo e in tutti gli ambiti morfologici indicati con A1 nella Carta degli Scenari del Rischio, possono verificarsi simili fenomeni.



Foto 11: Blocco franato per crollo in località "Varicalemmo"

A2 : colate detritiche

Il secondo scenario (A2) riguarda aree suscettibili di colate detritiche riferibili alle fenomenologie di flussi detritici canalizzati riscontrati nell’ambito dei "canaloni" molto incisi del versante in cui si verificano processi attivi di degradazione crioclastica , ablazione dei prodotti disgregati dalla base delle pareti al fondo degli impluvi, progressivo accumulo dei detriti e lento flusso dell’ammasso verso il basso. Tali detriti vengono rapidamente trasformati in colate in occasione di eventi meteorici estremi (vedi Schema e Sezione relativa ambito morfologico A2 in Figura 12 e Carta degli Scenari del Rischio in scala 1:5000 (TAVOLA VI).

Esempi di tali fenomenologie sono presenti lungo i canaloni della Tragara (vedi Foto 4) e del versante non regolarizzato del settore nord-orientale, dove si concretizzano in forma di conoidi di deiezione attive del tipo dei "ghiaioni" alpini e del Gran Sasso (vedi Foto 12).

Negli studi relativi alla prima fase (1:25000), tali ambiti coincidono o comprendono aree definite come Aree a Rischio Molto Elevato in quanto ricadono sempre all’interno del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano (Zona 1) e le probabili zone di invasione intersecano opere stradali (vedi Carta degli Insediamenti, delle Attività Antropiche e del Patrimonio Ambientale in scala 1:5000).

Anche tale tipologia franosa viene classificata come di alta intensità in quanto le velocità massime possono raggiungere i m/s.

A3 : colate detritico-fangose

Le fenomenologie di colate detritico fangose "A3" avvengono laddove, alle condizioni descritte per le colate detritiche, si associano la presenza di zone di accumulo detritico-colluviale nell’ambito di conche di colluvionamento ubicate lungo il versante, ovvero il collegamento fra i canaloni in fase di riempimento e le vallette sommitali riempite di materiale colluviale e residuale a componente piroclastica fortemente alterata (vedi Schema di figura 12 e Sezione Schematica (Fig. 13) relativa all’Ambito morfologico A3, le corrispondenti Sezioni Geologiche n°2 e 3 e la Carta degli Scenari del Rischio di TAV. VI).



Foto 12 : Conoide di deiezione attiva sede di colate detritiche, lungo le scarpate basali si verificano crolli e distacchi di blocchi



Foto 13 : Effetti delle colate argillose antiche sul patrimonio edilizio rurale

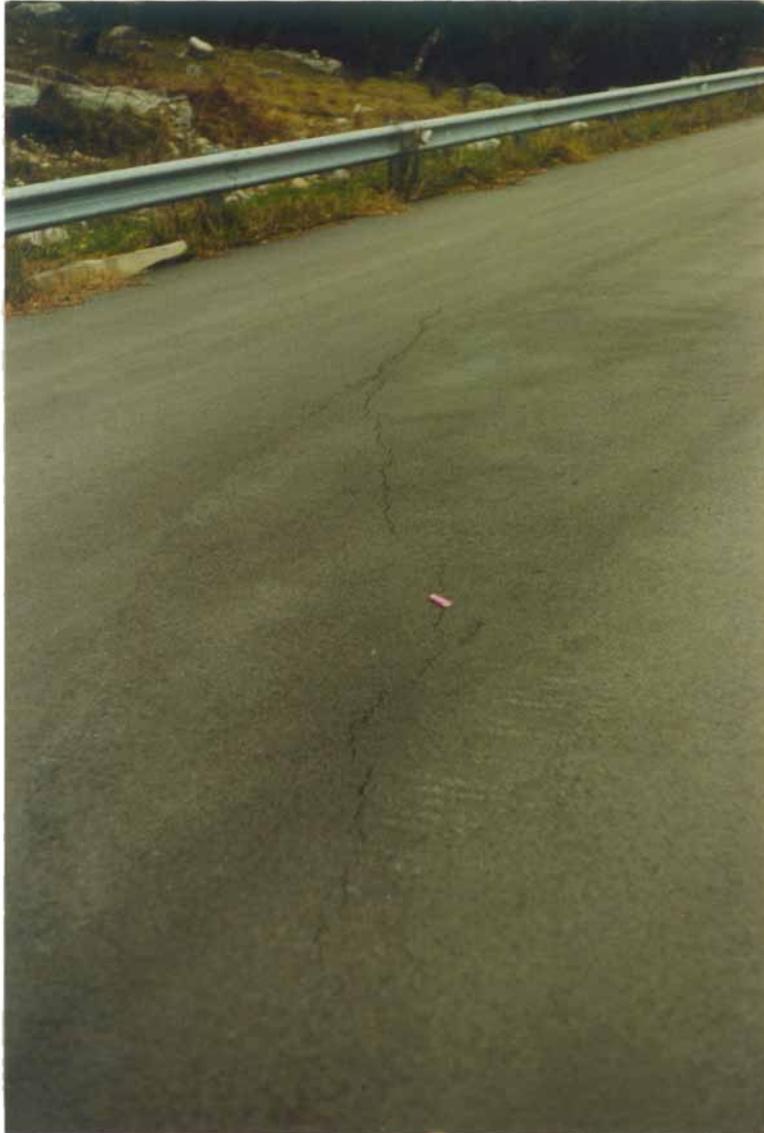


Foto 14 : Effetti degli scenari di franosità tipo B3, variante SS18

Alla tipologia delle colate detritico fangose appartengono sia fenomeni avvenuti in tempi storici, e di cui esistono riscontri geologici e geomorfologici, sia fenomeni avvenuti in tempi recenti a seguito della combinazione di eventi sfavorevoli (incendi ed eventi meteorici di forte intensità). A questo proposito si ricordano gli eventi storici che hanno interessato il Perale, quartiere più antico della frazione Poderia, e la parte alta dell'abitato di Celle Capoluogo (quest'ultimo sembra essere avvenuto verso la fine dell'800). Più recentemente, colate di questo tipo si sono mobilitate nel 1982 e nel 1997. Negli studi relativi alla prima fase (1:25.000), gli ambiti suscettibili di colate detritico-fangose coincidono o comprendono aree definite come Aree a Rischio Molto Elevato in quanto ricadono sempre all'interno del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano (Zona 1 e Zona 2) e le probabili zone di invasione possono interessare i centri abitati (in particolare intersecano un'area cimiteriale e le zone A-B e C del P.R.G.) o intersecare opere stradali (vedi Carta degli Insediamenti, delle Attività Antropiche e del Patrimonio Ambientale in scala 1:5000). Anche tale tipologia di frana viene classificata come di alta intensità (velocità dell'ordine dei m/s).

Scenario di tipo B : franosità di versante collinare in terreni fliscioidi

In tale contesto geomorfologico rientrano le seguenti tipologie di frana (Figure 15 e 16):

B1: colate argillose antiche

B2 : Scorrimenti rotazionali e rototraslativi recenti

B3 : Scorrimenti colata e creep-scorrimenti- colata

B1: colate argillose antiche

La tipologia "B1" si riscontra nel settore orientale del versante collinare, laddove si verificano le condizioni descritte in Fig. 10 per la fase c di evoluzione del sistema piedimonte-versante collinare. Le ultime fasi glaciali hanno creato le condizioni per l'innescò di grandi colate argillose, probabilmente a cinematismo rapido che inglobano "blocchi del substrato calcareo, fliscioide e delle precedenti coperture detritiche smantellate.

Nella prima fase (1:25000) si è riconosciuto che tali ambiti coincidono o comprendono sia aree definite come Aree a Rischio Molto Elevato che aree definite come Aree di Attenzione, ricadenti all'interno della zona 2 del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano e che intersecano opere stradali e lambiscono le zone C e D del P.R.G. (vedi Carta degli Insediamenti, delle Attività Antropiche e del Patrimonio Ambientale in scala 1:5000). Tali frane vengono classificate essenzialmente come di media intensità (velocità da lenta a moderata) in quanto le velocità attese possono variare tra i m/h (prima fase di innesco) ed i cm/anno (fase matura di lungo termine).

Per le basse acclività acquisite dei versanti (intorno a 10°), i possibili meccanismi evolutivi dei versanti dovrebbero consistere in una lenta deformazione delle masse costituenti le colate antiche, nella mobilitazione dei margini degli impluvi che le delimitano attraverso un corteo di frane tipo scorrimento e scorrimento-colata ed una retrogressione delle zone di coronamento in forma di scorrimento-colata di terra.

B2 : Scorrimenti rotazionali e rototraslativi recenti

Gli scorrimenti rotazionali e rototraslativi "B2" sono caratteristici della zona di affioramento del Flysch Calcereo-marnoso-argilloso, laddove si riscontrano impluvi molto incisi lungo le cui sponde gli scorrimenti avvengono in corrispondenza di zone più tettonizzate o alterate.

Nell'ambito dell'area in esame, queste tipologie si riscontrano lungo le sponde dei valloni fortemente incisi nelle successioni calcereo-marnoso-argillose appartenenti alle Successioni ad Affinità Sicilidi, affioranti lungo il Colle Morigialdo, ad Est del centro abitato del Capoluogo. Alcuni di questi fenomeni, che investono da vicino alcuni settori territoriali del capoluogo stesso, sono stati segnalati come situazioni emergenziali.

Negli studi relativi alla prima fase (1:25000) tali ambiti B2 ricadono in aree definite come Aree di Attenzione o Aree con Beni a Rischio, ricadenti all'interno della zona 2 del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano. In particolare, sono interessate sia opere stradali che zone A, B del P.R.G. (vedi Carta degli Insediamenti, delle Attività Antropiche e del Patrimonio Ambientale in scala 1:5000).

La Sezione Geologica n° 7 evidenzia la presenza di scarpate acclivi, con inclinazioni fino a 50 gradi interessate alla base da erosione verticale e laterale. Il substrato risulta

alterato ed allentato per circa 5-10 metri con disarticolazione della componente litoide e ammorbidimento della componente pelitica. A poca distanza dalle scarpate sono presenti diversi edifici che potrebbero essere interessati dai meccanismi di frana.

B3 : Scorrimenti colata e creep-scorrimenti- colata

Gli scorrimenti colata e creep-scorrimenti-colate "B3" sono stati individuati nella porzione centrale del piedimonte settentrionale del M.te Bulgheria. Tale area è interessata da una formazione prevalentemente argilloso-marnosa con intercalazioni costituite da livelli arenacei alterati e banconi marnosi e calcareo-marnosi.

La formazione argilloso marnosa è fortemente tettonizzata con completa disarticolazione delle intercalazioni litoidi che risultano isolate in forma di "blocchi" all'interno della massa argillosa. La componente argilloso-marnosa presenta uno spinto stato di fessurazione ed una struttura a scaglie fortemente orientata.

Nella Sezione Geologica n°5 viene schematicamente riprodotto un tipico assetto geologico ed il possibile cinematisimo del fenomeno franoso. Procedendo dall'alto verso il basso, è possibile individuare una copertura detritico colluviale dello spessore di pochi metri poggiante su di substrato argilloso fortemente alterato, allentato ed ammorbidito. Il complesso copertura e substrato alterato raramente supera la decina di metri. Al di sotto è presente un substrato inalterato argilloso-marnoso decisamente più consistente.

Osservazioni di carattere geomorfologico consentono di ritenere questi depositi interessati da fenomeni deformativi lenti (creep) con velocità attese dell'ordine dei mm/anno. Si tratta quindi di fenomeni di bassa intensità (velocità lenta). In Ogni caso, è possibile che la copertura detritico-colluviale ed il substrato argilloso, allentato ed ammorbidito possano mobilizzarsi secondo meccanismi di frana che si sovrappongono ai fenomeni deformativi lenti che interessano il substrato inalterato determinando scorrimenti roto-traslativi-colate. Tali cinematisni possono presentare velocità anche dell'ordine di cm/mese.

Negli studi relativi alla prima fase (1:25000) tali ambiti comprendono aree definite come Aree a Rischio Molto Elevato che aree definite come Aree di Attenzione o Aree con Beni a Rischio, ricadenti all'interno della zona 2 del Parco Nazionale del Cilento e

Vallo di Diano. In particolare l’ambito interessa un’area cimiteriale, opere stradali e le zone A, B, C e D del P.R.G. (vedi Carta degli Insediamenti, delle Attività Antropiche e del Patrimonio Ambientale in scala 1:5000).

6. Azioni da intraprendere nelle aree degli approfondimenti

6.1 Generalità

Tutte le zone individuate nella presente relazione presentano scenari di franosità che richiedono la messa in opera di azioni finalizzate alla mitigazione del rischio, come indicato nel capitolo 3.

E' innanzitutto opportuno che in tutte le aree individuate vengano eseguiti sopralluoghi finalizzati alla verifica delle effettive condizioni di rischio mediante rilievi più dettagliati ed approfonditi di quanto non sia stato possibile nei tempi limitati della convenzione.

In questa fase, tali verifiche potranno consentire una declassificazione dei livelli di pericolosità individuati in precedenza, ovvero limitare le aree giudicate suscettibili di instabilità. Inoltre, come già precisato nel paragrafo 3.2, potranno essere stabilite dalle scale di priorità tra le varie zone.

In questa fase, verranno inoltre effettuati tutti i rilievi già indicati nel paragrafo 3.2, che consentiranno di meglio precisare le informazioni già disponibili.

Successivamente, se necessario, verranno messe in opera le azioni immediatamente eseguibili per la mitigazione del rischio (par. 3.3) ed istituiti i presidi territoriali (par. 3.4). Manutenzione (par. 3.5), indagini (par. 3.6), monitoraggio strumentale (par. 3.7) ed interventi (par. 3.8), saranno tutte le ulteriori attività di impegno crescente che, sulla base degli ulteriori dati via via raccolti, l'Autorità potrà attivare per raggiungere l'obiettivo.

Nel seguito si forniscono delle indicazioni di massima sulle possibili azioni da intraprendere in ciascuna zona. Come precisato, tali indicazioni sono naturalmente suscettibili di modifiche in base a tutti i citati approfondimenti che l'Autorità di Bacino andrà ad effettuare al termine della presente fase di studio.

6.1.1 Scenario "A1", crolli

Nelle aree di interesse (Sezioni Geologiche 1 e 4; loc. Varicalemmo e loc. Variondina) sono presenti due costoni rocciosi interessati da crolli di blocchi di natura calcarea di grosse dimensioni (dell'ordine anche delle decine di metri cubi). Entrambe i versanti sono caratterizzati da pareti rocciose da subverticali a fortemente acclivi (pendenze medie di 40-50°). Il verificarsi di crolli può essere collegato al grado di fratturazione della roccia ed alla orientazione spaziale dei sistemi di discontinuità.

Per le difficoltà di accesso in tale area, non è stato possibile definire situazioni locali di grave instabilità che comportino pericolo imminente, anche se situazioni di questo genere non possono essere escluse.

Per questo motivo, i primi sopralluoghi, da svolgersi anche in elicottero e con l'ausilio di binocoli, consentiranno di precisare e definire tali eventuali situazioni.

Nell'ipotesi che effettivamente sussistessero situazioni di pericolo imminente, le attività immediatamente eseguibili per la mitigazione del rischio comprenderanno la pulizia dei costoni, il disaggio di massi pericolanti ed eventualmente opere idrauliche di regimazione delle acque superficiali. Inoltre, laddove vengano individuate strutture preesistenti idrauliche o di sostegno soggette a degradazione, esse verranno immediatamente riabilite.

Successivamente a questa fase, potrà essere istituito, eventualmente in via temporanea, un presidio territoriale che svolga le azioni precedentemente indicate, con particolare riferimento ai rilievi geomorfologici e strutturali, alle schede sulle preesistenze strutturali ed infrastrutturali ed agli elementi rivelatori di fenomeni franosi in preparazione.

L'attività di presidio territoriale consentirà la programmazione e l'avvio di una eventuale attività di manutenzione territoriale e delle strutture, con finalità analoghe a quelle definite in relazione alle attività immediate per l'eliminazione di situazioni di pericolo imminente.

Laddove si riconosca la necessità di azioni più radicali, tese essenzialmente alla stabilizzazione di blocchi considerati, alla lunga suscettibili di crollo, potranno essere

avviate specifiche e localizzate indagini, eventualmente includenti la messa in opera di strumenti per il monitoraggio.

Tali indagini potranno includere:

- rilievi fotogrammetrici terrestri ed analisi di foto stereoscopiche terrestri (per la restituzione di una dettagliata cartografia a curve di livello e prima individuazione delle discontinuità);
- rilievi sistematici in sito volti alla individuazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso (tipologia, spaziatura, orientazione)
- determinazione di parametri semplici per la caratterizzazione meccanica dei giunti mediante espressioni empiriche (formula di Barton); prove in sito o di laboratorio per la determinazione della resistenza al taglio dei giunti (naturalmente l'esecuzione di tali prove è subordinata all'esistenza di piste di accesso o gallerie).
- installazione di fessurimetri ed estensometri per il rilievo dei movimenti lungo le discontinuità

Le indagini ed il monitoraggio consentiranno quegli ulteriori approfondimenti necessari per la realizzazione di eventuali interventi per la stabilizzazione di fronti suscettibili di crollo.

In linea di principio, per le specifiche caratteristiche dei siti in considerazione, gli interventi potranno includere:

- la rimozione degli elementi ritenuti instabili anche se di grosse dimensioni, mediante esplosivi, miscele chimiche espansive, scavi a mano o con escavatori meccanici in funzione della effettiva accessibilità dei luoghi;
- interventi di consolidamento di lastroni rocciosi mediante chiodature ed ancoraggi (sempre che sia garantita l'accessibilità dei mezzi meccanici ai luoghi);
- barriere paramassi disposte lungo il versante (interventi del genere non hanno senso in corrispondenza delle gole del Fiume Mingardo dove le pareti rocciose si presentano praticamente verticali);

- strutture di protezione della sede viaria mediante gallerie paramassi, laddove non sia possibile né il disgaggio o la chiodatura dei massi (per l’inaccessibilità dei luoghi), né opere di protezione meno onerose (come nel caso di fronti molto acclivi).

6.1.2 Scenari "A2", colate detritiche, e "A3", colate detritico-fangose

Poiché gli scenari corrispondenti alle colate detritiche ed alle colate detritico-fangose presentano molti aspetti comuni, verranno trattati unitariamente.

Per le difficoltà di accesso nelle aree in oggetto, è stato possibile solo effettuare una prima perimetrazione delle situazioni locali di potenziale instabilità che comportino pericolo imminente (vedi ambiti "A2" e "A3" nella carta degli Scenari di Rischio). Naturalmente non possono essere escluse situazioni di questo genere anche in ambiti differenti.

Anche in questo caso i sopralluoghi che verranno svolti per approfondire e meglio definire le condizioni di rischio, consentiranno tra l’altro di stabilire una priorità tra le varie zone e programmare le ulteriori attività per la mitigazione del rischio.

Le attività immediatamente eseguibili per la mitigazione del rischio comprendono la rimozione di materiale colluviale accumulato in aree soggette ad importanti afflussi idrici capaci di mobilitare tali accumuli, specie se tali aree sono caratterizzate da elevate acclività, la pulizia ed il ripristino delle briglie esistenti negli impluvi con particolare riferimento a quelle ubicate nelle vallette sommitali confluenti nei canali del versante montagnoso, ed opere idrauliche di regimazione delle acque superficiali, specie nelle zone dove si riconosce un’azione di ruscellamento ed erosione concentrata. Inoltre, laddove vengano individuate strutture di sostegno in cattive condizioni statiche, esse verranno immediatamente riabilite.

Successivamente a questa fase, potrà essere istituito, eventualmente in via temporanea, un presidio territoriale che svolga le azioni indicate nei capitoli precedenti, con particolare riferimento ai rilievi geomorfologici delle coperture detritiche e piroclastiche, alle schede sulle preesistenze strutturali ed infrastrutturali, ed alle individuazione degli elementi rivelatori di fenomeni franosi incipienti.

L'attività di presidio territoriale consentirà la programmazione, l'avvio e la definizione di una eventuale attività di manutenzione ordinaria del territorio e delle strutture. A questo proposito, è opportuno sottolineare che nelle situazioni trattate nel presente paragrafo, la manutenzione continua del territorio e dei manufatti esistenti, con particolare riferimento alle opere idrauliche, è di fondamentale importanza.

In ogni caso, laddove si riconosca la necessità di interventi di stabilizzazione, andranno realizzate specifiche indagini includenti la messa in opera di strumenti per il monitoraggio.

Tali indagini potranno includere:

- foto aeree e rilievi topografici di superficie per la redazione della cartografia necessaria per la rappresentazione del territorio nelle aree di interesse;
- rilievo degli spessori delle coperture mediante indagini geologiche, esecuzioni di pozzetti e trincee, eventuali sondaggi;
- controllo del regime delle acque sotterranee attraverso l'installazione di stazioni tensio-piezometriche in grado di rilevare sia i valori della suzione (tensiometri) alle varie profondità di installazione, sia i valori di pressione neutra positiva al di sotto della superficie a pressione atmosferica;
- prelievo, da pozzetti, trincee o sondaggi, di campioni indisturbati di terreno da sottoporre a prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche;
- prove in sito (prove penetrometriche e di permeabilità) per la misura delle proprietà idrauliche e meccaniche dei terreni;
- prove di laboratorio finalizzate, quanto meno, alla determinazione del peso dell'unità di volume e del contenuto d'acqua naturale, del grado di saturazione, della porosità, della deformabilità e della resistenza al taglio; attesa la notevole influenza della suzione sulla risposta meccanica di tali materiali, potrà essere utile procedere ad una sperimentazione che tenga conto di tale aspetto;
- installazione di estensometri ed inclinometri per la misura delle deformazioni e degli spostamenti superficiali e profondi delle coltri di copertura.

Gli interventi di consolidamento di zone che risulti opportuno stabilizzare includeranno soprattutto vimate o qualsiasi altro intervento di tipo idraulico-forestale finalizzato alla limitazione dei fenomeni di erosione ed al sostegno di modesti volumi di terreno, opere idrauliche per la regimazione delle acque, briglie con funzione di sostegno ovvero di controllo dell'energia cinetica di masse di terreno in movimento.

Manufatti ubicati lungo il possibile percorso delle colate potranno essere protetti mediante barriere ovvero canali di deviazione del flusso.

6.1.3 Scenario "B1", colate argillose antiche, "B2", scorrimenti rotazionali e rototraslativi, e "B3", scorrimenti-colate e creep-scorrimenti-colate

I numerosi aspetti comuni agli scenari B1, B2 e B3 consentono di trattare unitariamente le relative problematiche connesse alla mitigazione del rischio.

Successivamente alla esecuzione dei sopralluoghi necessari per la definizione dettagliate delle condizioni di rischio, le attività immediate per la mitigazione del rischio comprenderanno la regimazione delle acque superficiali ed il loro allontanamento dalle zone morfologicamente depresse, la sigillatura delle fratture nelle zone in movimento per la riduzione dei fenomeni di infiltrazione, opere di rimodellamento dei versanti mediante movimenti di terra, il controllo dell'efficienza delle opere idrauliche presenti sul territorio e la loro eventuale riparazione, la riabilitazione delle opere di sostegno e di drenaggio già presenti sul territorio.

Per la relativamente modesta velocità evolutiva dei movimenti franosi, il presidio territoriale sarà un'attività molto utile che, in uno con la manutenzione ordinaria (pulizia di fossi, controllo dell'efficienza dei sistemi drenanti e di briglie ecc.), potrà consentire un adeguato controllo della evoluzione del territorio in molti casi sarà sufficiente per evitare il ricorso a ben più onerosi interventi.

Le indagini per la realizzazione di eventuali interventi di consolidamento potranno includere:

- foto aeree e rilievi topografici di superficie per la redazione della cartografia necessaria per la rappresentazione del territorio nelle aree di interesse;

- rilievo degli spessori delle coperture argillose alterate ed ammorbidite mediante indagini geologiche e sondaggi;
- controllo del regime delle acque sotterranee attraverso l’installazione di piezometri;
- prelievo, da pozzetti, trincee o sondaggi, di campioni indisturbati di terreno da sottoporre a prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche;
- prove in sito (prove penetrometriche e di permeabilità) per la misura delle proprietà idrauliche e meccaniche dei terreni;
- prove di laboratorio finalizzate alla determinazione delle principali proprietà fisico-meccaniche dei terreni;
- installazione di picchetti topografici e di inclinometri per la misura degli spostamenti superficiali e profondi delle coltri di copertura.

Sulla base dei dati disponibili, gli interventi necessari per la stabilizzazione dei versanti potranno consistere in:

- opere per la regimazione delle acque superficiali;
- movimenti di terra per la riprofilatura dei versanti;
- drenaggi, consistenti soprattutto in trincee drenanti nelle situazioni corrispondenti agli scenari B1 e B3, ed aste o pozzi drenanti, nelle situazioni corrispondenti allo scenario "B2";
- opere di sostegno (muri o paratie, eventualmente ancorati, chiodature).

Naturalmente, i sistemi di drenaggio potranno essere proposti solo dopo una verifica dell’effettivo regime delle pressioni neutre nel sottosuolo (tramite piezometri) e della presenza di pressioni neutre significative alla base della superficie di scorrimento.

Nell’utilizzo di sistemi di drenaggio in aree occupate da edifici, deve effettuarsi una analisi degli stati deformativi indotti nel terreno di fondazione dal sistema di drenaggio.