

INDICE

1	PREMESSA	2
2	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	6
	2.1 Geologia dell'area in studio	6
	2.2 - Geomorfologia dell'area in studio	9
3	L'INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI	11
4	ANALISI GEOSTRUTTURALE DI FRONTI IN ROCCIA IN STAZIONI DI MISURA	13
	4.1 Metodo di classificazione degli ammassi lapidei	14
	4.2 I siti campione	19
5	SCHEMA DI CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA	21
	5.1 Condizioni Idrogeologiche nella dorsale M.te Crocione – M.te S. Angelo	24
6	SCENARI DI SUSCETTIBILITÀ	25
7	SCENARI DI RISCHIO	27
	7.1 I diversi scenari di rischio	27
8	AZIONI DA INTRAPRENDERE NELL'AREA	29
	8.1 Generalità	29
	8.2 Programmi di interventi (strutturali e non strutturali) per la mitigazione del rischio	32
	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	35
	ALLEGATO 1a–c (Sezioni geologiche)	
	ALLEGATO 2a–c (Carta dei settori da sottoporre a indagini geognostiche e geotecniche)	
	ALLEGATO 3a-b (Carta dei profili lungo cui sono state determinate le distanze di propagazione dei massi con metodi analitici speditivi)	

Autorità di Bacino del Sarno

*Attuazione del disposto di cui all'art. 1, comma 1, della Legge 267/98
Così come modificato ed integrato dall'art. 9, comma 2, del D.L. 132/99,
convertito con modifica dalla Legge 226/99*

APPROFONDIMENTI DI CUI ALL'ART. 3 DELLA CONVENZIONE

**AREA CAMPIONE: LOC. M.TE CROCIONE – M.TE S.ANGELO (COMUNE DI META DI
SORRENTO)**

1 PREMESSA

Il territorio dell'Autorità di Bacino del Sarno è caratterizzato da due contesti geologici ben differenziati: quello delle grandi dorsali calcareo-dolomitiche "appenniniche" e quello dell'area vesuviana.

Questa distinzione si pone in particolare per quella porzione di territorio ricadente nella provincia di Napoli (di competenza del gruppo di lavoro coordinato dal Prof. R. de Riso).

La cartografia in scala 1:25.000 prevista dalla convenzione ha evidenziato in estrema sintesi:

- a) la grande diffusione di situazioni di rischio soprattutto per fenomeni di tipo idraulico (trasporto solido-alluvionamento. vedi in particolare il comune di Torre del Greco) e, più in generale, il pesante condizionamento dell'"urbanizzato" sul regolare deflusso delle acque superficiali provenienti dalle aree montane;
- b) la forte concentrazione di aree a rischio per frane di intensità elevata (crolli in rocce lapidee e scorrimenti/colata in coltri piroclastiche in vari comuni della Penisola Sorrentina e dei M.ti Lattari) e, subordinatamente, per frane di intensità media (comune di Massalubrense);

Le conclusioni cui si è pervenuti risentono evidentemente dei limiti imposti dalla scala della cartografia di base adottata, ma anche del diverso livello di informazioni sugli eventi pregressi e della indisponibilità di basi topografiche aggiornate per quanto attiene all'“urbanizzato” (sono state utilizzate basi topografiche della Regione Campania datate 1990)

L'approfondimento eseguito sull'area campione (come da convenzione), e di seguito illustrato, costituisce un esempio di modalità operativa resa possibile dalla adozione di basi topografiche a scala medio-grande (1:5.000).

Gli *iter* metodologici sono stati integrati in relazione alle peculiarità offerte dal territorio considerato e, in effetti, si è fatto ricorso anche ad elaborati cartografici aggiuntivi (dunque non previsti in convenzione).

La scelta dell'area campione ha evidentemente obbedito innanzitutto alla necessità di rappresentare uno dei due contesti geologici prima indicati. All'interno di questo si è proceduto alla individuazione di settori rappresentativi di determinate tipologie di fenomeni (e quindi di scenari di rischio) e dei quali fossero disponibili supporti topografici sufficientemente aggiornati.

Nella presente Relazione illustrativa si è dato conto, per quanto possibile, della eventuale influenza della circolazione idrica (“di fondo” e subsuperficiale).

- L'area di M.te Crocione-M.te S.Angelo (comune di Meta di Sorrento) è stata ritenuta rappresentativa di meccanismi di frana del tipo “distacco di blocchi” in rocce fratturate (calcarei) incombenti su importanti infrastrutture e nuclei abitati. Il contesto geologico presenta connotati del tutto tipici dal punto di vista geomorfologico-strutturale (balze rocciose situate a più quote e sedi di “distacchi”, porzioni di versanti più o meno regolari e di vario sviluppo sedi di “trasferimento di blocchi” e, talora, fasce pedemontane sedi in prevalenza di accumulo).

La “episodicità” dei “distacchi”, la difficoltà di individuare le testimonianze di eventi pregressi (aree puntuali di distacco) e di delimitare le fasce di prevalente accumulo dei blocchi (sia a causa della diffusione di materiali piroclastici di copertura sia per il fatto che i blocchi franati in aree urbanizzate vengono di norma rimossi) pongono problemi di “scala” non facilmente risolvibili anche lavorando con basi topografiche 1:5.000.

Si è pertanto privilegiato ancora l'approccio geomorfologico ai fini della definizione degli scenari di suscettibilità (vedi carta al punto "e" dell'elenco seguente); ma si sono altresì forniti esempi di valutazione preliminare del grado di stabilità di fronti rocciosi scelti come stazioni di misura per analisi geomeccaniche propedeutiche ad approcci di tipo ingegneristico (verifiche di stabilità puntuali; individuazione di tipologie di intervento) – vedi carta al punto "d" dell'elenco seguente –.

Gli elaborati cartografici allestiti (su basi topografiche datate 1989 e 1995, quest'ultima fornita dall'Autorità di Bacino) sono:

- a) Carta Geolitologica;
- b) Carta degli Elementi Geomorfologici Significativi;
- c) Carta Inventario dei Fenomeni Franosi;
- d) Carta degli Indici di Instabilità su Base Geomeccanica;
- e) Carta degli Scenari di Suscettibilità;
- f) Carta preliminare degli Scenari di Rischio su base Geomorfologica (propedeutica a valutazioni di dettaglio da affidare a: indagini geognostiche, controlli puntuali degli interventi già eseguiti, verifica della reale situazione dell'antropico).

L'allestimento di quest'ultimo elaborato, derivando essenzialmente da considerazioni di carattere geomorfologico, è stato accompagnato contestualmente da alcune operazioni di calcolo speditivo della entità dei percorsi di blocchi "virtuali" per effetto di rimbalzi/rotolamento lungo direttrici prefissate. Si è potuto in tal modo verificare in più di un caso la discreta concordanza fra la zona di arresto indicata dai calcoli e quella suggerita dagli indicatori geomorfologici (l'argomento richiede evidentemente approfondimenti in varie direzioni a partire dalla esecuzione di profili topografici per lo meno in scala 1:500). Nella stessa carta, i singoli "beni" ad alto rischio devono considerarsi come segnalazioni di situazioni areali da verificare puntualmente (come da titolo dell'elaborato).

Figura 1

2 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area di studio ricade nella penisola sorrentina (Figura 1), al margine settentrionale della depressione tettonica nota come “*graben* di Sorrento”. Qui affiorano sia rocce mesozoiche del substrato, che terreni di copertura più recenti. Il substrato relativo dell'intera area, che rappresenta altresì l'ossatura dei locali rilievi, è dato da rocce prevalentemente calcaree di età cretacea, riferibili all'Unità stratigrafico-strutturale M.ti Lattari-M.ti Picentini. Su tali rocce poggiano depositi piroclastici, in genere di spessore inferiore ai 5 m, in giacitura primaria o rimaneggiati. Il raccordo morfologico con le aree di piana è marcato da una fascia pressoché continua di depositi detritico-piroclastici, talora disposti a formare conoidi pedemontane. Al margine sudorientale dell'area (Arola) si segnala la presenza di un flysch argilloso-arenaceo, che affiora solo localmente, essendo per lo più anch'esso ricoperto da prodotti piroclastici. Nei settori di piana, è inoltre presente una sequenza di terreni piroclastici, alla cui base compare la formazione del Tufo Grigio Campano, sormontato da depositi per lo più sciolti. Lungo la fascia litorale, infine, compaiono depositi di spiaggia.

Lungo il bordo sud-occidentale della dorsale Punta Gradelle-M.te Crocione, si sviluppa un'importante dislocazione tettonica, avente i caratteri prevalenti di una faglia diretta, in momenti successivi ripresa da movimenti a componente orizzontale.

2.1 Geologia dell'area in studio

Al fine di individuare i litotipi presenti nell'area in studio si è effettuata una campagna di rilevamento su base cartografica 1:5000. Non essendo state effettuate indagini geognostiche (Sondaggi meccanici, trincee, scavi), la presenza di tagli naturali e artificiali (strade o sbancamenti) è risultata indispensabile al fine di valutare, in alcuni casi, gli spessori dei terreni.

Sulla base delle indagini di campagna sono state individuate sette tipologie di depositi di seguito descritte.

Il substrato relativo dell'area, come detto, è rappresentato dai *calcarei mesozoici da mediamente a molto fratturati* (Calcarei a Rudiste del Cretaceo superiore) che affiorano lungo la falesia di Punta Gradelle, nonché lungo il versante sud-occidentale e meridionale del M.te

S. Angelo. Le stesse rocce affiorano inoltre lungo la cornice sommitale e le aree a maggiore acclività del versante SO di M. Crocione e del rilievo a SO di Arola. I calcari cretacei sono caratterizzati da fitta stratificazione ed elevato grado di fratturazione, quest'ultima è più spinta nelle porzioni più superficiali dell'ammasso roccioso ed in prossimità delle principali linee tettoniche, dove la roccia si presenta cataclastica. Non si osservano forme macroscopiche legate alla dissoluzione carsica, ma i suoi effetti sono riscontrabili lungo piani di strato e fratture da più tempo esposte agli agenti esogeni. Per tali motivi la permeabilità per fessurazione e per carsismo di interstrato è elevata.

I *Depositi piroclastici sciolti* che ammantano i versanti carbonatici sono per lo più posteriori al Tufo Grigio litoide e in parte di origine vesuviana. Essi sono rappresentati in genere da cineriti di colore bruno-rossastro, inglobanti quantità variabili di lapilli, pomici, scorie e sabbie vulcaniche. Pomici, scorie e lapilli, a luoghi, formano intercalazioni lentiformi all'interno della massa cineritica. Tali materiali solo occasionalmente si presentano coesivi e sono per lo più humificati e argillificati.

Gli spessori sono variabili in genere tra poco meno di 0.5 e 5 m, come evidenziato nella carta geolitologica dell'area in scala 1:25.000.

Depositi francamente piroclastici sono stati cartografati lungo il crinale NW del M. S. Angelo, dove raggiungono spessori, generalmente, dell'ordine dei 2 m, nella sella di Alberi fino a quote prossime ai 310 m (versanti di M. S. Angelo e M. Crocione), nell'area sommitale di M. Crocione, dove possono raggiungere i 5 m di spessore, nelle aree circostanti Arola e nell'area pedemontana a debole pendenza, (spessori compresi tra 2 e 10 m). Altrove le piroclastiti si rinvennero a copertura dei depositi detritici antichi e recenti e del flysch argilloso-arenaceo con spessori generalmente inferiori ai 2 m.

Al di sopra dei calcari, sebbene il contatto non sia osservabile in affioramento, è il *Tufo Grigio Campano* litoide, che ha colmato il *graben* di Sorrento e che tuttavia, nell'area studiata, affiora soltanto in corrispondenza della profonda incisione del Rio Lavinola dalla località Casa Starita fino al Ponte Vecchio. Esso presenta un colore da grigio scuro a nerastro e la tipica fessurazione colonnare connessa al processo di raffreddamento. La roccia è costituita da una matrice cineritico-scoriacea inglobante scorie nerastre o bruno-scure, prevalentemente vetrose, di dimensioni variabili da pochi mm a qualche decina di centimetri;

contiene sanidino ed altri inclusi tra cui frammenti calcarei. Lo spessore osservabile in affioramento raggiunge circa 20 m in località Ponte Vecchio.

I depositi detritici, diffusamente presenti nell'area, sono stati classificati in 3 unità. Due di esse sono state distinte in base al grado di cementazione prevalente dei materiali ed allo spessore della copertura piroclastica, la terza è invece rappresentata dai depositi delle conoidi pedemontane.

- *Detrito di versante da sciolto a cementato.* Tali depositi si rinvengono al piede delle acclivi pareti calcaree, nonché lungo i versanti nord e sud di M.te Crocione. Essi, come i detriti cementati di seguito descritti, sono legati ai processi di disgregazione della stessa roccia calcarea ed al conseguente accumulo "areale". La frazione grossolana è rappresentata da clasti calcarei eterometrici a spigoli vivi o talora smussati, per lo più sciolti, a luoghi frammisti a materiali di natura piroclastica rimaneggiati; la matrice è scarsa. Nella parte sommitale di tali depositi è presente talvolta una copertura piroclastica il cui spessore, in genere estremamente ridotto, può raggiungere 0.5 m (versanti N e S di M. Crocione).
- *Detrito di versante, prevalentemente cementato.* Tali depositi sono presenti alla base dei versanti carbonatici ed a sud di Arola, con spessori notevoli, generalmente maggiori di 10 m. Hanno composizione granulometrica del tutto simile a quella dei depositi sciolti, essendo costituiti da clasti calcarei eterometrici a spigoli vivi o talora smussati, in scarsa matrice, frammisti a materiali di natura piroclastica rimaneggiati ed argillificati. La coltre presenta, nella parte sommitale, una copertura di piroclastiti di spessore compreso tra 0.5 e 2 m.
- *depositi di conoide detritica* costituiscono l'altra unità detritica e sono presenti alla base dei versanti. Essi, per le loro caratteristiche sono riconducibili prevalentemente alla deposizione di materiali derivanti da movimenti in massa del tipo "debris flow". Sono infatti costituiti da clasti eterometrici di natura calcarea, a spigoli da vivi a smussati, talvolta arrotondati (particolarmente lungo gli argini del Rio Lavinola), in matrice detritico-piroclastica. Quest'ultima può talvolta essere prevalente rispetto ai clasti. Tali depositi si rinvengono allo sbocco di brevi aste torrentizie, di basso grado gerarchico, nella fascia pedemontana a debole pendenza, a valle di settori di

versante in cui l'arretramento della parete carbonatica appare particolarmente marcato.

I *depositi di spiaggia* sono presenti in località La Conca (Marina di Alimuri), dove formano un piccolo arenile ciottoloso e sabbioso, ad elementi carbonatici frammisti a lapilli e sabbia vulcanica.

Sulla base dei rilievi effettuati sono state ricostruite tre sezioni geologiche (allegati **1a**, **1b** e **1c**; per le tracce delle sezioni si vedano gli allegati **2b** e **2c**) relative a tratti dei versanti ritenuti rappresentativi delle differenti situazioni stratigrafiche. Esse permettono di evidenziare gli spessori e la posizione degli accumuli detritici alla base dei versanti calcarei.

2.2 - Geomorfologia dell'area in studio

L'impianto geomorfologico complessivo dell'area in esame è largamente condizionato dalla presenza della dorsale montuosa che si sviluppa con continuità da Punta Gradelle fino a Monte Vico Alvano. In buona sostanza, si tratta di un tipico versante di faglia, soggetto a fenomeni di arretramento secondo il meccanismo prevalente della recessione rettilineo-parallela. Sulla sommità di tale dorsale si riconoscono lembi relitti di antiche superfici d'erosione a debole pendenza ($< 10^\circ$), che nell'area si attestano intorno a quota 420-450 m s.l.m. I versanti, aventi pendenze variabili da pochi gradi sino ad oltre 40° , sono incisi da un reticolo idrografico "embrionale". Nella fascia pedemontana sono state riconosciute varie conoidi di deiezione detritico-piroclastiche, di età presumibilmente diversa. Al margine nordoccidentale dell'area è infine presente una falesia costiera, da considerarsi "attiva".

Nella "Carta degli elementi geomorfologici significativi" l'area in studio è stata suddivisa nelle seguenti zone morfologicamente omogenee.

Area sommitale subpianeggiante di rilievo carbonatico (paleosuperficie)

Sono quelle aree, connesse ad antiche fasi di erosione, situate nelle parti sommitali dei rilievi carbonatici di M. S. Angelo e M. Crocione, e ricoperte dai depositi piroclastici.

Settore di versante carbonatico caratterizzato da debole pendenza (valori medi compresi tra 7° e 25°)

Sono i settori che corrispondono al crinale a NO della vetta del M. S. Angelo, alla zona di sella tra lo stesso M. S. Angelo e M. Crocione e alla zona di Arola, in cui si osservano pendenze modeste ed il substrato risulta coperto da depositi piroclastici.

Settore di versante generalmente regolare, caratterizzato da poche incisioni e con pendenze comprese tra 15° e 40°.

Aree con tali caratteristiche sono presenti con continuità alla base della dorsale M. S. Angelo-M. Crocione e, inoltre, a NO e a SE della sella di Alberi, a S della vetta di M. Crocione e nella porzione meridionale e sudorientale dell'area in studio.

Settore di versante caratterizzato da superficie morfologicamente articolata, con alternanza di pareti subverticali e pendii acclivi con pendenza maggiore di 40°

Sono settori individuabili a SO del crinale della dorsale M. S. Angelo-M. Crocione e a SO di Arola. In essi sono presenti le cornici sommitali dei versanti assieme a "balze" formatesi per l'erosione selettiva di porzioni a differente resistenza meccanica dell'ammasso roccioso e al loro interno ricadono le pareti calcaree più frequentemente soggette a distacchi di blocchi lapidei.

Conoidi prevalentemente detritiche, antiche (Pleistocene medio-superiore) e recenti (Pleistocene superiore-Olocene), sono state riconosciute allo sbocco di brevi aste torrentizie di basso grado gerarchico, nella fascia pedemontana a debole pendenza in corrispondenza della quale, sovente, gli alvei risultano oblitterati.

I settori di piana (definiti, in Carta, *Area pedemontana a debole pendenza*) sono caratterizzati da valori di acclività contenuti (5°-10°), e la loro morfologia attuale è da ricondursi prevalentemente a processi deposizionali vulcanici. In particolare, la configurazione morfologica sub-pianeggiante dell'area è legata alla deposizione del Tufo Grigio Campano, che ha colmato la depressione tettonica di Sorrento. All'interno di essa il Rio Lavinola e il suo maggiore tributario di destra incidono profondamente i depositi della fascia pedemontana creando scarpate la cui altezza può raggiungere i 15 -20 m. Altri impluvi fortemente incisi sono osservabili in prossimità della S.S. 145, lungo il versante calcareo a NO della sommità di M. S. Angelo.

Falesia. È stata individuata nella parte nordoccidentale dell'area studiata, lungo la linea di costa da P.ta Gradelle fino alla Cava di Pietra. Detta falesia è da considerarsi tuttora attiva per l'azione del moto ondoso alla base della parete calcarea.

Un piccolo tratto di *spiaggia*, presente nella stessa zona in località la Conca, è stato rappresentato sulla Carta.

Alcune *cave* di calcare, ormai dismesse, caratterizzate da pareti fortemente acclivi e di notevole altezza, sono infine presenti Lungo il versante SO del M. S. Angelo.

3 L'INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI

Lo studio delle evidenze geomorfologiche, basato sia su rilievi diretti che su analisi topografiche, ha permesso di riconoscere le più significative tipologie di dissesto che influenzano l'evoluzione dei versanti dell'area in studio.

In particolare, sono stati evidenziati alcuni dei principali costoni calcarei, affioranti nel territorio comunale di Meta, che rappresentano le zone di distacco di frane da crollo *s.l.*, le cui testimonianze sono costituite da taluni blocchi, di volumetrie variabili (fino al metro cubo), rinvenuti a varie quote lungo le pendici sottostanti e fino ai bordi della piana che delimita i versanti stessi. Tali costoni, che in alcuni casi corrispondono a fronti di cave inattive, si presentano prevalentemente con orientazioni NO - SE e spesso sono controllati da lineamenti tettonici. Essi sono caratterizzati da pareti subverticali, con altezze variabili fino ad un massimo di circa 100 metri, a luoghi articolate ed interessate da una fratturazione con orientazione variabile e generalmente molto persistente. Le osservazioni dirette delle pareti hanno evidenziato: frequenti superfici di distacco recenti, presenza di fratture beanti, connesse all'azione divaricatrice di radici vegetali e ad effetti di decompressione dell'ammasso, masse isolate in precarie condizioni di equilibrio, zone aggettanti e rientranze cuneiformi all'intersezione di fratture, superfici di strato a vista e fratture subverticali parallele al fronte.

Di solito, alla base di queste pareti subverticali si sviluppa un versante, con pendenze medie dell'ordine dei 30°, che si raccorda con l'antistante piana e che risulta coperto da una vegetazione ora arbustiva, con alberi radi, ora erbacea e con zone coltivate.

Oltre ai fenomeni di crollo *s.l.*, sono state osservate, in corrispondenza dei versanti nordoccidentale e meridionale di M. Crocione, nella zona a sud di Arola, sul versante settentrionale di M. Vico Alvano e sul versante sudoccidentale di M. S. Angelo, condizioni litologiche e morfologiche predisponenti l'instaurarsi di fenomeni di scorrimento – colata.

Come già riportato in premessa, nell'area esiste un'elevata predisposizione all'innesco di frane da crollo, in considerazione dell'impianto morfologico-strutturale (rocce calcaree fratturate, versanti ad elevata acclività, falesia costiera, fronti di cava, tagli stradali in roccia, ecc.). Come sovente avviene in aree con siffatte caratteristiche, non è agevole riconoscere zone di distacco o cumuli di frane da crollo, specie se il rilevamento avviene a distanza di tempo dall'evento.

Per le difficoltà su menzionate si è adottata una rappresentazione cartografica di tipo “areale” per le zone di distacco delle frane da crollo: si è così inteso individuare quei settori di versante nei quali si è già verificato un evento franoso o sussistono condizioni di potenziale instabilità (elevata acclività, giacitura sfavorevole delle discontinuità, blocchi in equilibrio precario ecc.). Sono state quindi evidenziate le pareti sub-verticali presenti lungo i versanti calcarei della dorsale a NE dell'area studiata, la cui altezza è compresa fra circa di 10 m (gradini di morfoselezione) e i 75-100 m (cornice sommitale di Monte Crocione, “gola” formata dal rio Lavinola tra la dorsale di M.te Crocione e le pendici del M. Vico Alvano), o i 150 m della falesia di P.ta Gradelle. Sono state inoltre evidenziate le pareti in tufo lungo l'impluvio del Rio Lavinola.

La rappresentazione puntuale dei cumuli di frana è stata limitata a pochi casi, per i quali si disponeva di informazioni più precise. Tale è il caso della frana che ha interessato la S.S. n. 145 nel settembre '99, nonché della frana occorsa a Marina di Alimuri (di cui sono state raccolte testimonianze in loco), per effetto della quale un blocco calcareo ha colpito un edificio situato in prossimità della spiaggia.

L'ubicazione dei punti di accumulo di tali frane, assieme a taluni massi isolati riconosciuti a luoghi lungo i versanti, ha permesso di individuare talune zone di accumulo per frane da crollo. Anche i cumuli di frana non sono stati rappresentati singolarmente ma si è ritenuto più significativo adottare una rappresentazione di tipo areale. Le aree di accumulo sono state pertanto identificate sostanzialmente con le aree di affioramento del detrito sciolto con modeste coperture piroclastiche (fa eccezione la fascia situata a SO della S.S. 145, lungo le pendici del M S. Angelo, dove gli spessori di piroclastiti sono maggiori, nella quale si è

arrestato un masso crollato nel settembre 1999). Pertanto il limite inferiore del detrito sciolto rappresenta, nella “Carta-inventario dei fenomeni franosi”, il limite di massima invasione riconoscibile su base geomorfologica. Tale limite sembra, sostanzialmente, concordare con le risultanze delle verifiche analitiche speditive, eseguite, della possibile cinematica dei blocchi (scendimento per rimbalzi e rotolamenti e punti di arresto finali – vedi Paragrafo 8.2).

Nella Carta-inventario sono state infine riportate, anche se non tipiche dell'area studiata, le frane da scorrimento-colata, già indicate nella cartografia in scala 1:25.000. Si tratta, in gran parte, di fenomeni di modesta entità, non cartografabili anche in scala 1:5.000. Unica eccezione di rilievo è data dalla frana che nel gennaio '97 ha provocato la chiusura prolungata della strada di collegamento Piano di Sorrento-Arola, in località Selva della Tomba. Questa frana è stata caratterizzata da un percorso di circa 200 m, su un dislivello di circa 200 m, ed ha mobilitato un volume di terreno stimato in poche migliaia di metri cubi.

4 ANALISI GEOSTRUTTURALE DI FRONTI IN ROCCIA IN STAZIONI DI MISURA

I rilievi geomorfologici hanno permesso di scegliere 28 fronti sui quali sono state effettuate analisi geomeccaniche, finalizzate alla valutazione semiquantitativa della loro propensione ai dissesti. A tale scopo, si è provveduto, preliminarmente, a definire le “zone di omogeneità strutturale” sulla base dei dati scaturiti dal rilevamento geostrutturale.

Il criterio adottato si basa sul metodo proposto da Romana (1985; 1991) che prende in considerazione le caratteristiche di resistenza degli ammassi, l'assetto geometrico delle discontinuità in relazione all'orientazione del pendio e, nel caso dei fronti di scavo, anche gli aspetti antropici connessi all'utilizzo delle diverse tecniche di abbattimento e sagomatura delle pareti cavate. In conclusione, ad ogni fronte studiato è stato attribuito un valore numerico a cui corrisponde un giudizio sulle condizioni di stabilità e sulle possibili tipologie di rottura. Tale approccio costituisce un accettabile compromesso tra le esigenze di rigore metodologico ed operativo, proprie della Meccanica delle Rocce, e la necessità di fornire in tempi brevi una valutazione della pericolosità di aree estese. Esso può essere considerato propedeutico per successivi approfondimenti specifici su aree singolari. Il metodo non fornisce indicazioni sulle distanze eventualmente percorse da massi crollati, per la valutazione delle quali, invece, sono state adottate – nella presente trattazione - analisi ad hoc.

4.1 Metodo di classificazione degli ammassi lapidei

La classificazione proposta da Romana (1985; 1991) tiene conto dei seguenti fattori:

- proprietà intrinseche di resistenza dell'ammasso;
- orientazione del pendio in rapporto a quella dei sistemi di fratturazione predominanti;
- confronto tra gli angoli di inclinazione delle famiglie di discontinuità e gli angoli di resistenza al taglio disponibile lungo le potenziali superfici di rottura;
- metodo di abbattimento utilizzato, nel caso dei fronti di scavo.

Per caratterizzare i versanti, Romana propone l'indice SMR (*slope mass rating*) che permette di collocarli in una specifica classe di instabilità caratterizzata da determinate tipologie di rottura (vedi Tabella 1).

Classe	V	IV	III	II	I
SMR	0 ÷ 20	21 ÷ 40	41 ÷ 60	61 ÷ 80	81 ÷ 100
Stabilità	Fortemente instabile	Instabile	Parzialmente stabile	Stabile	Completamente stabile
Rotture	Grandi rotture planari e scorrimenti rotazionali	Planari lungo molti giunti e/o grandi cunei	Planari lungo alcuni giunti e/o molti cunei	Alcune rotture di blocchi isolati	Nessuna

Tab. 1 - Classificazione di Romana per i versanti in roccia

Lo *slope mass rating* viene definito mediante la seguente formula:

$$\text{SMR} = \text{RMR} + (\text{F1} \cdot \text{F2} \cdot \text{F3}) + \text{F4} \quad (1)$$

in cui:

RMR rappresenta l'indice *Rock Mass Rating* di base, mutuato dalla nota classificazione degli ammassi di Bieniawski (1976; 1989);

F1 è un indice fattoriale che riflette il parallelismo tra la *direzione* delle discontinuità e quella media del versante. Il suo valore è calcolabile con la formula:

$$\text{F1} = (1 - \text{sen } A)^2 \quad (2)$$

in cui *A* rappresenta l'angolo tra le direzioni del fronte e della discontinuità. **F1** varia tra 1,00 (nel caso in cui le due *direzioni* sono quasi esattamente parallele) e 0,15 (nel caso in

cui le due *direzioni* divergono fra loro di un angolo maggiore di 30° e la probabilità di rottura è molto bassa);

F2 è un indice fattoriale che, nel caso di scorrimento planare, valuta l'influenza dovuta all'inclinazione della discontinuità. Essendo β_j = inclinazione del giunto, il valore dell'indice F2 può essere calcolato con la formula:

$$F2 = \text{tg}^2 \beta_j \quad (3)$$

e varia tra 1,00 (per inclinazioni superiori a 45°) e 0,15 (per inclinazioni inferiori a 20°). Nell'ipotesi di fenomeni di ribaltamento, F2 assume valore 1,00 per qualsiasi angolo di inclinazione della discontinuità;

F3 è un indice fattoriale che valuta la relazione esistente tra l'*inclinazione* della discontinuità (β_j) e quella del pendio (β_s). Nel caso di scorrimenti planari si considera la loro differenza ($\beta_j - \beta_s$) e l'indice assume valori che oscillano tra 0 (stabile) e -60 (instabile); nel caso dei ribaltamenti, invece, si considera la loro somma ($\beta_j + \beta_s$) e l'indice assume valori variabili tra 0 (stabile) e -25 (instabile);

F4 è un indice fattoriale che, nel caso dei fronti di scavo, tiene conto del metodo di abbattimento della roccia. I suoi valori numerici sono stati definiti empiricamente da Romana, secondo i seguenti criteri:

1) i pendii naturali sono più stabili in quanto hanno raggiunto condizioni di equilibrio in tempi lunghi e talora risultano protetti dalla vegetazione; F4 si assume pari a + 15;

2) la tecnica di abbattimento che utilizza il “*presplitting*”, favorisce notevolmente la stabilità del fronte: F4 = + 10;

3) la riprofilatura del fronte con sparo delle mine ben eseguito ma senza il “*presplitting*”, migliora, in modo più contenuto, la stabilità: F4 = + 8;

4) l'uso di esplosivi normali, inseriti in fori da mina non paralleli, non modifica la stabilità: F4 = 0;

5) “*volate*” irregolari, spesso eseguite con troppo esplosivo, senza “*presplitting*” e/o in fori da mina non paralleli, peggiorano la stabilità: F4 = - 8;

6) l'abbattimento con mezzi meccanici può essere realizzato solo in rocce tenere o molto fratturate ed è spesso associato all'uso preliminare di esplosivi; il fronte di scavo non sempre può essere opportunamente sagomato. Il metodo ha un effetto definito “indifferente” sulla stabilità: F4 = 0.

I *ratings* relativi ai tre parametri F1, F2 ed F3, che contribuiscono alla definizione dell'indice fattoriale delle discontinuità, sono riportati in Tabella 2.

Mentre per il calcolo degli indici fattoriali F1, F2 ed F3 sono stati utilizzati i dati scaturiti dai rilievi geostrutturali di campagna, per la determinazione dell'indice RMR, invece, si sono rese necessarie alcune preliminari elaborazioni ed adattamenti. Infatti il calcolo dell'RMR implica l'acquisizione, non sempre agevole, di parametri quali l'indice RQD (*Rock Quality Designation*) o le condizioni di circolazione idrica nell'ammasso. D'altra parte, è ben noto che il metodo di Bieniawski fu inizialmente introdotto per la classificazione degli ammassi interessati dallo scavo di gallerie e, solo successivamente, fu esteso anche ai pendii rocciosi, seppur con alcune incertezze.

Tipologia	Molto favorevole	Favorevole	Indifferente	Sfavorevole	Molto sfavorevole
$P (\alpha_j - \alpha_s)$	$> 30^\circ$	$30^\circ \div 20^\circ$	$20^\circ \div 10^\circ$	$10^\circ \div 5^\circ$	$< 5^\circ$
$T((\alpha_j - \alpha_s) - 180^\circ)$ (P & T) F1	- 0,15	- 0,40	- 0,70	- 0,85	- 1,00
$P (\beta_j)$ P F2 T F2	$< 20^\circ$ 0,15 1,00	$20^\circ \div 30^\circ$ 0,40 1,00	$30^\circ \div 35^\circ$ 0,70 1,00	$35^\circ \div 45^\circ$ 0,85 1,00	$> 45^\circ$ 1,00 1,00
$P (\beta_j - \beta_s)$ $T (\beta_j + \beta_s)$ (P & T) F3	$> 10^\circ$ $< 110^\circ$ 0	$10^\circ \div 0^\circ$ $110^\circ \div 120^\circ$ - 6	0° $> 120^\circ$ - 25	$0^\circ \div - 10^\circ$ - - 50	$< - 10^\circ$ - - 60

Tab. 2: Valori degli indici fattoriali F1, F2 ed F3 della Classifica di Romana. LEGENDA: P = rottura planare; T = ribaltamento; α_j = direzione della discontinuità; α_s = direzione del pendio; β_j = inclinazione della discontinuità; β_s = inclinazione del pendio.

Per ovviare a tali inconvenienti, in questa sede si è fatto riferimento al “*criterio di rottura*” di Hoek & Brown (Hoek & Brown 1980; 1992; 1997; Hoek 1995) che prevede l'utilizzo dell'indice GSI (*Geological Strength Index*) il quale, a sua volta, fornisce una stima della riduzione di resistenza in relazione alle possibili, differenti condizioni geostrutturali della roccia e delle superfici di discontinuità che la interessano. Ciò rende possibile la suddivisione dell'ammasso in 20 classi di qualità (vedi Tabella 3).

Classificazione degli ammassi in base alla descrizione della loro struttura (nelle righe) ed alle condizioni delle superfici di discontinuità (nelle colonne), con individuazione del valore medio dell'indice GSI (<i>Geological Strenght Index</i>) secondo Hoek & Brown	MOLTO BUONE: superfici di discontinuità inalterate e molto scabre	BUONE: superfici di discontinuità debolmente alterate, ossidate e scabre	MEDIOCRI: superfici di discontinuità moderatamente alterate e lisce	SCADENTI: superfici di discontinuità molto alterate, levigate, rivestite da materiale resistente o con riempimento sabbioso	MOLTO SCADENTI: superfici di discontinuità molto alterate, levigate, con rivestimento o riempimento argilloso
A BLOCCHI: ammasso indisturbato formato da blocchi cubici molto ben collegati ed individuati da tre sistemi di discontinuità ortogonali	B/VG 85	B/G 75	B/F 62	B/P 48	B/VP 34
CON NUMEROSI BLOCCHI: ammasso parzialmente disturbato formato da blocchi poliedrici collegati ed individuati da quattro o più sistemi di discontinuità	VB/VG 75	VB/G 65	VB/F 48	VB/P 38	VB/VP 25
A BLOCCHI/DISTURBATO: ammasso con pieghe e/o tettonizzato formato da blocchi angolari individuati da numerosi sistemi di discontinuità	BD/VG 60	BD/G 50	BD/F 40	BD/P 30	BD/VP (20)
CATACLASTICO: ammasso fortemente fratturato formato da frammenti angolari ed arrotondati scarsamente collegati	D/VG 50	D/G 40	D/F 30	D/P (20)	D/VP (10)

Tab. 3: Suddivisione degli ammassi in classi di qualità, sulla base della struttura e delle condizioni delle discontinuità. (da HOEK, 1995, modificato). LEGENDA: “*Struttura dell’ammasso*” B = A BLOCCHI; VB = CON NUMEROSI BLOCCHI; BD = A BLOCCHI/DISTURBATO; D = CATACLASTICO. “*Condizioni delle superfici di discontinuità*” VG = MOLTO BUONE; G = BUONE; F = MEDIOCRI; P = SCADENTI; VP = MOLTO SCADENTI. **85** = Valore medio dell’indice GSI per la classe. NOTA: Per le classi ricadenti nel settore campito della tabella, la correlazione tra GSI ed RMR non è applicabile.

In tal modo, per valori di RMR maggiori di 25, si può calcolare direttamente il valore di GSI utilizzando la versione 1989 della classificazione di Bieniawski, dove RMR_{89} è calcolato avendo posto pari a 15 il *rating* valido per un ammasso completamente asciutto e pari a 0 il *rating* che tiene conto della correzione per l’orientazione delle fratture (condizione “molto favorevole”). Si ha quindi (Fig. 2):

Figura 2

per $RMR_{89} > 25$,

$$GSI = RMR_{89} - 5 \quad (4)$$

Tale limitazione è dovuta al fatto che, nel caso di ammassi di qualità “molto scadente” (classe I di Bieniawski), il valore di RMR è difficile da ottenersi e pertanto, sulla base delle osservazioni dirette dell’Autore, la correlazione (4) perde di significato.

4.2 I siti campione

La scelta dei costoni rocciosi, su cui realizzare l’analisi statistica della distribuzione spaziale delle discontinuità e, di conseguenza, applicare il metodo di classificazione dei versanti secondo Romana, è stata principalmente dettata dalle loro dimensioni e, più in particolare, da considerazioni logistiche legate all’accessibilità dei luoghi. La gran parte delle pareti indagate si distribuisce lungo il versante sudoccidentale di M.S. Angelo e, complessivamente, sono state rilevate circa 300 discontinuità. Per ognuna di esse, sono state raccolte, secondo i criteri proposti dalle norme I.S.R.M. (1978), misure relative alla direzione di immersione (*dip direction*), all’inclinazione (*dip*), alla persistenza, all’apertura, alla scabrezza ed al riempimento. Inoltre, per ognuno dei 28 siti indagati è stata effettuata un’analisi morfostrutturale della parete che ha permesso di attribuirle un valore di GSI e, quindi, di RMR. Dall’elaborazione statistica dei dati relativi alle discontinuità misurate si definiscono i valori degli indici F1, F2 e F3 che, mediante l’utilizzo della formula (1), consentono di calcolare l’SMR.

A tale scopo, i dati geostrutturali rilevati in campagna sono stati elaborati al computer con programmi di calcolo che, mediante analisi *cluster*, hanno permesso di definire le principali famiglie di discontinuità che caratterizzano l’ammasso. Queste ultime, insieme con il versante, la stratificazione ed eventuali faglie non considerate nell’elaborazione statistica dei giunti, sono state rappresentate, in proiezioni stereografiche, come ciclografiche dei piani medi di discontinuità, usando la proiezione equiareale (emisfero inferiore). Per 10 dei fronti indagati, le ciclografiche rappresentative sono anche riportate sulla Tavola denominata “*Carta degli indici di instabilità dei versanti definiti su base geomeccanica*”. Prima di procedere al calcolo dello *slope mass rating* (SMR), è stata effettuata un’analisi preliminare

applicando il test di Markland (1972; Hoek & Bray, 1981) da cui è stato possibile individuare, per ogni singola superficie considerata e riprodotta nella proiezione stereografica, le tipologie franose più probabili (*scivolamento* e/o *ribaltamento*). Ciò permette di escludere nel calcolo dell'SMR i fattori relativi alle tipologie che con minor probabilità si possono verificare lungo la superficie esaminata. In particolare, gli elementi strutturali utili per il test di Markland sono rappresentati dai vettori immersione delle superfici individuate (significativi per fenomeni tipo *scivolamento*), dai vettori normale (significativi per fenomeni tipo *ribaltamento*) e dalle linee di intersezione tra le superfici stesse (significative per fenomeni tipo *cuneo*).

Alla fine, il calcolo dello *slope mass rating* ha permesso di attribuire ogni singolo fronte studiato ad una specifica classe di stabilità (vedi Tabella 1) consentendo di effettuare, così, la zonazione dell'ammasso calcareo in base alla diversa propensione a dare fenomeni di instabilità di versante tipo crollo *s.l.*

Laddove sono stati analizzati fronti di cava antichi, nel calcolo dell'SMR di Romana è stato adottato l'appropriato valore dell'indice fattoriale F4.

In Tabella 4 è riportato un esempio, riferito al sito 1 (località La Conca), delle schede riassuntive dei dati utilizzati per il calcolo dell'SMR di Romana.

Sito n. 1								
Gsi = 55		RMR = 60						
Dati strutturali								Dati versante
	S	K1	K2	K3	K4	K5	Fa1	(°)
Direzione	87	95	49	145	175	43		130
Inclinazione	5	85	84	66	79	55		89
Fattori F1, F2, F3 di Romana								
F1	0.15	0.15	0.15	0.55	0.15	0.15		
F2p	0.15	1	1	1	1	1		
F2r	1	1	1	1	1	1		
F3p	-60	-50	-50	-60	-50	-60		
F3r	0	-25	-25	-25	-25	-25		
SMR = 27								

Tabella n. 4: Scheda riassuntiva dei dati utilizzati per il calcolo dello Slope Mass Rating (SMR).
 Legenda: Gsi = *Geological strenght index*; RMR = *Rock Mass Rating*; S = stratificazione; K1-K5 = famiglie di giunti tettonici; F2p, F3p = valori dei fattori F2 ed F3 nell'ipotesi di scorrimento planare; F2r, F3r = valori dei fattori F2 ed F3 nell'ipotesi di ribaltamento

Tale sito è caratterizzato da una parete subverticale, orientata N130°, che insiste direttamente sulla strada. L'analisi morfostrutturale della parete ha evidenziato la presenza di 6 famiglie di discontinuità, di cui una appartenente alla stratificazione (S) e 5 a giunti tettonici (K1-K5) ed ha permesso di attribuire un valore di GSI pari a 55, con conseguente valore di RMR uguale a 60. Le discontinuità rilevate, sono state rappresentate sia sotto forma di ciclografiche che come poli medi delle diverse famiglie individuate, insieme con il piano medio rappresentativo del fronte indagato. Utilizzando l'analisi *cluster*, sono state individuate potenziali tipologie di frana che, rispetto all'orientazione del fronte, sono riconducibili a rotture a cuneo (lungo l'intersezione tra 4 famiglie) e scivolamenti planari lungo fratture appartenenti alla famiglia K3. Infine, la somma algebrica tra gli indici fattoriali F1, F2 ed F3 assegnati e l'indice RMR, ha permesso di calcolare i valori di SMR relativi a ciascuna delle famiglie individuate e di attribuire, in definitiva, all'intero fronte quello minimo trovato (relativo alla famiglia K3). Esso è risultato pari a 27 e pertanto l'intero fronte, in base a considerazioni di tipo prudenziale, viene a ricadere nella classe IV della classificazione di Romana ("ammassi instabili con rotture planari lungo molti giunti e/o grandi cunei").

Applicando tale metodologia ai vari siti esaminati nell'area di studio, si è potuto osservare una prevalenza di fronti ricadenti nella III e IV classe di Romana (SMR compreso tra 60 e 21), talora direttamente sovrincombenti la strada statale sorrentina e quella che dall'abitato di Meta conduce in località La Conca, in prossimità della spiaggia.

Un'altra zona, ove è stata rilevata un'ampia diffusione della III e IV classe, è quella coincidente con il tratto del versante sudoccidentale di M.Crocione che insiste sulle località Casa Lauro e Casa Starita.

5 SCHEMA DI CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

I Monti Lattari, all'interno dei quali ricade l'area in studio, costituiscono, un sistema orografico di natura carbonatica, morfologicamente ben delimitato: a nord di essi si estende infatti la piana del F. Sarno, ad est la valle dei torrenti Bonea e Cavaiola; altrove il limite è rappresentato dal mare (Fig. 3).

Figura 3

Una tettonica, a carattere compressivo (COTECCHIA & MELIDORO, 1966; CINQUE, 1980) e successivamente estensionale (esplicatasi in più fasi - MILIA & TORRENTE, 1997) ha originato, nelle rocce costituenti i rilievi, discontinuità di diversa importanza che, in uno con stratificazione, carsismo e litologia, condizionano la circolazione idrica sotterranea.

La permeabilità complessiva è significativa: i gradi più alti si registrano in corrispondenza dei termini calcarei e calcareo-dolomitici delle zone centrale e sud-occidentale; più ridotta è invece la portata specifica calcolata per le dolomie che occupano la fascia orientale dei Lattari.

Per queste caratteristiche globali l'*infiltrazione efficace* legata alle piogge è elevata e contribuisce, per la maggior parte, ad alimentare cospicue *falde di base* (CELICO & CORNIELLO, 1979). Per i M.ti Lattari ad oriente della piana di Sorrento, i recapiti delle falde di base sono in prevalenza verso nord-ovest e sud-est: ciò si deve all'effetto di uno spartiacque sotterraneo collegato a linee tettoniche orientate NE-SW che si sviluppano, grosso modo, lungo la congiungente Positano - Cava dei Tirreni. Queste faglie (attivate nel Pleistocene inf.-medio, MILIA & TORRENTE, 1997) giustappongono i termini calcarei a quelli meno permeabili calcareo-dolomitici e dolomitici s.s..

Verso nord-ovest i recapiti sono rappresentati:

- a) da travasi sotterranei verso la piana di Sarno (valutati intorno ai $31.5 \cdot 10^6$ mc/a al netto dei prelievi da pozzi - PISCOPO *et alii*, 1994): le quote di tali travasi variano da alcune decine di metri (s.l.m.), nelle zone più orientali, a pochi metri (s.l.m.) in prossimità della costa (CELICO & CORNIELLO, 1979; CELICO, 1983);
- b) da perdite in mare (per un totale di circa $20 \cdot 10^6$ mc/a) nelle zone di C.mare di Stabia, dello Scraio e tra Vico Equense e Meta;
- c) dalle sorgenti continentali di C.mare di S.: Fontana Grande (quota di efflusso: 3 m s.l.m.- portata med.: 340 l/s) e Terme (quota di efflusso: 2 m s.l.m.- portata med.: 85 l/s), queste ultime mineralizzate (CELICO *et alii*, 1986; CORNIELLO, 1994).

Verso sud-est le acque di falda trovano invece recapito in mare o negli alvei maggiori (Regina Maior, V.ne Grevone, V.ne Penise).

A luoghi sono presenti, a quote ben superiori rispetto alle falde di base, sorgenti e/o gruppi sorgivi con significativi valori di portata. La loro origine può essere ricondotta a fattori diversi e non sempre definibili nel dettaglio: i principali sono: a) presenza di *impermeabili intercalari*, b) presenza di circuiti carsici, c) limiti di permeabilità.

Oltre alle sorgenti fin qui richiamate, a diverse altezze sui versanti carbonatici dei Lattari si trovano piccole scaturigini (portata 2-3 l/s) dovute quasi sempre, ove non siano evidenziabili ben definiti elementi stratigrafici e/o strutturali, a *limiti di permeabilità indefiniti*.

5.1 Condizioni Idrogeologiche nella dorsale M.te Crocione – M.te S. Angelo

I litotipi carbonatici della dorsale M.te Crocione – M.te S. Angelo (a N di Meta – Fig. 1), stratificati ed estesamente fratturati presentano elevata permeabilità. L'*infiltrazione efficace*, legata alla ricarica pluviometrica, è egualmente assai significativa e contribuisce, quasi per intero, ad alimentare una falda di base (Fig. 1). Il recapito di questa è rappresentato dal mare che, verosimilmente, ne rappresenta anche il *substrato* in ragione delle maggiore densità delle acque marine.

L'elevata permeabilità dei litotipi comporta altresì, per la falda in questione, un basso tirante idrico: si può pertanto ragionevolmente supporre, anche se mancano misurazioni dirette, che la piezometrica della falda all'interno dei rilievi sia poco elevata sul livello marino e quindi assai profonda rispetto al piano topografico. Con questo assetto appare evidente che tale circolazione idrica sotterranea non ha alcuna influenza sulle condizioni di stabilità dei versanti.

Va comunque sottolineato che sul versante considerato sono presenti due piccole sorgenti, una a S dell'abitato di Alberi (a circa 235 m s.l.m.) e l'altra in località Trinità (a circa 220 m s.l.m. in sinistra del T. Lavinola).

Nel primo caso la sorgente è verosimilmente legata ad un *limite di permeabilità indefinito*; l'altra scaturigine, al contatto tra calcari e materiali tufacei, è una sorgente per *soglia*, anche se il corpo idrico che la alimenta (in ragione dell'esigua portata erogata e della quota di efflusso) deve ritenersi di modesta estensione e certamente sconnesso dalla falda di base.

La presenza di questa sorgente, che effluisce ormai al piede del rilievo in un'area di scarsa acclività e prossima al recapito delle acque sorgive (T. Lavinola), non esercita alcuna influenza nei riguardi delle condizioni di stabilità dei versanti. L'altra sorgente, invece, occupa una posizione dominante sul rilievo ed è testimonianza di una circolazione idrica subsuperficiale meritevole di riflessione in relazione al ruolo che essa può assumere

nell’innescare di fenomeni del tipo crollo. D’altra parte la sua presenza induce altresì a suggerire l’opportunità di approfondimenti su area vasta (censimento puntuale di “emergenze” – anche effimere – in aree di versante).

6 SCENARI DI SUSCETTIBILITÀ

Sulla base delle indagini effettuate, i cui risultati sono sintetizzati nelle carte tematiche già descritte (carta geolitologica, carta degli elementi geomorfologici significativi, carta inventario dei fenomeni franosi), sono state individuate le zone suscettibili di fenomeni franosi di diversa tipologia distinte nel seguente modo:

Aree suscettibili a fenomeni di distacco-trasferimento di blocchi calcarei

Sono quelle ove sono presenti pareti calcaree acclivi, all’interno dei settori di versante a morfologia articolata. Qui sono possibili fenomeni di distacco di blocchi calcarei, lungo superfici di discontinuità dell’ammasso e successivo trasferimento sotto l’azione della gravità.

Aree suscettibili a fenomeni di trasferimento-accumulo di blocchi calcarei

Coincidono con i settori di versante regolare a pendenza compresa tra 15° e 40° ubicate immediatamente al piede di pareti calcaree o ad esse frapposte. Esse corrispondono generalmente alle aree di affioramento dei detriti di versante con esigua copertura piroclastica. Le caratteristiche geomorfologiche dei terreni ivi affioranti, rendono possibili fenomeni di trasferimento-accumulo di massi staccatisi dalle pareti sovrastanti. Rientrano in tale classe di suscettibilità anche la stretta fascia detritica ad est di M. S. Angelo (ove lo spessore della copertura piroclastica risulta maggiore di 0.5 m), quella adiacente alla spiaggia in località la Conca e i piazzali delle ex-cave prospicienti la strada statale sorrentina. Nella prima delle aree appena citate, si è arrestato il cumulo della frana del settembre 1999.

Aree pedemontane potenzialmente suscettibili a fenomeni di accumulo di blocchi calcarei di cui non si hanno, tuttavia, evidenze certe in affioramento

Sono rappresentate dalle porzioni basali dei “settori di versante regolare con pendenza compresa tra 15 e 40°”, nelle quali il detrito di versante risulta coperto da depositi piroclastici di spessore fino a 2 m. Esse coincidono con le aree nelle quali non sono state riscontrate in

affioramento evidenze di accumulo di blocchi ma ove, tuttavia, tali fenomeni, assieme al trasferimento, sono possibili, tenuto conto delle pendenze, pur modeste, esistenti.

Aree suscettibili all'insacco di frane da scorrimento-crollo in materiali detritico-piroclastici

Sono zone situate in corrispondenza degli impluvi del Rio Lavinola e del suo maggiore tributario di destra idrografica. Qui il notevole approfondimento della rete idrografica, che incide profondamente i depositi detritico-alluvionali ed i tufi affioranti, rende possibili distacchi e scorrimenti rotazionali per scalzamento al piede.

Aree suscettibili all'insacco e all'invasione di frane da colata rapida di fango e/o scorrimento-crollo in materiali detritico-piroclastici

Coincidono con settori di versante con pendenze piuttosto elevate (fino a 40°), ove affiora detrito di versante da sciolto a cementato e coltri piroclastiche di esiguo spessore, come i versanti nord e sud di M. Crocione e lembi del crinale di M. S. Angelo. In queste aree sono segnalate alcune frane da scorrimento ed una per colata rapida verificatasi nel 1997 (versante N di M. Vico Alvano).

Aree suscettibili ad accumuli di materiale detritico-fangoso

Corrispondono alle conoidi recenti ove sono possibili, in occasione di precipitazioni intense, fenomeni di invasione di materiali detritico-fangoso di modesto spessore.

Sulla Carta della Suscettibilità sono state anche rappresentate *le aree ove non sono rilevabili indicatori geologico-geomorfologici predisponenti* i fenomeni di dissesto idrogeologico. Esse corrispondono morfologicamente alle aree sommitali subpianeggianti e alle aree pedemontane a debole pendenza, nelle quali, non è stato riconosciuto alcun fenomeno di instabilità pregresso, ma dove non si esclude che attività antropiche (sbancamenti) o perdite di sottoservizi (rete fognaria o acquedottistica) possano innescare locali dissesti.

7 SCENARI DI RISCHIO

Il confronto della carta della suscettibilità con la distribuzione dell'edificato e delle infrastrutture (per la quale si è tenuto conto della base topografica più aggiornata disponibile, fornita dall'Autorità di Bacino del Sarno), ha permesso di redigere la *Carta preliminare degli scenari di rischio su base geomorfologica* (propedeutica a valutazioni di dettaglio da affidare a indagini geognostiche, controlli puntuali degli interventi già eseguiti e verifica della reale situazione dell'antropizzato).

7.1 I diversi scenari di rischio

I quattro tipi di “aree di alta attenzione” classificati riflettono le caratteristiche di instabilità e la distribuzione spaziale delle aree caratterizzate da diversa suscettibilità al dissesto. All'interno di esse le zone urbanizzate e/o con presenza di infrastrutture presentano un'esposizione al rischio in relazione alle tipologie di dissesto possibili nell'area in cui ricadono.

Le aree di alta attenzione per fenomeni di distacco, trasferimento e accumulo di blocchi calcarei sono quelle ove sono presenti pareti calcaree acclivi, all'interno dei settori di versante a morfologia articolata. In esse sono possibili fenomeni di distacco di blocchi calcarei, lungo giunti di discontinuità dell'ammasso e successivo trasferimento sotto l'azione della gravità e, localmente, (versante SO di M. S Angelo) di accumulo sulle superfici a più modesta pendenza.

Le aree di alta attenzione per fenomeni di trasferimento-accumulo di blocchi calcarei corrispondono alle aree suscettibili a fenomeni di trasferimento-accumulo e pertanto coincidono con i settori di versante regolare a pendenza compresa tra 15° e 40° ubicate immediatamente al piede di pareti calcaree o ad esse frapposte. Esse corrispondono generalmente alle aree di affioramento dei detriti di versante con esigua copertura piroclastica. In tale classe di suscettibilità rientrano anche la stretta fascia detritica ad est di M. S. Angelo, quella adiacente alla spiaggia in località la Conca e i piazzali delle ex-cave prospicienti la strada statale sorrentina.

Aree di alta attenzione per fenomeni di scorrimento-colata rapida e scorrimento-crollo in materiali detritico-piroclastici

In tale classe sono state raggruppate le aree che nella carta degli scenari di suscettibilità vengono definite rispettivamente *aree suscettibili all'insacco di frane da scorrimento-crollo in materiali detritico-piroclastici* e *le aree suscettibili all'insacco e all'invasione di frane da colata rapida di fango e/o scorrimento-crollo in materiali detritico-piroclastici*. Pertanto esse corrispondono, nel primo caso, alle zone di impluvio del Rio Lavinola e del suo maggiore tributario di destra idrografica e, nel secondo caso, coincidono con settori di versante con pendenze piuttosto elevate (fino a 40°), ove affiorano detriti di versante da sciolto a cementato e coltri piroclastiche di esiguo spessore (versante N di M. Crocione e lembi del crinale di M. S. Angelo)

Aree di alta attenzione per fenomeni di accumulo di materiale detritico-fangoso

Corrispondono alle conoidi recenti ove sono possibili, in occasione di precipitazioni intense, fenomeni di invasione di materiali detritico-fangosi, per lo più di modesto spessore.

Aree a rischio per fenomeni di distacco, trasferimento e accumulo di blocchi calcarei e per fenomeni di scorrimento-colata rapida e per accumuli detritico-fangosi, in funzione delle tipologie di dissesto previste per l'area in cui ricadono

Sono tutte le aree suscettibili a fenomeni di instabilità, nelle quali sono presenti edifici pubblici e privati o infrastrutture.

Tra le zone urbanizzate si segnala parte della frazione Alberi, soggetta a rischio di invasione di frane da colata rapida. Parte della Marina di Meta, assieme ad alcune abitazioni isolate lungo le pendici occidentali di M. Crocione, M. S. Angelo e i piazzali di cava ivi presenti, sono invece soggette a rischio di invasione (trasferimento e accumulo) di blocchi calcarei. Infine la zona in cui ricade la chiesa di S. Maria del Lauro, assieme ad altre aree di conoide, meno estese, per lo più situate lungo le pendici di M. Crocione, sono soggette a rischio di fenomeni di accumulo di materiali detritico-fangosi.

Le infrastrutture a rischio sono rappresentate principalmente da strade, in primo luogo la Statale n. 145 della penisola sorrentina lungo il versante SO del M. S. Angelo, e dalle strade che collegano Meta alla frazione Alberi. In entrambi i casi il rischio è rappresentato essenzialmente dal trasferimento e accumulo di blocchi calcarei. Anche la S.S. n 163 risulta

localmente a rischio di invasione, da parte di materiali detritico fangosi, in corrispondenza delle conoidi recenti in località Casa Lauro. Sono stati inoltre individuati, tra le infrastrutture a rischio, alcuni piloni di elettrodotti lungo i versanti di M. S. Angelo e M. Crocione. Per effetto di .

8 AZIONI DA INTRAPRENDERE NELL'AREA

8.1 Generalità

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 della Relazione Generale. D'altro canto, come già chiarito nel paragrafo 2.3 R.G., si ritiene che la mitigazione del rischio debba essere parte di un processo dinamico e di continuo approfondimento, che si basa sulla progressiva conoscenza del territorio e dei suoi problemi, e si sviluppa attraverso la messa in opera di azioni mirate, calibrate sulle conoscenze via via acquisite.

Coerentemente con questa filosofia, è opportuno che in tutte le aree ritenute a rischio vengano innanzitutto eseguiti sopralluoghi finalizzati alla verifica puntuale delle condizioni di rischio, tramite il controllo dei dati, fin qui acquisiti, mediante rilievi più dettagliati ed approfonditi di quanto non sia stato possibile eseguire nei tempi limitati consentiti dalla presente convenzione. In particolare, i rilievi già indicati nel paragrafo 3.2 R.G. consentiranno di precisare meglio le informazioni già disponibili.

In questa fase, tali verifiche potranno eventualmente consentire una declassificazione dei livelli di rischio individuati in precedenza, ovvero limitare le aree giudicate suscettibili a franare. Inoltre, come già precisato nel paragrafo 3.2 R.G., potranno essere stabilite delle scale di priorità tra le varie zone.

Laddove si evidenzino o si confermi l'esistenza di condizioni di rischio incombente, verranno messe in opera le azioni immediate per la mitigazione del rischio già indicate nel paragrafo 3.3 R.G. e, se necessario (quando cioè, anche dopo tali azioni, risulti la permanenza di un rischio residuo), saranno istituiti i presidi territoriali (paragrafo 3.4 della R.G.).

Manutenzione (paragrafo 3.5 R.G.), indagini (paragrafo 3.6 R.G.), monitoraggio strumentale (paragrafo 3.7 R.G.) ed interventi (paragrafo 3.8 R.G.), saranno tutte le ulteriori

attività, elencate in ordine di impegno crescente, che, sulla base degli ulteriori dati via via raccolti, consentiranno all’Autorità di Bacino di raggiungere l’obiettivo di un reale controllo del territorio. Come si è già avuto modo di precisare, anche tenuto conto della considerevole estensione delle zone classificate a rischio, si ritiene che la manutenzione continua del territorio e delle opere sia l’azione necessaria e fondamentale per la mitigazione del rischio, tramite la quale ridurre gli oneri e, a volte, le incertezze, che comunque permangono anche a seguito di interventi di consolidamento.

Nel seguito si forniscono alcune indicazioni di massima sulle possibili azioni da intraprendere nell’area di approfondimento descritta nella presente relazione. Come precisato, tali indicazioni sono naturalmente suscettibili di modifiche in base a tutti i citati approfondimenti che l’Autorità di Bacino dovrà effettuare al termine della presente fase di studio

L’analisi della cartografia di base e tematica suggerisce alcune considerazioni circa la necessità di dar seguito ad un programma di indagini di approfondimento in ambiti rappresentativi individuati nella “*Carta dei settori da sottoporre a indagini geognostiche e geotecniche*” (allegati **2a**, **2b** e **2c**). In tale Carta sono state individuate alcune subzone dell’area campione di Meta (Versanti di M. S. Angelo e M. Crocione), omogenee al loro interno (settori **1-4**) per le caratteristiche di suscettibilità, secondo quanto segue.

Il settore **1** è caratterizzato dalla presenza di una serie di balze sul versante, al di sotto delle quali si snoda la S. S. 145. Alla base del versante si trova l’abitato di Meta, che in parte rientra nelle *aree potenzialmente interessate da fenomeni di trasferimento e accumulo di blocchi calcarei*. In quest’ultima fascia si ritiene debbano eseguirsi indagini volte alla determinazione delle caratteristiche litologiche dei terreni onde verificare la eventuale presenza di blocchi lapidei, che ove riscontrata indicherebbe fenomeni pregressi di accumulo, e fornire ulteriori elementi di giudizio sui limiti effettivi dell’area di propagazione dei massi. In tale settore sono, inoltre, presenti alcune opere (reti) in parete a protezione della sottostante S.S n. 145. Per tali opere si ritiene opportuno procedere a verifiche periodiche dell’efficienza ed in primo luogo del corretto dimensionamento.

Il settore **2** comprende l’area della sella di Alberi, ove sono possibili frane da colata rapida, ed è inoltre caratterizzato dalla presenza di un impluvio alla base del quale è stata riconosciuta una conoide da accumulo di materiali detritico-fangosi. In tale settore, attraversato dalla S.S. 145 e nel quale sono presenti vari edifici, particolarmente a valle della

conoide recente, sono necessarie indagini nel sottosuolo volte al riconoscimento di depositi di tipo detritico-alluvionale, ascrivibili a passati episodi di esondazione, al fine di definire con maggior precisione il limite massimo di invasione da parte dei depositi da flusso.

Il settore **3** è caratterizzata dalla presenza di una elevata parete rocciosa lungo la fascia sommitale del M. Crocione, cui fa seguito, verso il basso, un tratto di versante regolare con pendenza più modesta, una fascia pedemontana a bassa pendenza indicata come *aree potenzialmente interessate da fenomeni di trasferimento e accumulo di blocchi calcarei*. Nel tratto di versante regolare, ove sono presenti le strade di collegamento tra Meta e la frazione Alberi, andranno effettuate indagini finalizzate alla definizione delle proprietà elastiche dei terreni per successive verifiche della propagazione di massi distaccatisi dalle pareti sovrastanti. Nella fascia pedemontana, su cui si estende parte dell'abitato di Meta, sono necessarie indagini per la determinazione delle caratteristiche litologiche dei terreni onde definire la eventuale presenza di blocchi lapidei che indicherebbe la possibilità di invasione da parte di massi derivanti da crolli. Inoltre nella porzione sudoccidentale del settore, si ritiene opportuno eseguire indagini, per la verifica della possibilità di invasione da parte di depositi da flusso, a valle della piccola conoide che lambisce la SS 163 Meta-Positano e sulla quale sono presenti alcune abitazioni.

Il settore **4** si estende anch'esso sul versante del M. Crocione e presenta al suo interno due contrafforti che si protendono verso ovest e, conseguentemente, verso l'area abitata. Anche in questo caso l'area, come si è detto sopra, risulta suscettibile di fenomeni di crollo. Pertanto anche in tale situazione morfologica, saranno necessarie indagini per la verifica della possibilità che massi, distaccatisi dalle pareti sovrastanti, raggiungano la fascia pedemontana abitata. Inoltre si ritiene opportuno effettuare indagini nell'area circostante la piccola conoide recente, in località Casa Lauro, per una verifica più precisa del limite massimo di invasione dei depositi da flusso.

E' opportuno osservare che gli elaborati prodotti hanno solo un carattere indicativo e pertanto l'effettiva estensione e quantificazione delle indagini non può che scaturire da un progetto esecutivo che dovrà essere redatto tenendo conto della disponibilità economica e delle finalità che con queste indagini si vuole perseguire.

8.2 Programmi di interventi (strutturali e non strutturali) per la mitigazione del rischio

Nell'area di studio, i versanti calcarei presentano pareti subverticali o pendici molto acclivi (pendenze medie di 40-50°).

L'ammasso roccioso è intensamente fratturato ed è attraversato da sistemi discontinuità frequentemente subverticali (vedi Cap. 4); in tale contesto sono frequenti fenomeni di crollo che possono coinvolgere anche volumi rilevanti di roccia.

Per le difficoltà di accesso in tale area, i primi sopralluoghi, da svolgersi anche in elicottero, consentiranno di precisare e definire meglio le eventuali situazioni di pericolo incombente.

Da alcune analisi preliminari¹, svolte utilizzando sezioni semplificate del pendio ricavate dalla cartografia disponibile (allegati 3a e 3b), si è evidenziato che la strada SS n° 145 della Penisola Sorrentina può essere interessata dalla caduta di massi così come alcune abitazioni. È evidente che tali analisi consentono di dare un giudizio sulla possibilità che un masso interessi o meno un'area ma non sono utilizzabili con sufficiente affidabilità nella fase di progettazione degli interventi.

Nel caso in questione è necessario verificare le condizioni di conservazione ed efficienza delle opere di protezione già realizzate e quindi procedere ad una loro eventuale riqualificazione.

¹ Lo studio delle traiettorie dei massi richiede una dettagliata conoscenza della geometria del costone oltre che dei coefficienti di restituzione della energia di impatto; la conoscenza della geometria del costone richiede l'esecuzione di fotogrammetrie terrestri appoggiate ad accurati rilievi topografici così come la determinazione dei coefficienti di restituzione richiedono appropriate sperimentazioni in vera grandezza; di conseguenza con le informazioni ricavabili da un rilievo aerofotogrammetrico in scala 1:5.000 non è possibile sviluppare alcuna analisi, tuttavia volendo avere una prima indicazione sulle aree di possibile invasione dei massi è possibile sviluppare analisi su geometrie semplificate, utilizzando coefficienti di restituzione dedotti dalla letteratura. (Piteau & Clayton, 1977; Hoek, 1987; Bozzolo & Pamini, 1986; Bozzolo Pamini e Hutter 1988; Richards, 1988)

Nell'ipotesi che effettivamente sussistessero tali situazioni di pericolo, le attività immediatamente eseguibili per la mitigazione del rischio dovranno comprendere la pulizia dei costoni con il disgiungimento di massi pericolanti qualora sia possibile.

Il disgiungimento delle porzioni instabili, risolve parzialmente il problema, nel senso che esso serve solo ad eliminare situazioni di pericolo imminente (l'eliminazione delle masse instabili fa sì che ne vengano esposte di nuove che, nel tempo, diverranno a loro volta instabili).

Successivamente a questa fase, dovrà essere istituito un presidio territoriale che, nei modi resi possibili dalle difficoltà di accesso ai luoghi, svolga alcune delle azioni indicate nel paragrafo 3.4, con particolare riferimento:

- a) ai rilievi geomorfologici e strutturali;
- b) alle schede sulle preesistenze strutturali ed infrastrutturali;
- c) agli elementi rivelatori di fenomeni franosi in preparazione.

Anche per lo scenario di rischio che caratterizza tali aree, l'attività di presidio territoriale potrà consentire la programmazione e l'avvio di una attività di manutenzione territoriale e delle strutture, per l'eliminazione di situazioni di rischio che via via dovessero palesarsi ed il controllo (o il monitoraggio) di situazioni critiche quali quelle di "torrioni" per le quali potrebbe risultare improponibile la realizzazione di interventi di consolidamento. In ogni caso, laddove si riconosca la necessità di azioni più radicali, tese essenzialmente alla stabilizzazione di blocchi suscettibili di crollo ed al consolidamento delle pareti rocciose, potranno essere avviate specifiche e localizzate indagini, tra cui:

- rilievi della geometria delle aree (costoni e fasce pedemontane) attraverso l'uso della topografia e della fotogrammetria terrestre ed aerea con conseguente restituzione di una adeguata cartografia a curve di livello;
- rilievi della dimensione dei blocchi isolati, attraverso rilievi delle strutture della formazione lapidea;
- rilievi sistematici per la individuazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso (tipologia, spaziatura, orientazione) per definire la dimensione dei blocchi e la loro possibilità di distacco;
- definizione dei coefficienti di restituzione dell'energia di impatto attraverso analisi di traiettorie o rimbalzo di blocchi.

- installazione di fessurimetri ed estensimetri per il rilievo in continuo di movimenti lungo le discontinuità;
- messa a punto di sistemi di allerta o di allarme connessi alle precedenti misure di spostamenti.

In base ai risultati delle indagini saranno possibili gli ulteriori approfondimenti necessari per la realizzazione di eventuali interventi di stabilizzazione.

In linea di principio, per le specifiche caratteristiche dei siti in esame, gli interventi da realizzare dovranno essere scelti fra i seguenti:

- disgaggio degli elementi instabili;
- bloccaggio in parete dei massi instabili attraverso tecniche diverse a seconda delle dimensioni degli elementi;
- costruzione di protezioni passive delle opere.

Gli interventi di tipo passivo necessitano, per il loro dimensionamento, di accurati studi che consentano la definizione delle traiettorie e, sulla base delle dimensioni degli elementi instabili, delle energie cinetiche di impatto. Sulla base di tali informazioni è possibile quindi procedere al dimensionamento delle opere.

Le opere di protezione passiva sono rappresentate da:

- gallerie paramassi;
- barriere costituite da reti;
- barriere costituite da rilevati e valli.

Gli interventi in parete sono costituiti da:

- reti metalliche fissate con chiodi ed eventualmente funi di acciaio;
- chiodi, micropali, tiranti ecc.
- muri di sostegno, fondazioni, speroni ecc.

Tenuto conto della morfologia dei luoghi sembra possibile operare in due distinte direzioni:

1. interventi di tipo attivo costituiti da rete metalliche eventualmente rinforzate da funi di acciaio sulle scarpate delle strade; infatti a causa della ridotta distanza tra luogo di

distacco degli elementi lapidei ed i beni da proteggere non appare possibile operare con reti paramassi.

2. interventi di tipo passivo potrebbero essere posti in fregio alle scarpate dei tagli stradali; l'analisi di dettaglio potrebbe mettere in evidenza la necessità di operare in parete al fine di limitare le prestazioni richieste alla reti paramassi, cioè potrebbe essere evidenziata la presenza di elementi instabili di grandi dimensioni o aree da cui si distaccano elementi che raggiungono le barriere con velocità tali da conferire al masso energie cinetiche eccessivamente elevate o avere traiettorie con altezze di transito, in corrispondenza delle reti, troppo elevate.

I RESPONSABILI SCIENTIFICI

Prof. Geol. Roberto de Riso

Prof. Ing. Giovanni Fenelli

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Aucelli P., Cinque A. & Merola D. (1996) - *Discriminazione cronologica di eventi deformativi fragili lungo il margine settentrionale dei Monti Lattari sulla base di dati geologici e geomorfologici*. Il Quaternario, 9 (1), 319-324.
- Barberi, F., Innocenti, F., Lirer, L., Munno, R., Pescatore, T., Santacroce, R. (1978) - *The Campanian Ignimbrite: a major prehistoric eruption in the Neapolitan area (Italy)*. Bull. Volcanol., 41 (1): 1-22.
- Bieniawski, Z.T.(1976) - *Rock mass classification in rock engineering*. Exploration for rock engineering, Balkema. 1: 97 - 106.
- Bieniawski, Z.T. (1989) - *Engineering rock mass classification*. Wiley & son
- Bonardi G., D'Argenio B., Perrone V. (1988) -*Carta geologica dell'Appennino Meridionale in scala 1: 250.000*. Mem. Soc. Geol. It., **41**.
- Bozzolo D. & Pamini R. (1986) – *Simulation of rockfalls down a valley side*. Acta Mechanica 63, 113-130
- Bozzolo D., Pamini R. & Hutter K. (1988) – *Rockfall analysis – a mathematical model and its test with field data*. Proc. 5th International Symposium on landslides, Lusanne, July 1988, Vol. 1, 555-560
- Brancaccio L., Cinque A., Scarpa R. & Sgrosso I. (1981) – *Evoluzione neotettonica e sismicità in penisola sorrentina e in Baronìa(Campania)* Rend. Soc. Geol. It., 4, 145-149.
- Budetta P., Calcaterra D. & Santo A. (1994) - *Engineering-geological zoning of potentially unstable rock slopes in Sorrentine Peninsula (Southern Italy)*. Proc. 7th Int. Congr. I.A.E.G., Lisbona, 2119-2126, Balkema, Rotterdam.
- Budetta P. & Santo A. (1994) - *Morphostructural evolution and related kinematics of rockfalls in Campania (Southern Italy): a case study*. Engineering Geology, **36** (3/4),197-210 Elsevier, Amsterdam.
- Budetta P.& De Riso R (1988) - *Studio delle condizioni di stabilità di alcuni versanti in roccia nell'Appennino campano*. Mem. Soc. Geol. It., **41**, 917-927 Roma.
- Budetta P., Calcaterra D. & Ducci D. (1991) - *Caratterizzazione geomeccanica di ammassi rocciosi carbonatici tra Castellammare di Stabia e Vico Equense (Penisola sorrentina - Campania)*. Geologia Tecnica **3/91**, 13-22 Roma.

- Budetta P., Celico P., Corniello A., de Riso R., Ducci D., Nicotera P. (1994) – *Carta idrogeologica della Campania 1/200.000 e Mem. Illustrativa*. Atti IV Conv. Int. Di Geoingegneria., Torino.
- Budetta P., Nicotera P. & Santo A. (1996) - *Controlli e monitoraggio di fenomeni deformativi indotti da carsismo in versanti carbonatici dell'Appennino campano*. Atti Conv. Int. "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della Ricerca scientifica". Alba (CN), Volume I C.N.R., 383-395.
- Budetta P. & Calcaterra D.(1991) - *Caratteristiche di resistenza al taglio di discontinuità in ammassi carbonatici della Penisola sorrentina (Campania)*. Atti I° Conv. Naz. Giovani Ricercatori in Geol. Appl.. Gargnano (Bs) 22 – 23 ottobre 1991. In "Ricerca scientifica ed educazione permanente", suppl. **93**,167-176, Milano.
- Calcaterra D., Santo A., De Riso R., Budetta P., Di Crescenzo G., Franco I., Galiotta G., Iovinelli R., Napolitano P. & Palma B. (1997) - *Fenomeni franosi connessi all'evento pluviometrico del Gennaio 1997 in Penisola Sorrentina - Monti Lattari: primo contributo*. Atti IX Congr. Ordine Naz. Geologi, Roma 17-20 Aprile 1997.
- Capotorti F. & Tozzi M. (1991) – *Tettonica trascorrente nella Penisola Sorrentina*, Mem. Soc. Geol. It., 45, 35-57.
- Celico P., de Riso R. (1978) - *Il ruolo della Valle Caudina nella idrogeologia del Casertano e del Sarnese (Campania)*. Memorie e Note Istituto Geologia Applicata, Facoltà di Ingegneria, Università di Napoli, 14.
- Celico P. (1983): *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale (Marche e Lazio meridionali, Abruzzo, Molise e Campania)* – Quaderni CASMEZ n. 4/2, Napoli.
- Celico P., Alberti F., Biscardi D., De Fusco (1986) – *Le acque minerali di Castellammare di Stabia*. Atti Conv. Int. "Igiene e medicina termale e ambientale" 24-26/10 C.mare di Stabia, Napoli.
- Celico P., Corniello A. (1979) – *Idrodinamica, potenzialità e possibilità di sfruttamento delle risorse idriche sotterranee dei M.ti Lattari (Campania)* – Mem. e Note Ist. Geol. Appl. Univ. Napoli, 5.
- Cinque A. (1986) - *Guida alle escursioni geomorfologiche. Penisola Sorrentina, Capri, Piana del Sele e Monti Picentini*. Pubbl. n° 33, Dip. Scienze della Terra, Univ. Napoli.

- Cinque A. (1986) - *Il sovrascorrimento di M.te Faito-Agerola (Penisola Sorrentina)*. Rend. Acc. Sc. Fis. e Mat., 47.
- Civita M., De Riso R., Lucini M. & Nota D'Elogio E. (1975) - *Studio delle condizioni di stabilità dei terreni della penisola sorrentina*. Geologia applicata e idrogeologia 10 : 129-188.
- Cocco E. & Pescatore T. (1967) – *L'evoluzione della sedimentazione miocenica nella penisola sorrentina*. Boll. Soc. Natur. in Napoli, 76, 597-638.
- Corniello A. (1994) – *Lineamenti idrogeochimici dei principali massicci carbonatici della Campania*. Mem. Soc. Geol. It., 51, Roma.
- Cotecchia V., Melidoro G. (1966) - *Geologia e frana di Termini - Nerano (Penisola Sorrentina)*. Geol. Applicata ed Idrogeologia, Bari.
- De Blasio I., Lima A., Perrone V. & Russo M. (1981) - *Nuove vedute sui depositi miocenici della penisola sorrentina*. Boll Soc. Geol. It., 100, 57-70.
- de Riso R & Nota d'Elogio E. (1973) - *Sulla franosità della zona sud-occidentale della Penisola Sorrentina (Campania)*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl., 12, 46 pp., Napoli.
- de Riso R., Budetta P., Calcaterra D. & Santo A. (1999) - *Le colate rapide in terreni piroclastici del territorio campano*. Atti conv. “ Previsione e prevenzione di movimenti franosi rapidi” Trento 17-19/6/99. GEAM, Torino, 133- 150.
- Deino, A., Curtis, G., Rosi, M. (1992) - *$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Campanian Ignimbrite, Campanian Region, Italy*. Int. Geol. Congress, Kyoto, Japan, 24 Aug.-3 Sept., Abstr. Vol., 3: 633.
- Deino, A., Southon, J., Terrasi, F., Campajola, L., Orsi, G. (1994) - *^{14}C e $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Campanian Ignimbrite, Phlegrean Fields, Italy*. ICOG, Berkeley, CA (abstract).
- Del Prete M., Guadagno F.M., Hawkins A.B. (1998)- *Preliminary report on the landslides of 5 may 1998, Campania, southern Italy*. Bull. Eng. Geol. Env. 57: 113-129.
- Mele R. & Del Prete S. (1999) - *Lo studio della franosità storica come utile strumento per la valutazione della pericolosità da frane. Un esempio nell'area di Gragnano*. Boll. Soc. Geol. It., 118 (I), 91-111.
- Di Crescenzo G., Santo A. (1999) - *Analisi geomorfologica delle frane da scorrimento-colata rapida in depositi piroclastici della Penisola Sorrentina*. Geograf. Fisica e Dinam. Quatern. 22.
- Goodman, R.E., 1980 *Introduction to rock mechanics*. Wiley, New York: pp. 562.
- Guadagno f. M., Palmieri M., Siviero V. & Vallario A. (1988). - *Alcuni aspetti degli eventi*

- franosì di tipo colata in vulcanoclastiti incoerenti nell'area campana*. 74° Cong. Soc. Geol. It., B.
- Guadagno F.M. (1991) - *Debris flows in the Campanian volcanoclastic soils (Southern Italy)*. Proc. Int. Conf. on "Slope stability engineering developments and applications", Isle of Wight, 109-114.
- Guida M., Iaccarino G. & Vallario A. (1974) – *Alcune considerazioni sui fenomeni di dissesto e sulla difesa del suolo nella Penisola Sorrentina*. Geologia tecnica 2.
- Guida M., Pagano D. & Vallario A. (1986) - *I fenomeni franosi della Penisola Sorrentina*. In CINQUE A. (ed.) - *Guida alle escursioni geomorfologiche (Penisola Sorrentina, Capri, Piana del Sele e Monti Picentini)*, 69-90, pubbl. n° 33, Dip. Scienze della Terra, Univ. Napoli.
- Hoek, E. (1995) - *Strength of rock and rock masses*. Int. Soc. for Rock Mech. News Journal, 2 (2): 4 - 16
- Hoek, E., Bray J.W. (1981) *Rock slope engineering*. Ed. Inst. of Mining and Metallurgy. 3rd Edition. pp. 358
- Hoek, E., Brown E.T. (1980) - *Empirical strength criterion for rock masses*. J. Geotech. Eng. Div., ASCE 106: 1013 - 1035
- Hoek, E., Brown, E.T.(1997) - *Practical estimates of rock mass*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 34: 1165 - 1186
- Hoek, E., Wood D., Shah S. (1992) - *A modified Hoek - Brown criterion for jointed rock masses*. Proc. Int. Symp. Rock Mech. "Eurock '92". Brit. Geol. Soc.: 209 - 214
- I.S.R.M., Commission on standardization of laboratory and field tests, 1978 *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abs., 15: 319 - 368
- Markland, J.T. (1972) - *A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected*. Imperial College Rock Mechanics Res. Report, 19: 1 – 10.
- Milia A., Torrente M.M. (1997) - *Evoluzione tettonica della Penisola Sorrentina (margine peritirrenico campano)*. Boll. Soc. Geol. It., 116.
- Piscopo V., Fusco C., Lamberti A. (1995) - *Idrogeologia dei M.ti Lattari (Campania)*. Quaderni di Geologia Applicata, 2/95, Piagora Ed., Bologna.

- Piteau D.R. & Clayton R. (1977) –*Discussion of paper “Computerized design of rock slopes using interactive graphics for the input and output of geometrical data”*, by Cundall, Voegle and Fairhurst. In “Design Methods in Rock Mechanics”. Proc. 16th Symposium on Rock mechanics, Univ. Minnesota, Minneapolis, Am. Soc. of Civil Engineers, 62-63, New York
- Richards L.S. (1988): *Rockfall protectio*. Review of current analytical and design methods. Atti COREP – Politecnico di Torino: n 11, 1-13.
- Romana, M., 1985 *New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes*. Proc. Int. Symp. on “The role of rock mechanics”, Zacatecas: 49 – 53.
- Romana, M., 1991 *SMR classification*. Proc. 7th Int. Cong. on Rock Mechanics: 955 - 960.
- Santo A. & Tuccimei P. (1997) - *Ricostruzione di eventi deformativi di versante tardo-quaternari ed olocenici attraverso studi geomorfologici e datazioni radiometriche Th/U: l'esempio dell'area di Vico Equense (Campania)*. “Il Quaternario”, **10**(2), 1997, 447-484.
- Scandone P. & Sgrosso I. (1967) – *Sulla paleogeografia della penisola sorrentina dal Cretacico superiore al Micene*. Boll. Soc. Natur. in Napoli, **74**, 158-177.