

della stessa collana

l'autore

LUIGI COPPOLA

IL DISSESTO IDROGEOLOGICO IN TERRENI COESIVI

Tecniche per la previsione, prevenzione e controllo



*vai alla
scheda del
libro*

 **EPC**
EDITORE

QUADERNI PER LA PROGETTAZIONE

IL DISSESTO IDROGEOLOGICO IN TERRENI COESIVI

**Tecniche per la previsione,
prevenzione e controllo**

*Una metodologia pratica ed innovativa
che si basa prevalentemente sugli aspetti geologici
dei versanti in terreni coesivi al fine di prevedere
il dissesto idrogeologico in tempi utili per il controllo*

di
LUIGI COPPOLA



IL DISSESTO IDROGEOLOGICO IN TERRENI COESIVI

ISBN 978-88-6310-907-8

Copyright © 2019 EPC S.r.l. Socio Unico

Via Clauzetto, 12 - 00188 Roma

Servizio clienti: Tel. 06 33245277 - Fax: 06 33245248

Redazione: Tel. 06 33245264/205 - www.epc.it

Proprietà letteraria e tutti i diritti riservati alla EPC Srl Socio Unico. La struttura e il contenuto del presente volume non possono essere riprodotti, neppure parzialmente, salvo espressa autorizzazione della Casa Editrice. Non ne è altresì consentita la memorizzazione su qualsiasi supporto (magnetico, magneto-ottico, ottico, fotocopie ecc.).

La Casa Editrice pur garantendo la massima cura nella preparazione del volume, declina ogni responsabilità per possibili errori od omissioni, nonché per eventuali danni risultanti dall'uso dell'informazione ivi contenuta.



Il codice QR che si trova sul retro della copertina, consente attraverso uno smartphone di accedere direttamente alle informazioni e agli eventuali aggiornamenti di questo volume.

Le stesse informazioni sono disponibili alla pagina:

<https://www.epc.it/Prodotto/Editoria/Libri/Il-dissesto-idrogeologico-in-terreni-coesivi/4664>

*Ai miei studenti
ed a tutti quelli che vogliono proseguire
questo cammino*

INDICE GENERALE

PREFAZIONE	9
CURRICULUM VITAE	13

PARTE I

ASPETTI PREPARATORI ALLA METODOLOGIA DI ANALISI

CAPITOLO 1

GENESI E STRUTTURE DEI TERRENI COESIVI	19
1.1 Introduzione	19
1.2 Composizione mineralogica delle argille	19
1.3 Caratteristiche elettrostatiche delle argille	32
1.4 Genesi dei terreni argillosi	37
Bibliografia	40

CAPITOLO 2

CAUSE DEI MOVIMENTI FRANOSI IN TERRENI COESIVI	43
2.1 Introduzione	43
2.2 Il principio degli sforzi efficaci	43
2.3 Condizioni di equilibrio	49
2.3.1 Spinta passiva.....	54
2.3.2 Spinta attiva.....	56
2.4 Processo di rottura (da Bles J.L. & Feuga B. – 1981)	59
2.4.1 Rottura della roccia in trazione.....	61
2.4.2 Rottura della roccia in compressione.....	62

2.5	Influenza della pressione idrica interstiziale	72
	Bibliografia	74

CAPITOLO 3

	LA DATAZIONE DEI MOVIMENTI FRANOSI	77
3.1	Introduzione.....	77
3.2	Quadro generale delle suddivisioni quaternarie di ambiente marino	77
3.3	Valutazioni cronostratigrafiche delle unità di frana	81
3.4	Procedimento analitico per la valutazione cronologica di frane preesistenti attraverso le tabb. 3.1 e 3.2 – Esempio riferito al Würm.....	85
3.5	L'importanza di una corretta analisi di campagna.....	90
	Bibliografia	109

CAPITOLO 4

	LA DEFORMAZIONE DI PREROTTURA	111
4.1	Introduzione.....	111
4.2	Sviluppo delle fratture in compressione	115
4.3	Analisi della deformazione fragile.....	118
4.4	Definizione e descrizione dei diversi tipi di fratture.....	121
	4.4.1 Le diaclasi e i joints.....	121
	4.4.2 Le fratture di estensione (le fentes).....	122
	4.4.3 Le faglie.....	123
4.5	Interpretazione dei meccanismi di formazione delle fratture	126
	4.5.1 Introduzione	126
	4.5.2 Formazione delle diaclasi e dei joints	127
	4.5.3 Formazione delle fratture d'estensione e fentes	128
	4.5.4 Formazione delle faglie	133
4.6	Il campo tensionale	140
	4.6.1 Individuazione del campo tensionale	140
	4.6.2 Campo tensionale in un mezzo continuo	142
	4.6.3 Campo tensionale in un mezzo discontinuo.....	144

4.6.4 Metodo del diedro minimo (o Metodo rapido).....	157
4.7 Il processo di analisi.....	158
Bibliografia	161

PARTE II

ASPETTI METODOLOGICI ED ANALITICI

Bibliografia	164
---------------------------	------------

CAPITOLO 5

LA DINAMICA DEI DISSESTI.....	167
--------------------------------------	------------

5.1 Introduzione.....	167
------------------------------	------------

5.2 Dinamica delle frane attuali	167
---	------------

5.2.1 Primo Ambiente	168
----------------------------	-----

5.2.2 Secondo Ambiente.....	177
-----------------------------	-----

5.2.3 Terzo Ambiente	192
----------------------------	-----

5.3 Frane preesistenti.....	202
------------------------------------	------------

5.3.1 Relazione tra tensione e deformazione.....	203
--	-----

5.3.2 Cause di deformazione a rottura.....	211
--	-----

5.3.3 Riattivazione delle frane preesistenti.....	212
---	-----

Bibliografia	221
---------------------------	------------

CAPITOLO 6

IL RUOLO DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ K	225
--	------------

6.1 Introduzione.....	225
------------------------------	------------

6.2 Effetto dell'anisotropia del sottosuolo sulla permeabilità.....	225
--	------------

6.3 Conseguenza dell'erosione dei pendii sulle variazioni del coefficiente di permeabilità K	232
---	------------

6.4 Il Versante nord-orientale di Tricarico	239
--	------------

6.4.1 Ubicazione.....	239
-----------------------	-----

6.4.2 Litologia del Versante.....	240
-----------------------------------	-----

6.4.3 Processi morfologici in atto.....	241
---	-----

6.4.4	Monitoraggio strumentale	247
6.4.5	Discussione.....	249
6.5	Conducibilità idraulica e potenziale idrico a rottura	251
	Bibliografia	258

CAPITOLO 7

	TIPI DI FRANE E LORO MECCANISMI DI ROTTURA	261
7.1	Introduzione.....	261
7.2	Frane monotipiche	262
7.3	Frane composte.....	266
7.4	La Grande Frana di Ancona	269
7.4.1	Cenni di cronaca (da M. Carciofi, 1983)	269
7.4.2	Quadro dei danni (da M. Carciofi, 1983)	271
7.4.3	Inquadramento Geologico-strutturale dell'area di frana.....	272
7.4.4	Aspetti morfologici del versante.....	275
7.4.5	La frana.....	278
7.4.6	Stratigrafie	281
7.4.7	Analisi tecnica del versante	290
7.4.8	Dinamica della frana	292
7.5	Conclusioni.....	294
	Bibliografia	296

CAPITOLO 8

	LA PREVISIONE E LA PREVENZIONE DELLE FRANE	301
8.1	Introduzione.....	301
8.2	Controllo delle aree a rischio idrogeologico.....	303
8.3	Cenni sullo stato dell'arte.....	305
8.4	Individuazione dell'area a rischio idrogeologico	306
8.5	Procedura analitica per il conseguimento previsionale delle frane in terreni coesivi	308
	Bibliografia	316

PREFAZIONE

L'*Ambiente naturale* è un organo perfetto, regolato da leggi chimico-fisiche molto pertinenti alla funzionalità globale del pianeta Terra. In tale ambiente il dissesto idrogeologico ha una sua funzione che non sempre viene percepita dalle comunità antropiche come necessaria e imprescindibile nel ciclo evolutivo della natura. Si prende coscienza dell'esistenza delle frane solamente durante i luttuosi disastri idrogeologici così frequenti sui rilievi orogenetici terrestri sottoposti a piogge occasionali e/o persistenti. Possiamo per questo attribuire ai disastri idrogeologici la semplice funzione di accidentalità o di casualità? In realtà i processi o gli eventi che danno vita alla *materia inorganica* non sono casuali né tanto meno accidentali. È molto ingenuo pensare che un fenomeno naturale come quello delle frane così complesso e nello stesso tempo così ripetitivo possa sussistere per semplice casualità. In natura non vi è spazio per la indeterminatezza delle funzioni sia essa derivante da corpi biologici che da quelli geologici altrimenti l'*Ambiente* degenererebbe in *Caos*.

I disastri idrogeologici, in realtà, sono tali solo quando si considera il rapporto tra attività antropica ed ambiente locale che sembra essere l'unico fattore che rende il fenomeno franoso una calamità naturale. Infatti, se tale prospettiva è rivolta alla vulnerabilità, spesso molto alta, dei sistemi insediativi umani cui si aggiunge lo sfruttamento intensivo delle aree forestate, il disequilibrio territoriale assume tale rilevanza da modificare profondamente l'assetto dei corsi d'acqua a regime torrentizio, peraltro assai dinamico, che rappresentano una ulteriore causa del processo erosivo delle catene orogenetiche.

Partendo da questo presupposto è possibile *prevedere* e *prevenire* una frana in terreni coesivi?

Attualmente, l'approccio allo studio ed all'analisi di un corpo di frana rotazionale viene confinato nel ristretto ambito di un modello numerico; ciò limita l'adeguata comprensione dei reali meccanismi che governano la deformazione a rottura. Infatti, numerose sono le incognite sul comportamento meccanico del terreno alle diverse sollecitazioni di spinta nonché sull'evoluzione delle caratteristiche tecniche della massa in movimento e sul loro valore della deformazione nel tempo. Correntemente il problema della

stabilità dei pendii naturali in argilla viene affrontato come se il corpo di frana fosse rigido lungo tutta la superficie di scorrimento. L'effetto di rottura viene valutato mediante metodi di calcolo che schematizzano la natura e le caratteristiche strutturali del terreno. La massa in movimento poi viene suddivisa in un numero limitato di elementi semplici che non rappresentano l'intrinseca complessità del volume di terreno in frana. Non si tiene conto, inoltre, delle eterogeneità e delle discontinuità naturali che ogni tipo di terreno presenta in situ e che introduce nel processo di rottura, attraverso un fattore scala, valori che si dimostrano differenti da luogo a luogo. Il corpo di frana, cioè, viene schematizzato a prescindere dalla sua condizione di essere vivente, dalla sua funzione di entità ambientale, dal suo rapporto con le unità territoriali circostanti, dall'ordine e dalla disciplina che la sua stessa natura l'obbliga ad osservare, dalla cinematica che esso esprime durante e dopo il collasso e da cui dipende il rischio idrogeologico.

Purtroppo la matematica non riesce a collegarsi con questa realtà né con qualsiasi altra realtà complessa che riguarda la fisica dei processi evolutivi dell'Ambiente. Perché?

Quando i fenomeni naturali complessi vengono spiegati attraverso una serie di equazioni, costruite con le tecniche dei processi logici, la matematica non percepisce la realtà della vita perché le sue leggi non possono evolvere al contrario di quelle della Natura. Essa infatti è fondata su un *linguaggio dualistico* che è alla base del ragionamento mentale umano. I processi fisici naturali invece si basano su una *ratio monistica*. Parti delle verità naturali pertanto sono *indescrivibili* attraverso il linguaggio delle contrapposizioni o delle uguaglianze del calcolo e, molto spesso, inaccessibili al ragionamento mentale poiché questo è al di fuori del potenziale ambito della realtà fisica. La nostra mente può anche cogliere, nell'ambito delle normali possibilità dell'esperienza sensibile, un processo fisico naturale ma spesso non è in grado di descriverlo in termini numerici. Pur tuttavia alcuni fenomeni fisici si prestano ad una interpretazione dualistica. L'esempio più evidente è quello della teoria della *relatività ristretta* ($E = m \cdot c^2$) di Albert Einstein (1879-1955), premio Nobel 1921, che stabilì l'equivalenza tra i concetti di massa ed energia; oppure quando il fisico quantistico Eugene Wigner (1902-1995), premio Nobel nel 1963, scrisse un articolo fondamentale sulle relazioni tra matematica, fisica e scienze rilevando che dall'uso dei *gruppi matematici astratti* era possibile creare dei modelli di fenomeni naturali attraverso il calcolo delle simmetrie. La genialità di Wigner, associata a quella di Hermann Weyl (1928) è stata quella di formulare un ragionamento puramente dualistico utilizzando una matematica piuttosto complessa per interpretare fenomeni fisici espressi dalla Natura in termini monistici. Il fatto che la *teoria matematica dei gruppi* abbia prodotto tali importanti predizioni di un sistema fisico naturale non significa, tuttavia, che essa interagisca in ogni condizione con lo stesso sistema. Molti fisici moderni ritengono infatti che tale collegamento è verosimilmente una connessione

spurea stabilita nello spazio e nel tempo e che sembra sussistere soltanto in funzione di come la mente umana ha progettato l'esperimento. Infatti il carattere casuale e statistico della fisica quantistica non è mai stato soddisfacente nel determinare il momento della rottura di un pendio né è stato in grado di valutare in quale posizione del versante si può verificare un dissesto idrogeologico e con quali probabilità se non quando questo si attiva; solo allora la fisica quantistica è in grado di dare una risposta casuale del fenomeno naturale. È innegabile, tuttavia, che la nostra mente riesce a percepire la Natura anche se non sempre è in grado di esprimere le modalità di percezione attraverso il calcolo matematico. Ma, se così stanno le cose com'è possibile perseguire la *previsione* e la *prevenzione* delle frane?

Nei problemi di carattere geologico la dicotomia tra dualismo del pensiero umano e monismo dei processi naturali viene esasperata dalla quantità di incognite che si presentano al calcolo matematico. La percezione degli aspetti fisici di ogni processo naturale del suolo o del sottosuolo è sicuramente più veritiera se viene supportata da prove di verifica in campo attraverso l'impiego di strumenti di indagine scientifica. Pertanto, se si vuole perseguire la *previsione* e la *prevenzione* delle frane bisogna abbandonare la visione tridimensionale e sicuramente ingenua sull'utilizzo di modelli numerici che riduce le frane ad un insieme di fenomeni distinti, concreti ed indipendenti e passare invece alla alternativa del divenire di una totalità indivisa di fenomeni naturali (Bohm D., 1955) che comprende, ovviamente, il fattore tempo. *Già il tempo!* Altra grande incognita impossibile da valutare matematicamente per definire tali processi. Ed allora? Intanto A. Einstein ci ha convinti, circa un secolo fa, che spazio e tempo sono inseparabili e curvi. La meccanica quantistica ci dice inoltre che il tempo nasce quando nasce un'interazione tra quanti. Il tempo dunque emerge, come lo spazio, dal campo gravitazionale quantistico; *“ogni oggetto dell'Universo ha il proprio tempo che scorre e ciò che determina questo tempo è il campo gravitazionale”* (Rovelli C., 2014). Tuttavia a livello locale quando si prende in considerazione la natura quantistica di un fenomeno ambientale il tempo relativo non funziona più. Ciò vuole forse significare che nei processi naturali il tempo non ha più valore? Al contrario significa che il tempo è variabile da punto a punto e pertanto non può essere definito nel processo matematico sull'evoluzione dell'Ambiente, nemmeno come entità elementare ordinata in una comune successione di istanti... *“La danza della Natura non si svolge al ritmo della bacchetta di un singolo direttore di orchestra che batte il tempo universale: ogni processo danza indipendentemente con i vicini, seguendo un ritmo proprio. Lo scorrere del tempo è interno al mondo, nasce nel mondo stesso, dalle relazioni fra eventi quantistici che sono il mondo e generano essi stessi il proprio tempo”*. È possibile dunque introdurre il fattore tempo in un'equazione deterministica per definire il processo evolutivo di una frana? Sembra proprio di *no!*

L'alternativa può essere unicamente quella di affidare a metodi analitici diretti volti a misurare in loco la totalità dei meccanismi che governano i processi di deformazione a rottura di un terreno ed interpretarne gli sviluppi. La logica è quella di ottenere dallo stesso pendio ovvero dallo stesso versante una risposta deformativa quale risultato di tutte le componenti, variabili e non, che agiscono sull'effetto di rottura del sottosuolo in modo da superare una certa visione teorica del comportamento del terreno e di assumere l'esperienza in campo quale prova diretta del rischio idrogeologico.

Attraverso un radicale rinnovamento della metodica di analisi, il presente volume individua, dunque, gli elementi analitici atti a condurre alla perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico e fornisce metodi pratici per ottenere i valori risolutivi per la determinazione tempestiva della deformazione a rottura nel sottosuolo. Il volume, inoltre, contiene numerosi esempi pratici di osservazione e di analisi del territorio corrispondenti alla trattazione teorica.

Il campo di interesse è quello relativo ai terreni coesivi o prevalentemente coesivi. Le tipologie di frane prese in considerazione sono quelle rotazionali e traslazionali, secondo la classifica di Varnes D.J., 1978, che rappresentano circa il 70% delle frane che si verificano sul globo terrestre.

CURRICULUM VITAE

prof. Luigi Coppola

*Ordinario di Geologia Applicata – Università della Basilicata
attualmente in pensione dal 1/1/2011*

lcoppola.27@libero.it

A₁) Titolare della *Cattedra di Geologia Applicata e Georisorse* – Università degli Studi della Basilicata dal 01/10/1984 al 30/09/2010.

A₂) *Direttore del Dipartimento di Scienze Geologiche* – Università degli Studi della Basilicata dal 01/10/2002 al 31/12/2010.

B₁) Autore di 82 pubblicazioni scientifiche su riviste nazionali ed internazionali; n. 18 riassunti presentati a congressi; n. 2 volumi didattici divulgativi.

C₁) ***School of Civil Engineering – Kingston Polytechnic – UK***

Referente: Full prof. Edward Nicholas Bromhead

- Climate changes, landslides and erosion in the semiarid region of the mediterranean areas subject to recent uplift.
- Risk from the stability of coastal landslides (ris.co.la).
- Fossil landslide dams and their exploitation for hydropower in the italian dolomites.

C₂) ***Department of Civil Engineering – Aristotle University of Thessaloniki – Greece***

Referente: Associate Prof. Dr. S.C. Bandis

- Environment technologies to forecast, prevent and reduce natural risks (Hydrological and Hydrogeological risks).

C₃) ***Department of Geology – National Taiwan University – Taipei***

Referente: Full prof. Hongey Chen

- Geohazards in a neotectonic terrain.
- Fluvial dynamics for protection from water courses and the protection of water courses.

C₄) ***Escuela de Geologia – Universidad Nacional de Salta – Argentina***

Referente: prof. Victor Omar Viera

- Riesgos geoambientales y ordenamiento territorial de la unidad geoambiental y morfoclimática de cordillera oriental de province de Salta.

D₁) **Ministero degli Interni – Servizi per l’Autogestione**

Responsabile dell’attività didattica formativa svolta nei mesi Gennaio – Luglio 2003 per la Soc. Cooperativa Nautilus di Vibo Valentia, su tematiche geologico-ambientali.

D₂) **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Membro partecipante al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, IV Sezione, Ministero, Roma, dal 29/11/2003 al 25/7/2008.

D₃) **Consiglio Regionale delle Marche**

Nominato membro per la Commissione di inchiesta sulla “Attività estrattiva nella regione Marche ed in particolare per le cave di Gorgo a Cerbara e di Torno di Fano”; anno 2006.

E₁) Brevetto per invenzione industriale dal titolo “***Un metodo per la Previsione e la Prevenzione di Frane in terreni coesivi***” depositata presso la C.C.I.A.A. di Pisa – Italia in data 31/05/2011 con n. ITPI2011A000059. Approvata dal Ministero dello Sviluppo Economico – Uff. Italiano Brevetti e Marchi, il 13 febbraio 2012 con n. IO 23902.

PARTE I

ASPETTI PREPARATORI ALLA METODOLOGIA DI ANALISI

Sul pianeta Terra lo stato del dissesto idrogeologico è condizionato prevalentemente dall'assetto strutturale della orogenesi locale; in effetti la crosta terrestre, attraverso ripetuti eventi tettonici traslativi, ha subito dei processi di compressione e di taglio che oggi compongono le catene orogenetiche del nostro pianeta. Si può ben immaginare quindi in quali condizioni di rottura e talora di caoticità siano oggi pervenute le masse rocciose dei pendii e quale sia stata la destrutturazione degli elementi litici (sia questi composti da granuli, lamelle, frammenti clastici e da cristalli) nonché la perdita dei caratteri d'insieme degli stessi.

A tale peculiarità si associa, inoltre, la vulnerabilità molto alta dei sistemi insediativi indotta dai processi morfoevolutivi di erosione fluviale.

Un esempio delle condizioni geologiche-strutturali in rapporto al dissesto idrogeologico viene fornito dalla catena appenninica che, prevalentemente nel centro-sud, è funestata da numerose frane che impegnano la stabilità di insediamenti storici tuttora abitati. Tale territorio è suddiviso in molteplici bacini idrografici ad alta sismicità, con un regime pluviometrico caratterizzato da piogge intense alternate a lunghi periodi di assenza delle precipitazioni cui fa riscontro un'altrettanta frammentata distribuzione degli insediamenti umani configuratasi, per le ben note vicende storiche, nel corso di un lungo arco di tempo a partire dal basso Medioevo. Lo sfruttamento intensivo delle aree forestate, sia per l'utilizzazione della legna sia per la creazione di nuove aree agricole o a pascolo, ha assunto progressivamente rilevanza tale da modificare profondamente l'assetto, peraltro assai dinamico, dei corsi d'acqua a regime torrentizio che rappresentano un ulteriore causa del processo erosivo della catena appenninica. Quali siano, dunque, i processi meccanici che conducono, un pendio a rottura e quali le loro implicazioni non è generalmente oggetto di valutazione attraverso i semplici teoremi dell'analisi limite. Infatti in Meccanica dei Terreni l'utilizzo di equazioni dello stato di equilibrio è estre-

mamente complicato poiché si deve considerare il terreno come un materiale monofase in condizioni drenate, ovvero in assenza di pressioni idriche interstiziali. I terreni invece appartengono ad un sistema multifase ove la conoscenza delle condizioni iniziali del mezzo e di quelle al contorno, delle tensioni applicate, dello stato di saturazione e del comportamento a rottura, è una condizione necessaria e preliminare per la messa a punto di un sistema credibile per la difesa dal rischio idrogeologico. Purtroppo la panoramica sui meccanismi di innesco del dissesto idrogeologico mostra molteplici difficoltà che derivano da problemi di vario ordine che si incontrano nel processo di analisi.

Un **primo problema** deriva dalla stessa impostazione del *Metodo dell'Equilibrio Limite* già noto in campo ingegneristico come *Criterio del Cuneo di Spinta di Coulomb* (1773) perfezionato, successivamente, da Terzaghi (1923–1925) attraverso la formulazione del *Principio degli Sforzi Efficaci*. Benché tale metodo possa essere considerato appagante per l'utilità di ricavare soluzioni riguardanti opere di scavo e di sostegno in terreni argillosi, non può essere considerato valido, invece, per problemi di stabilità dei versanti. Infatti la procedura di analisi dell'equilibrio limite globale considera il comportamento meccanico del terreno come se fosse un corpo rigido permanente lungo tutta la superficie di scorrimento; si suppone, cioè, che nelle condizioni di scorrimento lo stato tensionale sia costante, indipendente dalla deformazione e dal tempo.

Un **secondo problema** deriva dalla necessità di schematizzare la natura e le caratteristiche strutturali del terreno e di rappresentare con un numero limitato di elementi semplici l'intrinseca complessità di un volume di terreno naturale. Il *Metodo*, cioè, non tiene conto dell'eterogeneità e delle discontinuità naturali che ogni tipo di terreno presenta in situ e che introduce nel processo di rottura attraverso un fattore scala che si dimostra differente da luogo a luogo. Inoltre, lo stesso *Metodo* richiede per successivi tentativi l'individuazione a priori di una ipotetica superficie critica di scorrimento.

Un **terzo problema** si incontra nella definizione della costituzione del sottosuolo che deriva dalle intrinseche limitazioni dei mezzi di indagine.

Da queste osservazioni ne deriva che il "*Metodo dell'Equilibrio Limite*" può essere applicato solo a quelle forme di dissesto idrogeologico che hanno già acquisito una propria fisionomia nell'ambito di un disastro ormai realizzato. Ai fini della *previsione* e della *prevenzione* delle frane, aventi come obiettivo la tutela della pubblica incolumità, invece, se non viene definito lo stato tensionale all'interno della zona di rottura, non è possibile dimostrare che siano soddisfatte le condizioni di equilibrio, di contorno e di taglio del terreno e dunque nessuna delle equazioni del continuo può essere considerata corretta o soddisfacente. Al contrario permangono significative indeterminazioni circa il comportamento delle singole unità litologiche alle sollecitazioni deformative, né si

conoscono le modalità di trasferimento dall'equilibrio statico di un litotipo a quello dinamico di taglio, né, tantomeno, è comprensibile il ruolo della componente litica in fase di rottura che molta influenza esercita sui danni provocati dagli eventi di frana. Pur rappresentando un utile mezzo di indagine, il *Metodo dell'Equilibrio Limite* schematizza in modo eccessivo la complessa realtà geologica e non sempre tiene conto delle condizioni idrauliche al contorno per lo più variabili nel tempo. È necessario dunque che ogni sforzo di comprensione sia affidato a metodi analitici diretti a misurare in loco i meccanismi che governano i processi di deformazione a rottura di un terreno ed interpretarne gli sviluppi.

Bibliografia

- Coulomb C.A. (1773) - *Essai sur une Application de Regles de Maximis et Minimis a Quelques Problemes de Statique Relatifs a l'Architecture*. Mem. Div. Sav. Acad., V. 7.
- Terzaghi K. (1923) - *Die Berechnung der Durchlässigkeitsziffer des Tonen aus dem Verlauf der Hydrodynamischen Spannungserscheinungen Akademie der Wissenschaften in Wien. Mathematisch - Naturwissen - Schafliche Klasse. Sitzungsberichte. Abteilung II*, V. 132, N. 3/4, pp. 125-138.
- Terzaghi K. (1925) - *Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grund Lage. F. Denticke*, Vienna.

Pagine omesse dall'anteprima del volume

CAPITOLO 5

LA DINAMICA DEI DISSESTI

5.1 Introduzione

L'individuazione tempestiva della deformazione a rottura nel sottosuolo in aree ad alto rischio idrogeologico ha come presupposto fondamentale la definizione del carattere distintivo del tipo di dissesto che si può sviluppare sul pendio. A tale scopo, *prima di ogni indagine strumentale, bisogna individuare e circoscrivere, attraverso i tradizionali rilievi geologico-strutturali e geomorfologici di campagna, l'area a potenziale rischio idrogeologico*. Questa distinzione è molto importante poiché la dinamica del dissesto ha un diverso comportamento in relazione alle cause di attivazione o di riattivazione del corpo di frana. Attraverso un procedimento sistematico cercheremo dunque di individuare il canone di riconoscimento di alcuni tipi di frana che fanno parte della grande famiglia dei dissesti idrogeologici in terreni prevalentemente coesivi in modo da semplificare e rendere immediata l'individuazione delle aree a rischio.

Una prima ripartizione fondamentale è la seguente:

- a. il pendio può essere sede di una frana di origine recente; *frane attuali*, oppure:
- b. il pendio può essere sede di un fenomeno di riattivazione di una frana avvenuta nel passato; *frane preesistenti*.

5.2 Dinamica delle frane attuali

La panoramica sui meccanismi di innesto delle frane attuali sui versanti a prevalente componente argillosa mostra che tali meccanismi dipendono dalle mutate caratteristiche tecniche del terreno e dalle pressioni idriche interstiziali presenti nel sottosuolo.

In genere il dissesto idrogeologico assume una deformazione di tipo plastico-rotazionale che si sviluppa alla profondità dove la pressione dell'acqua interstiziale è massima. In Appennino tale profondità varia da alcuni metri dal piano campagna (~ 3 m a ~ 8 m)

in terreni argilloso-marnosi alterati sovrapposti ad argille stratificate, sovraconsolidate, poco fratturate, come le argille subappennine della unità della Fossa Bradanica – Pliocene Sup. – Calabriano (Richetti G. & Sandone P., 1979) oppure come le argille grigio-azzurre del Bacino Neogenico di Siena (Costantini et alii, 1992), sino ad un massimo di 45 m in terreni argilloso-scagliosi tettonicamente destrutturati e caotici come le Argille Variegate (Ogniben L., 1969) oppure il Flysch Rosso (Scandone P., 1972).

Le frane attuali appartengono a tre ambienti diversi.

5.2.1 *Primo Ambiente*

Il primo ambiente è quello delle grandi masse in movimento che sono vincolate ad una successione temporale ed ordinata di scivolamento per la quale la priorità deformativa di rottura è sempre conferita alla massa in tensione a valle. Ne scaturisce sul pendio un dissesto idrogeologico composto dal movimento di più corpi di frana, in successione regressiva-sequenziale, che si sviluppano in tempi diversi. Queste frane sono sempre collegate a lunghi periodi di precipitazioni meteoriche quando, cioè, il pelo libero della falda idrica sotterranea è pressoché vicina al piano campagna. In terreni coesivi la superficie di scorrimento è rotazionale sia quella principale sia quella dei singoli corpi di frana che spesso compongono la successione parziale del movimento (Figura 5.1).



Figura 5.1 – Frana attuale composta che si è sviluppata nel 1972 sul versante meridionale della collina di Craco, provincia di Matera, Appennino Meridionale. Il paese, di origine medievale, era posizionato su una placca arenacea sovrastante argille grigie del Pliocene medio-superiore

La rottura del pendio non è mai immediata ma essa passa da una fase di pre-rottura, in genere di lunghissimo periodo, a quella di taglio. Nelle Ande argentine, dove molti di questi fenomeni di dissesto hanno dimensioni territoriali di grande estensione e profondità i periodi di gestazione spesso superano 50 anni e sono fortemente dipendenti dall'attività sismica. Talora l'esistenza della deformazione di pre-rottura nel sottosuolo si manifesta in superficie attraverso una leggera depressione del piano campagna quando la zona di taglio non è eccessivamente profonda (Figura 5.2) ciò che lascia supporre che il pendio locale è a rischio idrogeologico.



Figura 5.2 – Basculamento verso valle del falsopiano su cui insiste il Santuario della dea Mephitis avvenuto per deformazione di pre-rottura nel sottosuolo in località Rossano di Vaglio, provincia di Potenza (Italia)

Una o più scarpate di frana sono sempre presenti lungo il profilo della massa franata con rughe e crepe trasversali nonché radiali sul fronte. In questo tipo di ambiente quando la superficie piezometrica raggiunge il piano campagna si genera un valore di spinta orizzontale (σ_{ho}) superiore a quella di resistenza del terreno saturo; in tali condizioni σ_{ho} ha già superato lo stato di equilibrio limite di un valore maggiore di $2 c_u$.

Pertanto la causa dei movimenti plastici rotazionali in terreni coesivi è da attribuire ad un problema di pressione dell'acqua interstiziale sviluppata al contorno della superficie di scorrimento in stato di saturazione.

Campomaggiore Vecchio, in provincia di *Potenza* – Appennino Meridionale, è un insediamento fantasma (Figura 5.3) ubicato sul versante in sinistra idrografica del fiume Basento. Tra l'8 ed il 10 febbraio del 1885, a seguito di tre giorni di intense piog-

ge, i terreni sui quali era edificato l'abitato, appartenenti alla formazione litologica del Flysch Rosso e precisamente al suo membro argilloso-marnoso (Figura 5.4 e Figura 5.5), vennero interessati da un ampio e lento dissesto idrogeologico provocato da una frana classificata come scorrimento rotazionale.



Figura 5.3 – *Corpo di frana sul quale il paese di Campomaggiore Vecchio conserva la sua integrità urbanistica. Sullo sfondo la conca di distacco della frana dove originariamente sorgeva il paese.*



Figura 5.4 – *Flysch Rosso*

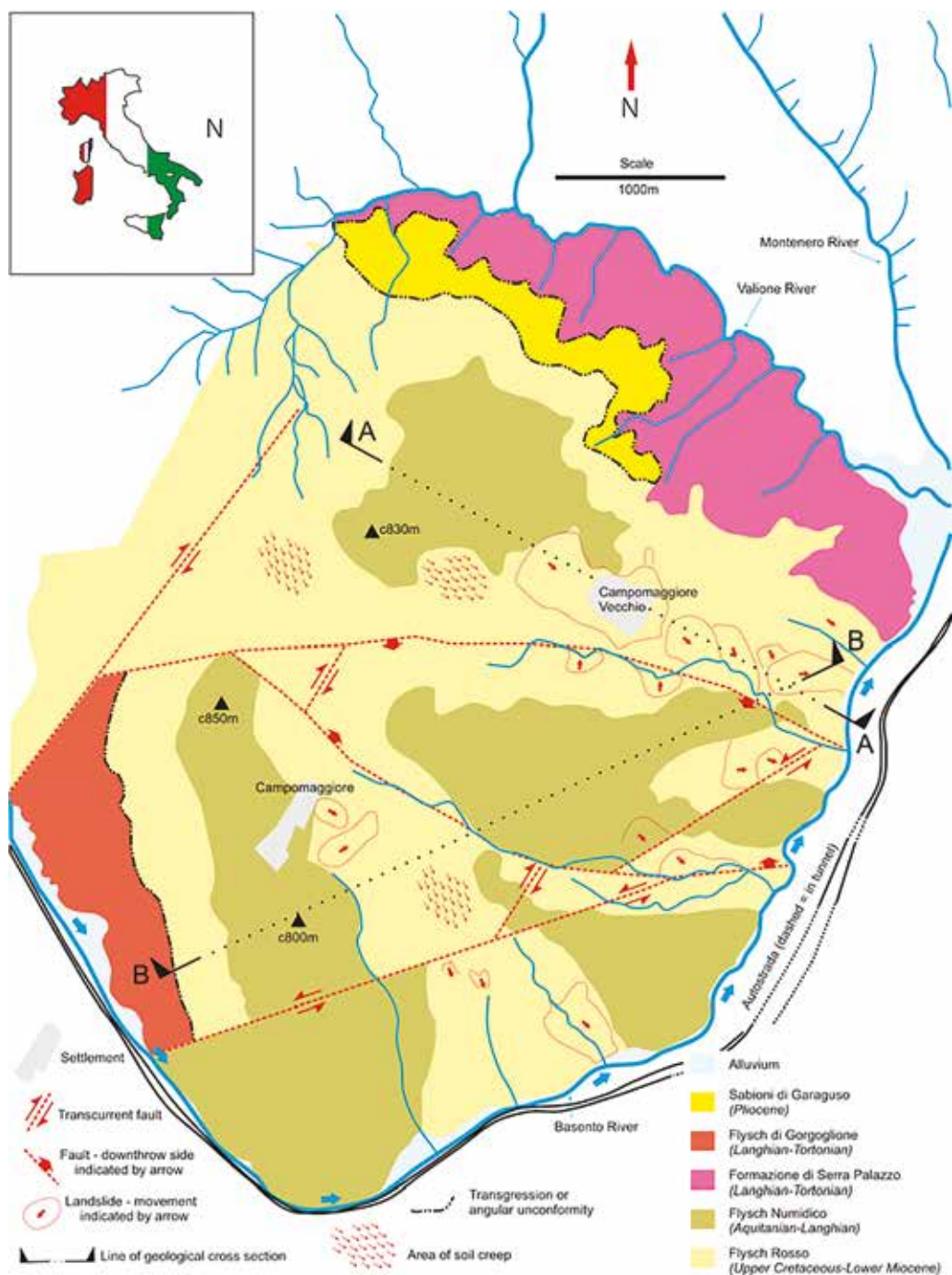


Figura 5.5 – Cartina geologica del territorio di Campomaggiore Vecchio

Il paese dopo essere stato abitato fino al 1300, ebbe un periodo di abbandono, come spesso è stato registrato nei territori della Basilicata soggetti a continui spostamenti di popolazioni in cerca di nuove terre più fertili da coltivare. Nel 1622 il territorio di Campomaggiore, privo di feudatari, fu concesso da re Filippo IV a Carlo Rendina con il titolo di Conte, imponendo a questo di far abitare il feudo dalle antiche origini.



Figura 5.6 – *Nucleo ecclesiastico*

Il movimento franoso fu lento ed unitario tale che l'abitato subì una graduale traslazione da monte verso valle, di circa 200 m, conservando parzialmente l'integrità in elevazione degli edifici. Rimasero in piedi il campanile e la stessa Chiesa (Figura 5.6), il Palazzo Rendina (Figura 5.7), il cimitero e le abitazioni che, ovviamente, subirono fessurazioni e disarticolazioni delle strutture tali che gli abitanti furono costretti ad abbandonare il sito e costruirne uno nuovo a circa 2 km in direzione est sulla cima di un rilievo collinare. Campomaggiore Vecchio assume oggi una significativa importanza, sia dal punto di vista storico che dal punto di vista architettonico in quanto testimone del passato stile di vita e delle tipologie edilizie dell'epoca nonché esempio di un rapporto interattivo con l'ambiente locale e con l'evoluzione di questo.

Al fine di chiarire quest'ultimo aspetto legato alla problematica conservativa del patrimonio architettonico di uno dei tanti paesi della Basilicata aventi la stessa condizione di dissesto idrogeologico, è necessario fare un passo indietro nell'analisi delle cause di questa frana e chiedersi innanzitutto:

- a. come mai un antico sito che è stato per più di due secoli stabile (dal 1622) è franato proprio nel febbraio del 1885?
- b. perché si è verificata proprio quella tipologia di movimento?
- c. quali sono state le reali cause del dissesto?



Figura 5.7 – Palazzo Cutinelli-Rendina (da Campomaggiore, archeologia dell'edilizia storica di Pierfrancesco Rescio, 1997)

Riferendoci alle cause del dissesto, le piogge prolungate del febbraio 1885 non soddisfano questi interrogativi; un tale evento meteorologico, infatti, non costituisce un'eccezione nel periodo storico. Esiste dunque un rapporto causa-effetto?

- Nel 1673, il conte Gerardo Antonio Rendina, figlio di Carlo, compra finalmente l'intero territorio di Campomaggiore.
- Nel 1741, l'abitato si accentra in un solo ambito voluto da Don Ferrante Rendina; chi voleva abitare nel centro di Campomaggiore doveva piantare una vigna per la quale si pagava, dopo 6 anni, 5 carlini ogni tomolo. Inoltre i residenti avevano la possibilità di tagliare la legna del bosco di rovere e di cerro per le travi del tetto purché si piantassero, per ogni rovere o cerro, tre alberi da frutta a scelta del barone. Tra il 1760 ed il 1780, Teodoro Rendina ed i suoi successori, incrementarono l'economia agraria; fu prosciugata una piccola palude e vennero raggruppate le case intorno al palazzo baronale realizzando così un paese con pianta ordinata a scacchiera, vie larghe incrociantesi ad angolo retto. Tutto fu costruito in muratura. In questo periodo molti

bitontini (abitanti di Bitondo in Puglia) si stabilirono, per volere di Teodoro Rendina, a Campomaggiore ed introdussero sul territorio, prevalentemente silvo-pastorale, la coltura dell'ulivo. Nel 1795 Campomaggiore contava 410 abitanti; nel 1820 questi raddoppiarono ad 820. Nel 1885, la frana.

Attraverso l'analisi sulla stabilità del versante (effettuata attraverso il metodo dell'Equilibrio Limite Globale) è stato possibile determinare la pressione idrica nel terreno ovvero la risalita del livello piezometrico in condizioni di rottura del pendio. Inoltre, è stato possibile mettere in relazione la quantità delle precipitazioni piovose con le variazioni della falda idrica nel sottosuolo attraverso osservazioni piezometriche di lunga durata, al fine di individuare il tenore delle precipitazioni corrispondente alla pressione idrica di rottura del pendio.

L'analisi di stabilità del versante ha fornito dei valori del fattore di sicurezza (F_s) sempre maggiore di 1 anche in condizioni di pressione idrica interstiziale elevata e cioè con livello piezometrico a -1 m dal piano campagna (Figura 5.8).

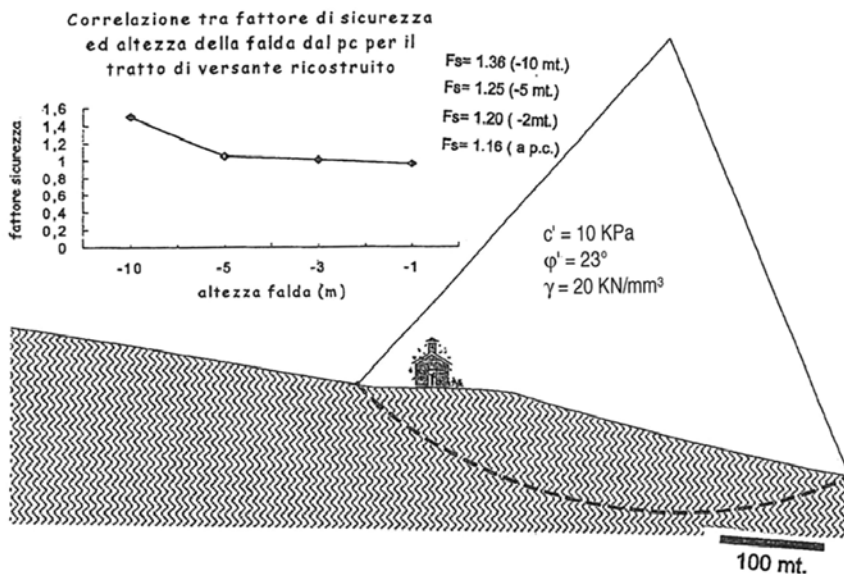


Figura 5.8 – Verifica di stabilità del corpo di frana effettuata su versante ricostruito ed antecedente alla mobilitazione del 1885. L'acclività del pendio $\alpha = 14^\circ$

Ciò è dovuto, probabilmente, ad un basso valore di acclività del pendio ($\alpha=14^\circ$) su cui si sviluppò il borgo di Campomaggiore dopo il 1662.

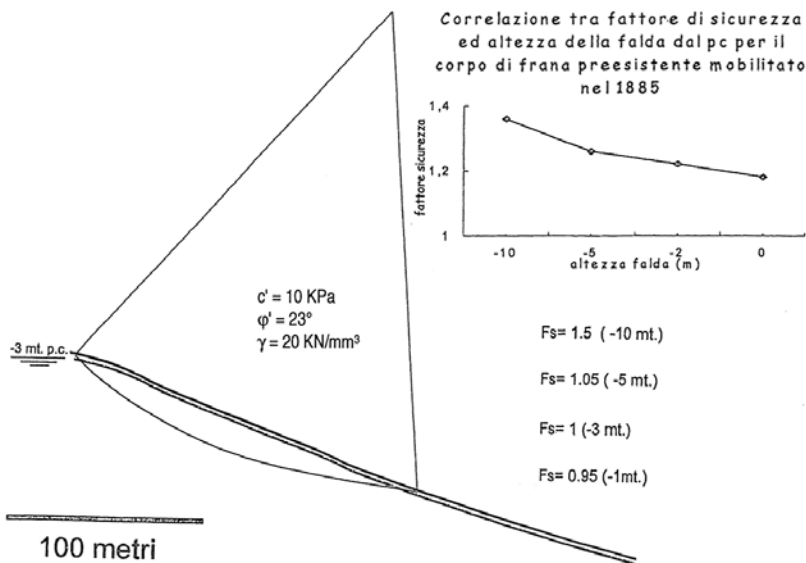


Figura 5.9 – Verifica di stabilità del versante al momento della frana del 1885. L'acclività del pendio $\alpha = 25^\circ$.

Rifacendo la stessa analisi con acclività del pendio $\alpha = 25^\circ$ pari a quella dello stesso tratto di pendio nel momento di attivazione della frana (anno 1885) è stato riscontrato che il dissesto idrogeologico, che ha coinvolto Campomaggiore Vecchio, avvenne in condizioni di pressioni idriche interstiziali corrispondenti ad una altezza piezometrica a - 1 m dal piano campagna (fattore di sicurezza $F_s = 0,95$ – Figura 5.10).

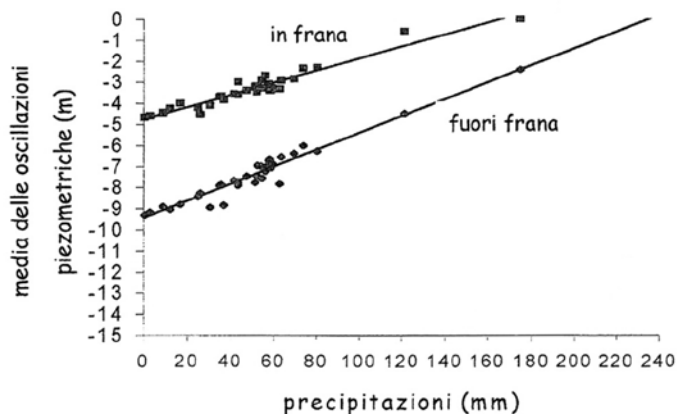


Figura 5.10 – Correlazione tra afflussi meteorici e fluttuazioni della falda, all'interno del corpo di frana e all'esterno di essa

Ciò indica che le condizioni di attivazione della massa litica in frana sono dipese, principalmente, dalle variate condizioni di acclività del pendio determinatesi in un periodo compreso tra l'insediamento del borgo in località *Scarrone del Salice* (1622) e quello della frana del 1885. Sembra dunque che la causa principale della riattivazione della preesistente frana sia da attribuire proprio al processo di erosione regressiva dei corsi d'acqua affluenti al Basento, che nella fattispecie agisce da *livello di base* e che con l'approfondimento del proprio alveo ha indotto, nei secoli, un processo morfoevolutivo del versante con graduale aumento di acclività del profilo di superficie. Attraverso l'utilizzo del diagramma di Figura 5.10 è possibile, inoltre, risalire alla quantità di precipitazioni piovose che hanno indotto la mobilitazione della frana nel 1855. Tale valore critico della piezometria è stato raggiunto all'incirca con 205 mm/mese di pioggia. Durante i tre giorni di cattivo tempo, 8–10 febbraio del 1885, dunque, è caduta circa 205 mm di acqua piovana.

Dalle attuali osservazioni geomorfologiche effettuate sul pendio a valle del corpo di frana su cui è ubicato Campomaggiore Vecchio si desume con molta evidenza che la maggior parte delle frane si sviluppa lungo incisioni torrentizie che dal fiume Basento risalgono il versante. Ai bordi di queste incisioni le argille del *Flysch Rosso* subiscono uno scarico tensionale, con diminuzione della pressione di consolidazione mentre il pendio è sede di un moto di filtrazione stazionario con gradiente idraulico particolarmente elevato in prossimità del piano campagna. *Per tale motivo, i dissesti più frequenti si verificano proprio lungo le aste torrentizie ed evolvono in modo progressivo risalendo il versante; ne deriva che la principale causa di un'ulteriore attivazione dello stesso corpo di frana del 1855, che attualmente giace a mezza costa sul versante in parola, è proprio dovuta al processo di erosione regressiva dei corsi d'acqua.*

In definitiva si può concludere che i rapporti con il territorio delle società arcaiche insediate sui rilievi collinari della Basilicata a prevalente costituzione argillosa hanno indubbiamente trasformato l'ecosistema specifico di queste aree in conseguenza di un processo produttivo adeguato alla crescita sociale, aggravato nel corso dei millenni dalle variazioni del clima locale. Recentemente, la messa a coltura di nuove terre, le bonifiche, le contrazioni di aree boscate, l'emigrazione dai centri minori e la crisi della agricoltura pedemontana hanno innescato fenomeni di degrado fisico del territorio. Il cambiamento è stato talora immediato e violento talora lento e graduale. Tuttavia, la ricostruzione storica di questi ambienti, delle loro modificazioni nonché delle ubicazioni, dei mutamenti, delle riorganizzazioni e delle crisi sociali dei centri di aggregazione umana può fornire una valutazione dei fattori di causa ed effetto nel processo storico di trasformazione del territorio. *Seguendo il percorso delle modificazioni congiunte è possibile, cioè, ricostruire il percorso interattivo tra i due sistemi nel tempo e valutare la velocità dei processi di mutamento. Ciò permetterà, inoltre, di tradurre queste cono-*

scenze in termini previsionali e di valutare, presumibilmente, le trasformazioni future del patrimonio archeologico ed architettonico in funzione del degrado ambientale (conservazione dei beni culturali) e dei tempi di impiego (storia dell'ambiente naturale).

5.2.2 Secondo Ambiente

È riferito a pendii fortemente condizionati dalla incisività dei corsi d'acqua ivi compreso i versanti delle vallecole calanchive (bad lands) (Figura 5.11 e Figura 5.12). Qui il movimento di massa si manifesta per crolli, per soliflusione e/o colamenti, a causa del processo di dilavamento dei pendii, lungo un unico scorrimento come un'unità essenzialmente coerente (Figura 5.13).

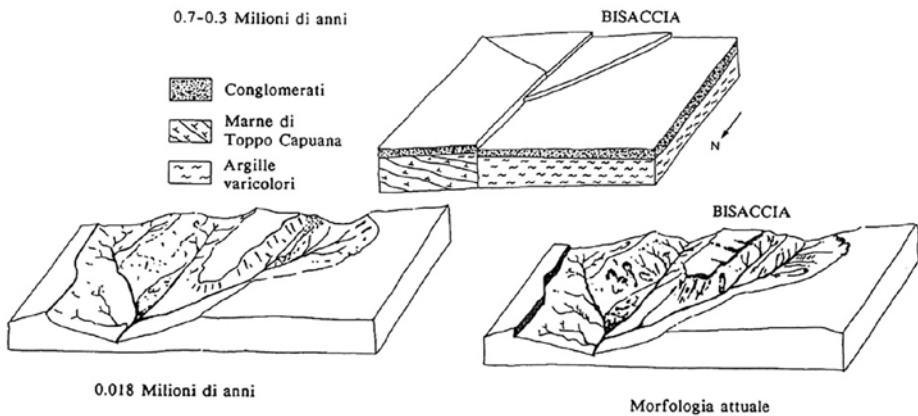


Figura 5.11 – Evoluzione geologica dell'area di Bisaccia (da Fenelli e Picarelli, 1990). La formazione dei valloni laterali è stata attribuita a fenomeni accoppiati di erosione e frana. L'inizio di questi fenomeni è posto a circa 300.000 anni fa



Figura 5.12 – Calanchi nel settore centrale del bacino del Chifente – Appennino Marchigiano – Ascoli Piceno



Figura 5.13 – Ande settentrionali della provincia di Jujuy – Argentina

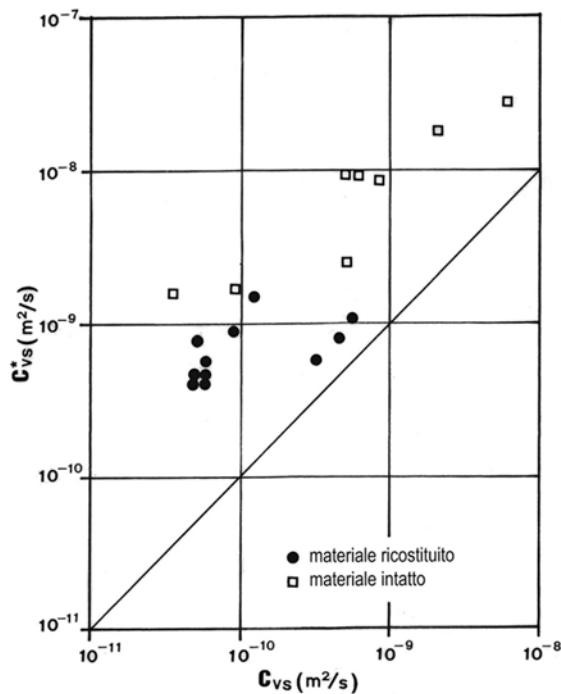


Figura 5.14 – Coefficiente di diffusione idraulica al rigonfiamento ottenuto da analisi degli spostamenti (C_{vs}) e delle pressioni neutre (C_{vs}^*) (da Picarelli L. & Urciuoli G., 1993)

La massa in movimento è sempre quella dell'orizzonte superficiale di alterazione, piuttosto decompresso, giacente sullo stesso deposito competente talora poco fratturato. Appartengono a questo ambiente anche le frane di scivolamento su strato con acclività inferiore a quella del pendio.

Queste frane sono collegate ad abbondanti precipitazioni meteoriche ovvero quando l'effetto erosivo dei corsi d'acqua è fortemente incisivo in breve tempo. Si osserva infatti che il rigonfiamento delle argille causato da processi naturali di erosione modifica la struttura di queste ed in tempi più o meno brevi agisce sulla morfologia e la stabilità di vaste zone del territorio. La formazione dei valloni laterali è dovuta a fenomeni accoppiati di erosione e di frane. In genere il processo dell'alveo principale si sviluppa lungo faglie di origine tettonica mentre l'allargamento dei valloni laterali è causato da frane delle scarpate laterali. Gli autori Picarelli L. e Urcioli G., 1993, sulle indicazioni di Bromhead E.N. & Dixon N., 1984, hanno dimostrato che esiste una relazione tra contenuto d'acqua e pressione di rigonfiamento verificata su un provino parzialmente essiccato all'aria e su un campione prelevato in profondità al di sotto della faglia (Figura 5.14 e Figura 5.15).

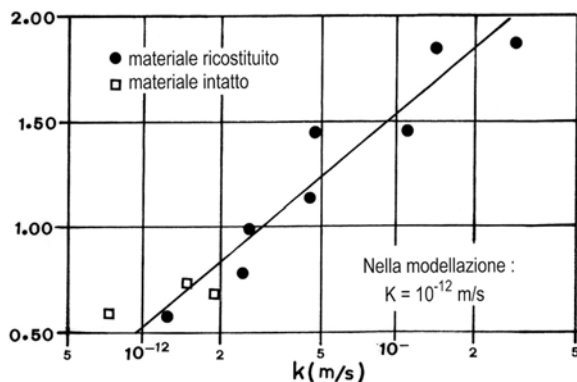


Figura 5.15 – Coefficiente di conduttività idraulica delle argilliti (da Picarelli L. & Urcioli G., 1993)

Il forte potenziale di rigonfiamento è certamente un fattore importante sul controllo dei processi deformativi indotti dall'erosione fluviale. È stato osservato che la risposta agli sforzi deviatori è fortemente dipendente dalla mesostruttura del materiale e soprattutto dalla presenza di *principal shears* (Skempton e Petley, 1967). In questo tipo di ambiente il pelo libero della falda idrica è spesso prossimo al piano campagna e le oscillazioni annuali sono limitate a qualche metro; l'orizzonte litico superficiale dunque funge da serbatoio idrico permanente che in caso di sollecitazioni sismiche potrebbe essere sottoposto a sovrappressioni neutre tali da portare il pendio al collasso.

Tuttavia l'entità degli effetti che riducono le valli fluviali ad ambienti degradati dipende da una quantità di fattori che sono connessi con la geometria della valle, con le condizioni dei depositi al contorno, con le caratteristiche fisiche e meccaniche di questi e con le tensioni indotte dalla falda idrica nel sottosuolo.

Pagine omesse dall'anteprima del volume