

Geologia dell'Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale



Supplemento al n. 1/2017

ISSN 1591-5352

A cura di
GIUSEPPE GISOTTI E CLAUDIO MARGOTTINI



Atti del convegno

Idee per salvare Civita di Bagnoregio

BAGNOREGIO, 31 OTTOBRE 2015





Comune di Bagnoregio



Società Italiana di Geologia Ambientale



Autorità di Bacino
del Fiume Tevere



Organizzano il convegno

Idee per salvare Civita di Bagnoregio

Auditorium comunale "V. Taborra", Piazza Biondini, Bagnoregio (VT)

31 ottobre 2015 ore 15.00-18.30

L'idea di realizzare questo incontro di studio ma anche di divulgazione scientifica, propugnata da Gaia Pallottino e Giuseppe Gisotti, nasce dalla considerazione dei risultati dei vari interventi di protezione idrogeologica effettuati negli ultimi anni (recentemente si sta manifestando in tutta la sua gravità la frana di Mercatello, alle porte del borgo) per porre un freno al degrado di Civita di Bagnoregio, la "città che muore".

Si tratterebbe di eseguire una serie di attività nel seguito accennate (ma che devono trovare la risposta dagli studiosi chiamati a conferire in questo convegno):

- a) verificare la necessità di effettuare studi geologico-tecnici, idrogeologici, geomorfologici, pedologici, vegetazionali, sul colle e sul bacino calanchivo di Civita, laddove alcuni aspetti non siano stati ancora esplorati a sufficienza, in modo da potere preparare, sulla base dei risultati, un progetto di risanamento che tenga conto dei vari fattori in gioco; tale progetto onnicomprensivo sembra che non sia stato effettuato in passato, in quanto i vari problemi sono stati esaminati separatamente e non in una visione d'insieme;
- b) prendere come esempio i lavori di consolidamento di centri urbani la cui situazione geologico-technica e geomorfologica è molto simile a quella di Civita, come Todi, Orvieto, e altri centri urbani della Basilicata, realizzati da qualche tempo, che hanno dato esiti soddisfacenti; altri esempi da prendere in considerazione, a proposito della stabilizzazione dei bacini calanchivi, sono quelli San Marino, Reggio Emilia, o quello più antico di Brisighella, per non parlare di quelli della Basilicata;
- c) nell'attesa dei risultati di un studio realizzato secondo i criteri sopra espressi, del relativo progetto e delle opere di bonifica conseguenti, realizzare appena possibile interventi cantierabili allo scopo di almeno rallentare i rapidi processi geodinamici in atto; importante è a questo riguardo la problematica del deflusso dell'acqua nei riguardi della stabilità geomeccanica, con particolare riguardo alle acque pluviali e alle fognature, che interessano sia la placca rigida che le argille plastiche.

Viene subito alla mente il processo decisionale che si è attuato a proposito di alcune situazioni analoghe a questa, per esempio quelle relative a Orvieto e a Todi, dove lo Stato si è adoperato emanando una apposita legge speciale sulla salvaguardia delle due città, che attualmente risultano consolidate dopo ingenti lavori di protezione idrogeologica.

Il convegno viene preceduto da una visita guidata, che si terrà la mattina, al "Museo geologico e delle frane" di Civita, a cura della Associazione GeoTeverina. Nella stessa mattina si prevede una visita guidata alle aree franose che circondano il Colle di Civita (Mercatello, ecc.), a cura di ISPRA, Servizio Geologico d'Italia.

Si prevede di pubblicare gli ATTI del Convegno come Supplemento in formato pdf alla rivista trimestrale della SIGEA "Geologia dell'Ambiente", liberamente scaricabili (vedasi precedenti in www.sigeaweb.it, Sezione PUBBLICAZIONI/Supplementi)



Geologia dell'Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale

Associazione di protezione ambientale a carattere nazionale riconosciuta dal Ministero dell'ambiente, della tutela del territorio e del mare, con D.M. 24 maggio 2007, G.U. n. 127 del 4.6.2007

Supplemento al n. 1/2017
Anno XXV - gennaio-marzo 2017

Iscritto al Registro Nazionale della Stampa n. 06352
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 229
del 31 maggio 1994

Comitato scientifico

Mario Bentivenga, Aldino Bondesan,
Giancarlo Bortolami, Giovanni Bruno,
Giuseppe Gisotti, Giancarlo Guado,
Giacchino Lena, Giacomo Prosser,
Giuseppe Spilotro

Consiglio Direttivo nazionale 2016-2019

Daniilo Belli, Lorenzo Cadrobbi, Franco D'Anastasio
(*Segretario*), Daria Duranti (*Vicepresidente*),
Antonello Fiore (*Presidente*), Sara Frumento,
Fabio Garbin, Enrico Gennari, Giuseppe Gisotti
(*Presidente onorario*), Giacchino Lena
(*Vicepresidente*), Luciano Masciocco, Michele
Orifici, Vincent Ottaviani (*Tesoriere*), Angelo Sanzò,
Livia Soliani

Comitato di redazione

Fatima Alagna, Federico Boccalaro,
Giorgio Cardinali, Francesco Cancellieri,
Valeria De Gennaro, Fabio Garbin, Giacchino Lena,
Maurizio Scardella, Andrea Vitturi

Direttore responsabile

Giuseppe Gisotti

Procedura per l'accettazione degli articoli

I lavori sottomessi alla rivista dell'Associazione, dopo che sia stata verificata la loro pertinenza con i temi di interesse della Rivista, saranno sottoposti ad un giudizio di uno o più Referees.

Redazione

SIGEA: tel. 06 5943344
Casella Postale 2449 U.P. Roma 158
info@sigeaweb.it
www.sigeaweb.it

Progetto grafico e impaginazione

Fralerighe
tel. 0774 554497
info@fralerighe.it
www.fralerighe.it

Pubblicità

SIGEA

Stampa

Tipolitografia Acropoli, Alatri - FR

La quota di iscrizione alla SIGEA per il 2017 è di € 30 e da diritto a ricevere la rivista "Geologia dell'Ambiente". Per ulteriori informazioni consulta il sito web all'indirizzo <http://www.sigeaweb.it>

Sommario

Idee per salvare Civita di Bagnoregio FRANCESCO BIGIOTTI	3
Civita di Bagnoregio GAIA PALLOTTINO	4
Civita di Bagnoregio: monito e riflessione per tutti noi GIORGIO CESARI	5
Si può rallentare il degrado del colle di Civita? GIUSEPPE GISOTTI	6
Trent'anni di studi geologici, geomorfologici ed applicativi a Civita di Bagnoregio CLAUDIO MARGOTTINI	15
Lo studio delle serie di vegetazione per ottimizzare la riqualificazione ambientale delle aree calanchive di Civita di Bagnoregio attraverso l'ingegneria naturalistica PAOLO CORNELINI, LEONARDO FILESI	29
Metodologie di studio, criteri di intervento e controllo e tecniche ingegneristiche per la stabilizzazione di placche tufacee applicabili anche al caso di Civita. Il caso di studio di Orvieto CLAUDIO SOCCODATO	36
Il "Museo Geologico e delle Frane" di Civita di Bagnoregio GIOVANNI MARIA DI BUDUO	37
La stabilità degli abitati su placche rigide poggianti su argille plio-pleistoceniche GIUSEPPE SPILOTRO, MARIA DOLORES FIDELIBUS, ROBERTA PELLICANI, ILENIA ARGENTIERO, ALESSANDRO PARISI	43



Comune di Bagnoregio

Idee per salvare Civita di Bagnoregio



Società Italiana di Geologia Ambientale



Autorità di Bacino
del Fiume Tevere



Auditorium comunale "V. Taborra", Piazza Biondini, Bagnoregio (VT)

31 ottobre 2015 ore 15.00-18.30

Programma delle attività

Ore 9.30 – 12.00 Visita guidata da studiosi dell'ISPRA – Servizio Geologico d'Italia (dr. DANIELE SPIZZICHINO e dr. ALESSANDRO TRIGILA) e dell'Università La Sapienza di Roma (prof. RAFFAELLO TRIGILA) ai fenomeni di dissesto del colle di Civita (vedi FIELD TRIP allegato) Punto di partenza – Stop 1: Belvedere di Lubriano, località Vecchio Mulino, lungo la SP 55. Dallo Stop 1 allo Stop 2 (Contrada Mercatello, all'inizio del borgo di Civita) lo spostamento è in auto a carico degli escursionisti. Dallo Stop 2 allo Stop 6 (contrada Carcere, estremità orientale di Civita) il percorso è a piedi. Da qui si raggiunge Il Museo geologico e delle frane di Civita

Ore 12.00 – 13.00 Visita guidata al Museo geologico e delle frane a cura dei geologi del Museo dr. GIOVANNI M. DI BUDUO e dr. LUCA COSTANTINI

Ore 13.00 – 13.30 Trasferimento a Bagnoregio

Ore 13.30 – 15.00 Presso l'Auditorium comunale, dove ci sarà un buffet offerto dal Comune di Bagnoregio

Ore 15.00 Inizio Convegno

Ore 15.00 – 15.30 Registrazione dei partecipanti

Indirizzi di saluto: FRANCESCO BIGIOTTI (Sindaco di Bagnoregio), GAIA PALLOTTINO, GIORGIO CESARI (Segretario Generale della Autorità di Bacino del Tevere, che farà da moderatore degli interventi)

Ore 15.30 – 15.50 GIUSEPPE GISOTTI (SIGEA)

Relazione introduttiva: *Si può rallentare il degrado del colle di civita? Attuare un insieme coordinato di opere di natura ingegneristica e di natura biologica, cercando di imparare dai successi come anche dagli insuccessi*

Ore 15.50 – 16.10 CLAUDIO MARGOTTINI (ISPRA)

Trent'anni di studi geologici, geomorfologici ed applicativi a Civita di Bagnoregio

16.10 – 16.30 LEONARDO FILESI (IUAV Venezia), PAOLO CORNELINI (AIPIN)

Aspetti fitosociologici e sistemazioni idraulico-forestali con tecniche di ingegneria naturalistica per contrastare l'erosione accelerata del bacino calanchivo di Civita

16.30 – 16.50 CLAUDIO SOCCODATO (Associazione Geotecnica Italiana)

Metodologie di studio, criteri di intervento e controllo e tecniche ingegneristiche per la stabilizzazione di placche tufacee applicabili anche al caso di Civita

16.50 – 17.10 GIOVANNI MARIA DI BUDUO

Il Museo Geologico e delle Frane di Civita di Bagnoregio: definizione di un modello di presidio territoriale, analisi dei fenomeni di instabilità e degli interventi nel periodo 2012-2015 e presentazione del Manifesto 'come salvare civita'

17.10 – 17.30 GIUSEPPE SPILOTRO (Università della Basilicata)

Stabilizzazione di placche arenitiche soprastanti terreni argillosi. Casi di studio di alcuni centri della Basilicata

17.30 – 17.50 PAOLO FACCIO (Università IUAV Venezia)

Trasformazioni architettoniche ed urbane di civita di bagnoregio: ipotesi di definizione di una matrice di vulnerabilità speditiva

17.50 – 18.20 Dibattito aperto al pubblico

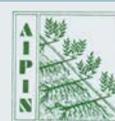
18.20 – 18.30 **Mozione** indirizzata al Governo nazionale e alla Regione Lazio, con la quale si illustrano i risultati del Convegno scientifico e si chiedono interventi risolutivi per Civita, come è stato fatto per altre città, come Ravenna (subsidenza), Orvieto, Todi ecc.

Per informazioni:

SIGEA: info@sigeaweb.it; www.sigeaweb.it; 06 5943344

Comune di Bagnoregio: 0761 780815

Sono stati richiesti i crediti APC al Consiglio Nazionale dei Geologi.



Idee per salvare Civita di Bagnoregio

FRANCESCO BIGIOTTI
Sindaco di Bagnoregio

3

L'importante evento di oggi rappresenta una tappa fondamentale del lungo percorso su cui questa amministrazione si sta fortemente impegnando per garantire la salvaguardia di uno dei più suggestivi luoghi d'Italia e direi del mondo intero. Come sapete Civita di Bagnoregio è caratterizzata da peculiari aspetti geologici che ne fanno un borgo unico e incantevole ma che al tempo stesso ne minano da secoli la sopravvivenza, col verificarsi di processi di instabilità e fenomeni franosi spesso complessi e molto estesi.

La salvaguardia di Civita è una sfida per il futuro che stiamo affrontando anche e soprattutto grazie ad una importante rete interistituzionale: oltre ai costosi interventi di stabilizzazione garantiti da Stato e Regione Lazio, il Comune di Bagnoregio vuole promuovere una strategia di prevenzione per

il salvataggio del borgo contro l'aggravarsi e l'estendersi dei fenomeni franosi in atto, che si concretizzi in una progettazione degli interventi adeguata alla rapida e complessa dinamica del territorio.

Per questo siamo qui oggi: innanzitutto per fare insieme agli esperti il punto della situazione su questi 30 anni di studi e lavori fatti a Civita, sulla base dei quali, considerandone le caratteristiche e gli effetti più o meno risolutivi, formulare un efficiente piano tecnico di messa in sicurezza da realizzarsi nei tempi adeguati.

Un ringraziamento sentito quindi alla SIGEA, Società Italiana di Geologia Ambientale, in particolare al suo presidente Giuseppe Giosotti, che ha organizzato questo evento insieme al Comune, al nostro "Museo geologico e delle frane" di Civita e a Gaia Pallottino. Il nostro ringraziamento va anche in particolare

ad istituzioni, enti e ordini professionali che, sensibili alle problematiche del borgo, hanno offerto la loro collaborazione e il patrocinio: ringrazio quindi il Ministero dell'Ambiente, l'ISPRA, "Italia Sicura", l'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, l'Ordine dei Geologi del Lazio, l'Ordine degli Ingegneri e l'Ordine degli Agronomi e Forestali della Provincia di Viterbo, e le associazioni AGI, AIPIN, e AIAPP.

Sono certo che sia tra i relatori, sia in sala, sono presenti molti esperti che potrebbero partecipare ad un comitato tecnico-scientifico permanente che si occupi di programmare un piano di monitoraggio, di raccogliere ed elaborare i dati strumentali e dei lavori svolti, e definire così il programma e il progetto degli interventi di stabilizzazione e di prevenzione da realizzare ogni anno. Faccio quindi i miei migliori auguri per un proficuo svolgimento dei lavori di questo importante convegno. Grazie a tutti.



Mi fa molto piacere che, dopo tanti anni, si torni a parlare dei problemi di Civita di Bagnoregio, della sua stabilità e fragilità e degli interventi più opportuni da realizzare perché questo piccolo miracolo della natura e dell'uomo possa durare il più possibile nel tempo.

Io frequento Civita dagli inizi degli anni Settanta e di interventi inutili e dannosi, alcuni rimasti incompiuti, alcuni mai affrontati seriamente, ne ho visti tanti e devo dire che il paese e i suoi immediati dintorni hanno resistito fin troppo bene.

Tra i tanti uno degli ultimi interventi, quello dovuto all'ampliamento verso sud del parcheggio sotto il ponte, ha reso necessario il contenimento dell'aumentata pendenza su quel versante. Purtroppo, visti i risultati poco efficaci, è stato necessario ripetere l'intervento più volte rappresentando uno spreco di risorse agli occhi di chi lo ha osservato nel tempo.

Dal punto di vista del dissesto tra l'altro piccole frane continuano a verificarsi intorno alla rupe, senza che siano previsti interventi organici. In particolare lo smottamento avvenuto nell'estate del 2015 sul versante sud, presso l'antica casa di San Bonaventura, che

potrebbe essere motivata da un eccessivo innaffiamento dei giardini sovrastanti.

Non c'è dubbio tuttavia che in questo momento la minaccia più grave è quella dei crolli ai margini della strada di accesso al ponte, in località Mercatello, per la quale la Regione Lazio ha stanziato dei fondi.

Elemento di ottimismo, in questa situazione nel complesso abbastanza difficile, è la presenza a Civita di un piccolo presidio di geologi, che gestiscono un interessantissimo Museo Geologico e delle Frane (ideato da Claudio Margottini), la cui visita dovrebbe essere obbligatoria per i molti turisti che arrivano a Civita troppo spesso senza rendersi conto di dove si trovano. Giovanni Di Budrio, Luca Costantini, sotto la guida di Tommaso Ponziani, oltre a gestire il prezioso museo, lavorano anche ad un attento monitoraggio della rupe e dei suoi dintorni, in stretto contatto con i residenti e ragionando su come intervenire nelle situazioni più scottanti e sulla necessaria prevenzione.

Civita dagli anni Settanta è enormemente cambiata, quasi tutte le case sono state acquistate e ristrutturate, molti esercizi commerciali sono stati aperti e la fama di

questo paese da fiaba è aumentata progressivamente nel tempo, attirando una serie di manifestazioni più o meno interessanti e moltissimi visitatori, tanto che l'Amministrazione comunale ha deciso di far pagare un biglietto di ingresso di un euro e mezzo a persona.

L'aumento dei visitatori negli ultimi due anni è stato tale, da porre, a mio avviso e ad avviso di molti, seri problemi di tutela dell'ambiente e di offerta di adeguati servizi ai visitatori stessi. Ritengo che bisognerebbe iniziare a pensare seriamente a come controllare e contenere un flusso di arrivi che può superare in giorni particolari le ottomila-novemila presenze al giorno. Penso per esempio a possibili accordi con le agenzie turistiche per indirizzare i flussi, per cominciare, arrivando probabilmente alla prenotazione obbligatoria, soprattutto nei giorni più popolari come le feste di Natale, Pasqua, 25 aprile e 1 maggio e in alcuni giorni di estate.

Superare l'attuale situazione di caos, che genera sempre maggiore degrado nel piccolo borgo, è indispensabile, tra l'altro in vista dalla recente candidatura di Civita di Bagnoregio a diventare Patrimonio dell'Umanità dell'Unesco.



Civita di Bagnoregio: monito e riflessione per tutti noi

GIORGIO CESARI
Segretario Generale dell'Autorità di Bacino
del Tevere

Civita di Bagnoregio, nell'alto Lazio, le cui origini datano dal periodo etrusco, è uno dei tanti borghi italiani in pericolo di scomparsa: città appunto etrusca, poi insediamento medievale, con una popolazione odierna di poche persone, che vivono in mezzo a strade di pietra secolari in case arroccate in cima a una scogliera tufacea a picco su profondi burroni, raggiungibile solo per mezzo di un ponte costruito nel 1965 in sostituzione del precedente distrutto durante la seconda guerra mondiale. La città era abbandonata a seguito del sisma del 1695 con l'apertura di molte crepe nel terreno, il crollo del ponte che univa i due abitati e il franamento di una parte della rupe, con

conseguente spostamento della popolazione nella vicina Bagnoregio (che anticamente si chiamava Rota).

Più in generale Civita non è un caso unico perché fa parte dei così detti villaggi d'Italia "fantasma", che gli abitanti hanno costantemente e progressivamente abbandonato nel corso dei secoli, per penuria di risorse, o a seguito di terremoti e inondazioni o, ancora più frequentemente per emigrazione in centri più grandi e vallivi o all'estero. Parti del Bel Paese la cui scomparsa comporta la perdita non solo di pezzi degli eventi italiani, ma anche di importanti ricchezze turistiche e urbanistiche.

Ciò che, infatti, ha motivato la presenza di tanti insediamenti storici che costellano le pendici delle nostre montagne e colline è il risultato di un processo innescatosi nell'alto Medioevo e sostanzialmente completatosi verso la fine del XV secolo, con la distribuzione della popolazione, generalmente rurale, che, per sfuggire alle febbri malariche delle pianure o alle invasioni, colonizzò una molteplicità di piccoli nuclei sparsi, a mezza costa o su crinali, ove l'esposizione e la morfologia del terreno presentavano le caratteristiche più favorevoli all'insediamento umano e alle attività agresti.

Molte comunità, che si svilupparono nel territorio dell'Italia Centrale, avevano, infatti, una natura essenzialmente agricola che determinò uno sviluppo spontaneo degli insediamenti la cui maggior parte, priva di particolari esigenze strategiche e urbanistiche,

crebbe in diretta continuità con l'ambiente circostante, dando origine a forme irregolari o comunque aperte verso il territorio, spesso con un andamento lineare, lungo i sentieri.

Civita, invece, appartiene a quella sfera di centri abitati che si svilupparono in posizione elevata, dando luogo a insediamenti importanti, ricchi di emergenze storiche, artistiche e culturali, anche se nel tempo hanno dovuto, inermi, assistere alla progressiva erosione dei basamenti sui quali erano fondati. Per questi insediamenti, e così per Civita, ciò che oggi rimane è quindi il frutto dell'inesorabile macchina del tempo, contro il quale hanno però voluto reagire tanti soggetti pubblici e privati, preservando un nucleo straordinariamente bello e attrattivo per il turismo, che, sapientemente restaurato e strutturalmente salvaguardato, è in grado di catapultare nel passato i visitatori che amano disperdersi fra le tipiche basse case medioevali.

Personaggio illustre di Civita Bagnoregio è stato San Bonaventura, al mondo Giovanni di Fidanza, che vi nacque a nel 1217. Deve il nome con cui è noto a San Francesco, che, visitandolo mentre, in età infantile, era affetto da morbo che lo avrebbe potuto condurre a

morire, secondo la tradizione, con un segno di Croce, pronunciò le parole: "Bona ventura".

Ma pure San Bonaventura, come tanti concittadini del suo tempo che volevano allargare l'orizzonte della propria vita, al pari però di molti altri abitanti in periodi più recenti per ragioni di sicurezza, abbandonò il borgo natale per entrare nell'ordine francescano e compiere gli studi a Parigi. Di lui però resta una traccia indelebile, rinvenibile a un occhio attento lungo le strette stradine di Civita. Come eredità della cultura medievale, che non separava il naturale dal soprannaturale, San Bonaventura annunciava che Dio è "l'essere assoluto, eterno, provvidente e... illuminante perché la vita, la sapienza, la bontà di Dio sono la luce stessa di Dio impressa nelle cose al momento della creazione".

Quella luce che ha continuato a brillare negli ultimi secoli fra le tenebre di un borgo in via di abbandono, ma che è tornata a risplendere sul rifiorito abitato di Civita, a riflessione e monito per tutti noi dell'importanza non solo della preservazione di una realtà il cui splendore appartiene a un tempo lontano, ma soprattutto del convinto e sentito impegno a conservare una parte della nostra Storia.



Si può rallentare il degrado del colle di Civita di Bagnoregio con opere ingegneristiche e biologiche, tenendo conto dei successi e insuccessi del passato?

GIUSEPPE GISOTTI
Presidente onorario SIGEA
E-mail: giuseppe.gisotti@alice.it

It is possible to lessen the degradation of Civita di Bagnoregio cliff by engineering and biological works, holding in due consideration successes and failures?

Parole chiave (*key words*): Civita di Bagnoregio, rupe (*cliff*), struttura tabulare (*mesa*), calanchi (*bad lands*), tufo vulcanico (*volcanic tuff*), ignimbrite, argille (*clays*), frana (*landslide*), terremoto (*earthquake*), paesaggio geologico (*geological landscape*), patrimonio geologico (*geological heritage*), insediamento d'altura (*height settlement*), Etruschi (*Etruscans*)

1. INTRODUZIONE

L'argomento che si affronta in questo lavoro si può inquadrare tra le risorse fisiche del pianeta Terra e in particolare tra quelle culturali. Parliamo del borgo di Civita, collegato con Bagnoregio da una stretta sella. Civita, con il colle sul quale giace, e la Valle

dei Calanchi, costituiscono un paesaggio naturale, geologico, ma anche antropico, quindi un paesaggio culturale (Fig. 1).

Civita di Bagnoregio e il territorio circostante, noto come Valle dei Calanchi, rappresentano un'area d'interesse culturale e paesaggistico straordinariamente rilevante

da valorizzare e salvaguardare, con caratteri che la rendono quasi unica a livello nazionale e internazionale (Fig. 2).

Tali caratteristiche riguardano:

- gli aspetti paesaggistici, ossia la scoscesa rupe tufacea su cui giace l'antichissimo abitato, di origine etrusca, circondata da calanchi, aspetto questo che la fece scegliere, fin dai tempi della sua fondazione, proprio per la quasi inaccessibilità del sito, distinguendosi come "insediamento d'altura" e probabilmente per la sua "posizione etrusca", ossia colle isolato da processi fluviali e collegato all'entroterra mediante una striscia di terra, in modo da essere facilmente difendibile (Gisotti, 2011); un esempio di "posizione etrusca" è quello relativo a Vasanello, altro abitato della Toscana;
- gli aspetti storici e archeologici: Civita di Bagnoregio è una cittadina di origine etrusca, diventò quindi municipio romano. Il *decumanus*, come principale asse viario urbano, che attraversa il rilievo in senso longitudinale, persistette durante il Medio Evo e il Rinascimento, fino all'epoca attuale. In epoca pre-romana tale asse viario costituiva molto probabilmente un segmento di una antica strada che univa la valle del Tevere col bacino del lago di Bolsena: si suppone che Civita di Bagnoregio avesse la funzione di collegamento fra il Tevere e il lago di Bolsena e che il percorso proseguisse verso il bacino del Fiume Fiora. Sembra evidente che Civita di Bagnoregio si trovasse lungo un "percorso di crinale", orientato da NE a SW; la "Via Cava", che si trova all'estremità NE

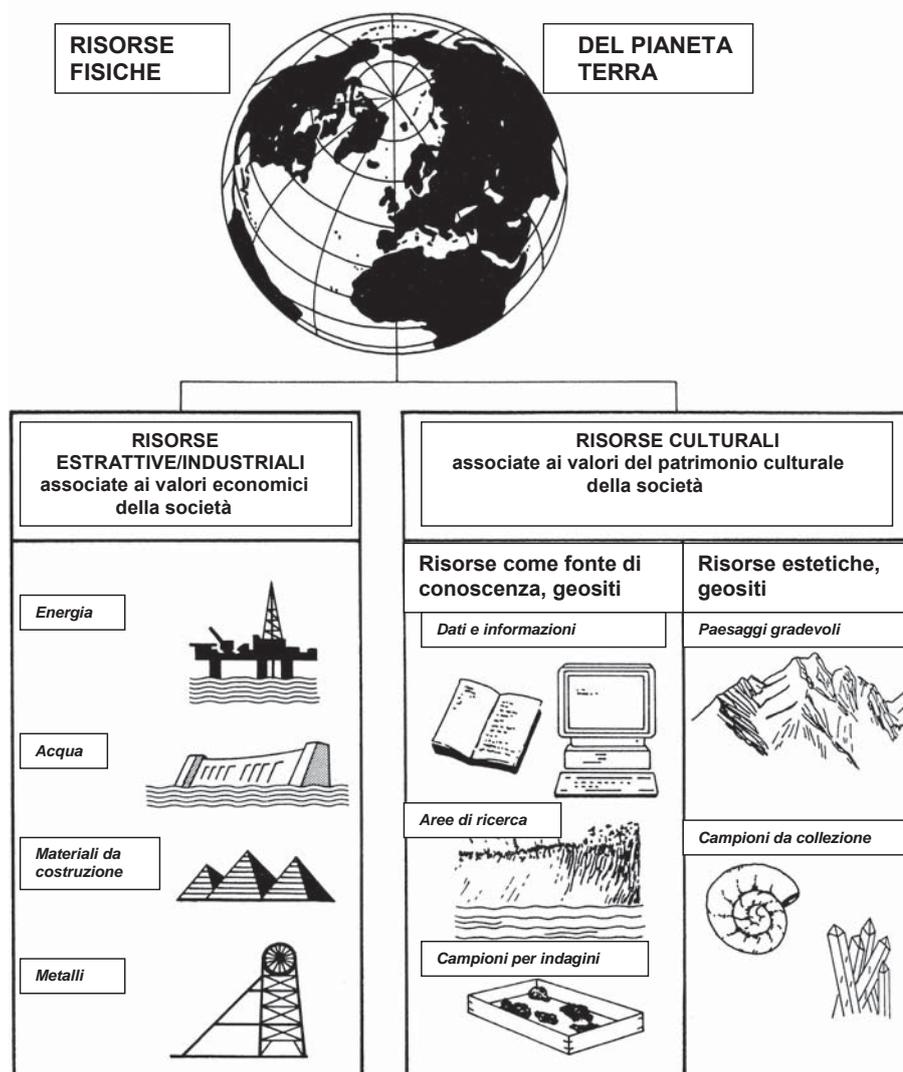


Figura 1 – Il colle di Civita di Bagnoregio, fa parte delle risorse fisiche del pianeta Terra, rientra nella categoria "patrimonio geologico" (*geological heritage*). Fortemente antropizzato in epoca etrusca, romana e medioevale, entra a far parte a pieno titolo dei paesaggi culturali

Il territorio di Bagnoregio è caratterizzato da un substrato costituito da argille sabbiose di origine marina del Pleistocene inferiore, ricoperte dai depositi vulcanici del Distretto Vulsino; questi ultimi sono costituiti dalla ignimbrite di Orvieto-Bagnoregio, emessa circa tra 294 e 333 mila anni fa dal complesso vulcanico Bolsena – Orvieto [Tuberville, 1992; Nappi *et al.* (1995)] e da tufi stratificati. Si tratta di pendii costituiti da un potente banco di roccia rigida sovrastante un substrato sedimentario tendenzialmente plastico; la parte alta, vulcanica, del versante è subverticale e si raccorda con il sottostante tratto, inciso in litotipi argilloso-sabbiosi, attraverso una fascia più o meno continua di detrito di falda o accumulo di frana. La formazione di base e la copertura eluvio-colluviale, sono aggredite da erosione superficiale accelerata e da fenomeni franosi, tipo colamenti, scorrimenti rotazionali, crolli e ribaltamenti nelle pareti rocciose sovrastanti; questi ultimi si impostano principalmente in corrispondenza di sistemi di fratture e producono l'arretramento parallelo delle pareti tufacee (Delmonaco *et al.*, 2009).

Dal punto di vista geomorfologico si tratta di una *mesa* ossia di una *struttura tabulare*: in realtà gli strati tufacei non sono orizzontali ma leggermente inclinati. Tale struttura è caratterizzata da una piastra rigida tufacea sub-orizzontale sopra un substrato plastico e molto erodibile, per cui i fenomeni atmosferici, i sismi, le azioni antropiche tendono da una parte a rendere sempre più fragile la rupe e dall'altra ad asportare il supporto argilloso, creando i presupposti delle citate frane, innescate per mancanza di contrasto al piede del versante (Fig. 3).

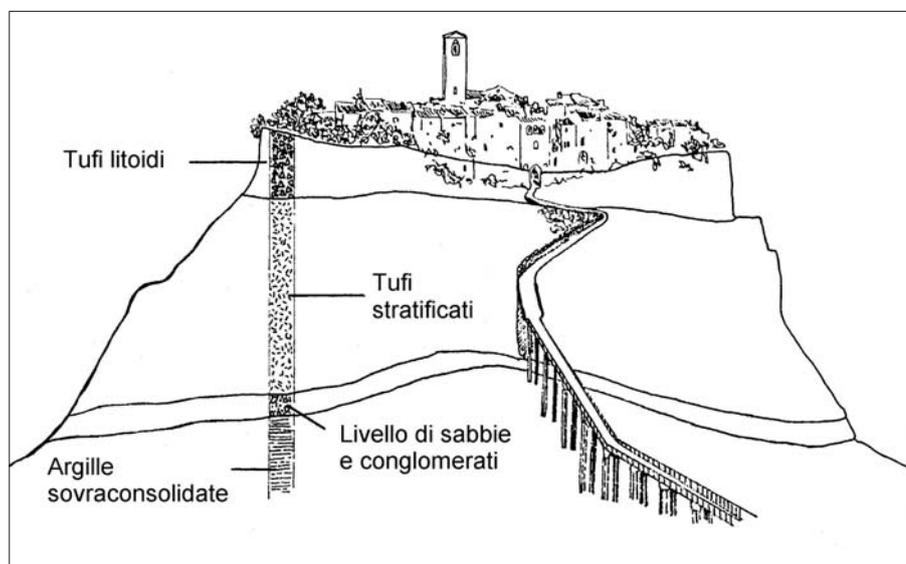


Figura 2 – Il colle di Civita di Bagnoregio, la “città che muore”, interessato da intensi processi erosivi e gravitativi (frane di crollo e di ribaltamento). La sezione geologica semplificata mostra: la coltre vulcanica, composta a sua volta nella parte superiore da tufi litoidi (ignimbrite tefritico-fonolitica) e nella parte inferiore da tufi stratificati (tufi basali) e le sottostanti formazioni sedimentarie (Fonte: Margottini, Serafini, 1990)

dell'abitato, è una dimostrazione dell'origine etrusca di Civita e che tale via costituiva un tratto del citato percorso;

- la struttura urbanistica e architettonica dell'abitato, rimasta pressoché invariata nei secoli; inoltre gli edifici di Civita sono stati costruiti utilizzando la roccia in posto, ossia i tufi vulcanici, e questo contribuisce a creare lo stretto legame paesaggistico fra l'artificiale e il contesto naturale che lo circonda (come ad esempio Assisi);
- la varietà, la rapidità, e l'elevata diffusione dei fenomeni di instabilità dei versanti, una specie di museo all'aperto di vari processi geomorfologici, in particolare relativi al dissesto idrogeologico;
- la possibilità di ricostruire con rara precisione il susseguirsi – nel corso degli ultimi 300 anni – delle modificazioni indotte sul nucleo urbano e sulle infrastrutture dalla evoluzione geomorfologica; ad esempio, tale evoluzione è evidente lungo la sella morfologica di accesso a Civita, che dal 1764 ad oggi ha subito un abbassamento di circa 40 metri;
- l'elevato valore vegetazionale e faunistico della valle dei Calanchi.

Per tutti questi caratteri, l'area di Civita costituisce un vero *museo all'aperto* dei vari aspetti sopra citati, tanto è vero che è oggetto di studio da parte di specialisti di varie discipline.

2. CONTESTO GEOLOGICO DEL BACINO IDROGRAFICO DI CIVITA DI BAGNOREGIO

Senza stare a descrivere gli aspetti della geologia di Civita di Bagnoregio e le varie tipologie dei dissesti che hanno colpito l'abitato, per cui si rimanda agli altri Relatori di questo Convegno e agli Autori citati in bi-

bliografia, in questa memoria si vuole cercare di descrivere l'evoluzione geologica dell'area di Civita in un contesto spazio-temporale più ampio, nel tentativo di spiegare la peculiarità del sito di Civita (se esiste) che illustri gli intensi processi erosivi dai quali è minacciata (compresa la cosiddetta tropicalizzazione delle precipitazioni). Va da sé che il cambiamento climatico attuale, caratterizzato, rispetto al passato recente, da manifestazioni pluviometriche concentrate nello spazio e nel tempo, essendo un fattore comune alle varie realtà italiane, non viene preso in considerazione per spiegare la peculiarità del sito, pur non potendosi ignorare che i terreni argillosi del basamento sono particolarmente vulnerabili al fattore “precipitazioni”.



Figura 3 – Una recente frana di crollo che investe la piastra rigida vulcanica lungo il bordo settentrionale del colle di Civita; alla base del versante è l'incisione valliva del Fosso Lubriano. Sullo sfondo l'abitato di Lubriano, sul versante sinistro dell'omonimo Fosso (Foto Gisotti, del 24.05.2015)

CARATTERI GEOLOGICO-TECNICI

Nella placca di depositi vulcanici, l'ignimbrite è un flusso piroclastico, con fessure dovute a contrazione da raffreddamento, mentre i sottostanti tufi stratificati sono essenzialmente depositi di ricaduta, quindi ricchi di giunti di stratificazione. Questa piastra rigida poggia su un substrato di rocce argillose, plastiche. Su questi materiali hanno agito gli agenti atmosferici e in particolare le acque meteoriche, i terremoti, l'attività antropica (scarico di acque bianche e nere, vibrazioni dovute al calpestio, ai lavori di costruzione e manutenzione del tessuto edilizio, ecc.), ampliandovi le fessure. Queste sono interessate da una significativa percolazione, per cui le acque pluviali e quelle di origine antropica giungono fino alle argille, onde in queste si verificano imbibizione e dispersione. Al contatto fra la piastra e i sottostanti materiali plastici si verifica il rammollimento (*softening*) delle argille, ossia la disgregazione della loro struttura con conseguente riduzione della resistenza al taglio. Oltre al *softening* esiste anche il problema del rigonfiamento (*swelling*) delle argille fino a diversi metri di profondità: sotto la coltre superficiale di degradazione, le argille sono abbastanza consistenti ma hanno un reticolo di fratture dovute alla tendenza a rigonfiare causata dal succedersi dei cicli di carico (deposizione) e scarico (erosione). Essendo oggi soggette ad un carico litostatico molto minore, tendono a rigonfiare. La presenza di superfici "deboli" in profondità può portare all'innesco di fenomeni franosi molto più profondi rispetto alle frane per colamento.

In sintesi, la rupe tufacea è sottoposta a processi di "scarico tensionale" (*stress release*) in corrispondenza del margine della rupe, e di "detensionamento d'insieme" (*stress relief*) in quanto sovrapposta a un substrato più deformabile: questi fenomeni vengono illustrati più avanti.

NEOTETTONICA

Secondo vari Autori, si assiste ad un sollevamento tettonico dell'Appennino, anche se irregolare da area ad area; ad esempio sono presenti basculamenti. Si suppone che anche l'area in esame sia soggetta a tali fenomeni, come è anche attestato dalla intensa attività sismica.

TERREMOTI

Il Comune di Bagnoregio è classificato in Zona Sismica 2B, che è definita come "zona con pericolosità sismica *media* dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti". A livello nazionale i 4 gradi sono: alto, medio, basso, molto basso.

Il centro sismico di Bagnoregio è il più importante del Lazio settentrionale, in quanto a

esso è associato l'evento storico più gravoso; infatti l'11 giugno 1695 un fortissimo terremoto, con epicentro Bagnoregio, IX - X grado della scala MCS Mercalli Cancani Sieberg, provocò numerosi crolli e danni gravissimi agli abitati di Bagnoregio e Civita; in particolare provocò il crollo del ponte che univa i due abitati e il franamento di una parte della rupe di Civita in prossimità della contrada Carcere, alla estremità NE dell'abitato. Ebbero a lamentarsi tra Bagnoregio e Civita 37 morti e 61 feriti.

Nella Fig. 4 vengono presentati in A) alcuni dati sul terremoto del 1903 che colpì l'area di Bagnoregio e in B) la carta della massima intensità sismica storica nel Lazio settentrionale dall'anno 1000 a 1980. Risulta che l'area di Bagnoregio, fra il 1000 e il 1980, è quella che ha subito i terremoti più intensi nella Tuscia.

La sismicità storica dell'area di Bagnoregio risulta essere essenzialmente dovuta a terremoti locali, caratterizzati da media frequenza di comparsa ed intensità massima piuttosto elevata (IX-X grado MCS) tale da produrre rotture del terreno e frane alla rupe (Margottini, Molin, 1990).

Rispetto a centri abitati con caratteristiche geomorfologiche e simili criticità di dissesto, sempre della Tuscia, quali Bomarzo, Chia, Bassano in Teverina, Orte, l'area Bagnoregio-Civita è contraddistinta da una maggiore intensità sismica.

IDROGRAFIA E IDROLOGIA

Il reticolo idrografico è caratterizzato da due valli principali, corrispondenti al Rio Torbido a sud del colle e al Fosso di Lubriano a nord, che circondano in parte la rupe: il Fosso

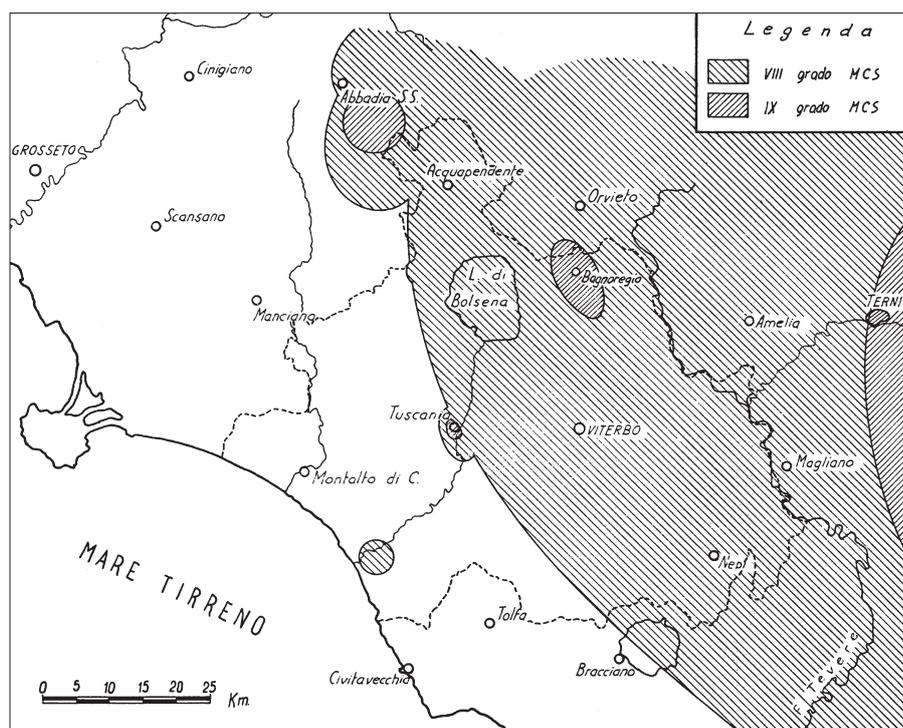
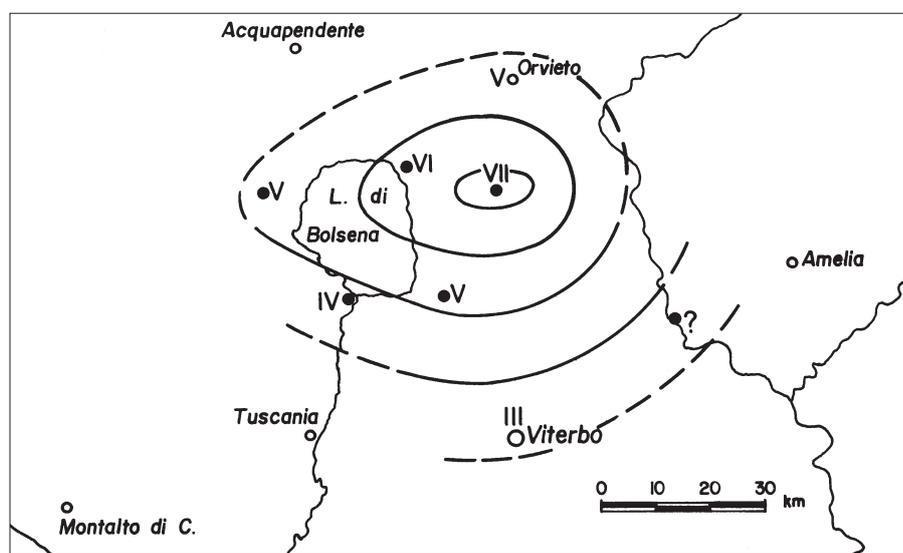


Figura 4 – Mappa superiore A): Carta delle isosisme del terremoto del 21 Giugno 1903 a Bagnoregio. Mappa inferiore B): Massima intensità sismica storica nel Lazio settentrionale dall'anno 1000 al 1980. (Fonte: Margottini, Molin, 1990)

di Lubriano confluisce poi nel Torbido, affluente di destra del Fiume Tevere, che rappresenta il livello di base dell'erosione dei due corsi d'acqua. Questi si sviluppano tendenzialmente in direzione ovest-est, verso il Fiume Tevere e presentano marcate differenze nell'altimetria dei profili longitudinali (Fig. 5): mentre nel

ATTIVITÀ ANTROPICA E VETUSTÀ DELLE COSTRUZIONI E DELLA STRUTTURA URBANISTICA.

La recente attività antropica costituisce aspetti di criticità per questo particolare sito: ad esempio la perdita di acque bianche e nere (che hanno contribuito a peggiorare le caratteristiche geomeccaniche delle vulcaniti

canica; a questi aspetti che rappresentano la "pericolosità", si deve aggiungere la vetustà delle costruzioni e della struttura urbanistica dell'abitato, fattore che costituisce la "vulnerabilità" nell'analisi di rischio, per cui il rischio è diventato elevato.

INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE DELLA PIASTRA TUFACEA E DI CONTROLLO DELL'EROSIONE DEI VERSANTI ARGILLOSI, CON RISULTATI CONTRASTANTI

Nell'arco di venticinque secoli il paesaggio locale non è cambiato nelle sue grandi linee: sappiamo che gli Etruschi avviarono opere di canalizzazione delle acque piovane e di contenimento della erosione torrentizia, opere che furono riprese dai Romani (Margottini, 1988). In tempi recenti-attuali, se in qualche caso gli interventi di consolidamento hanno raggiunto lo scopo, in qualche altro caso essi appaiono non aver raggiunto risultati soddisfacenti e duraturi. Ad esempio i pozzi con tiranti realizzati nella zona di Casa Greco per il consolidamento del lato nord della rupe (verso Lubriano), sembra abbiano raggiunto lo scopo; di contro, l'intervento sul pendio sottostante il rione di Mercatello, sempre sul versante nord, dopo alcuni anni è in fase di smantellamento (osservazioni del 2015) a seguito della ripresa dei processi erosivi (Costantini *et al.*, 2015) (Fig. 6).

Inoltre, si ha notizia che nel periodo 1948-1957 sono stati effettuati rimboschimenti che hanno interessato estese porzioni del colle di Civita: non sembra che essi abbiano prodotto gli effetti sperati, forse a causa di una non perfetta conoscenza della fenomenologia erosiva.

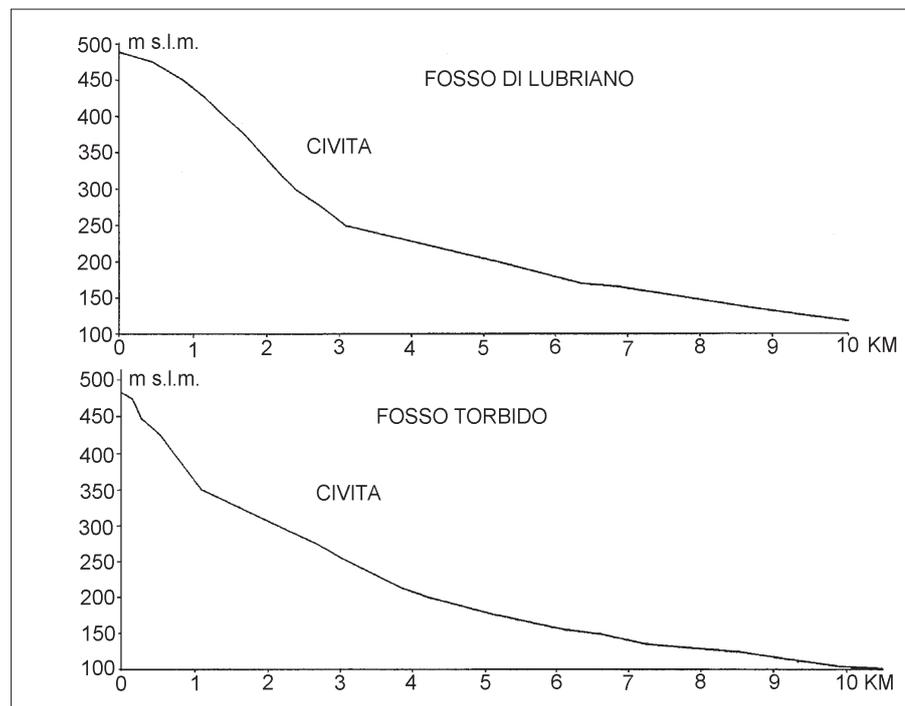


Figura 5 – Profili longitudinali del Fosso di Lubriano e del Fosso Torbido (Fonte: Margottini, Savarese, 1992)

loro tratto inferiore (al di sotto di quota 175 – 200 m s.l.m.) i due profili hanno andamento simile, nella parte superiore il profilo del Rio Torbido si presenta notevolmente più ripido di quello del Fosso di Lubriano. Ambedue i profili presentano sensibili discontinuità non direttamente connesse a fatti litologici, ma imputabili, oltre che alle interazioni con gli affluenti, ai movimenti franosi, i cui accumuli sui fondovalle non sono stati ancora rimossi completamente dalla corrente.

Si nota che la parte alta dell'alveo del Fosso di Lubriano presenta una debole pendenza longitudinale rispetto a quella del Torbido: questo aspetto geomorfologico può essere messo in relazione con il fatto che, in questi ultimi anni, la parte alta del bacino idrografico del Fosso di Lubriano ha dimostrato un tasso di rivegetazione spontanea relativamente più elevato rispetto ad altre parti dei due bacini idrografici.

I due fossi presentano differenze sensibili anche nelle caratteristiche dei rispettivi bacini: più largo e tendenzialmente asimmetrico quello del Rio Torbido (versante sinistro più sviluppato di quello destro), più stretto e mediamente simmetrico quello del Fosso di Lubriano.

Inoltre, va notata l'elevata *energia del rilievo* dell'area in esame, dimostrata dall'acclività dei fossi Lubriano e Torbido; di questo aspetto si accenna più avanti.

e delle argille), le vibrazioni artificiali, fenomeni incrementati negli ultimi anni dovuti all'incremento del turismo di massa, hanno contribuito a render sempre più vulnerabile il sito sotto l'aspetto della stabilità geomec-



Figura 6 – Scarpata su lato nord della frazione Mercatello (versante destro del Fosso Lubriano), soggetta da tempo ad erosione accelerata e a frane. In alto la rupe tufacea e in basso le argille. Per sostenere il sistema scarpata-strada-edifici furono realizzati una soletta di calcestruzzo armato e tiranti con reti contenitive sulla scarpata tufacea, un sistema di 5 palificate nelle argille, nel periodo 2013-2014. Nell'immagine si nota come la soletta è semidemolita, la scarpata tufacea è colpita da dissesti e la palificata è in parte scalzata (Fonte: G. Gisotti, 2015)

Più in generale, nel corso del tempo numerose sono state le opere "a carattere preventivo" aventi l'intento di preservare la rupe dal degrado: briglie di fondovalle, consolidamenti elettromotivi, opere di regimentazione delle acque piovane. Tutte queste opere non hanno mai seguito un piano organico di bonifica integrale (Margottini, 1988). Inoltre non hanno beneficiato di un programma di monitoraggio e manutenzione che avrebbe permesso loro di mantenere a lungo intatta l'efficacia.

3. I FATTORI DI SQUILIBRIO DEL SISTEMA PIASTRA TUFACEA-SUBSTRATO PLASTICO

I citati fattori hanno svolto un'azione sinergica favorevole al dissesto idrogeologico; essi sono la litologia e la geomorfologia, i caratteri geologico-tecnici e quindi l'intrinseca erodibilità e fragilità delle rocce, il contrasto di rigidità e di permeabilità tra le argille e i tufi soprastanti, la neotettonica e i terremoti, l'attività erosiva dei torrenti che circondano la rupe, la quale tende a render sempre acclivi, e quindi instabili, le scarpate dei versanti (per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, va ricordata la grande frana di Lubriano del 1114, per cui il corso del torrente sottostante l'abitato fu spostato verso il colle di Civita, con ciò accentuando la pendenza e quindi i processi erosivi del versante nord di Civita stessa), l'attività antropica-urbanistica, la vetustà delle costruzioni e della struttura urbanistica, gli interventi di stabilizzazione mal riusciti che spesso non hanno tenuto conto dei diversi contesti geologici, idrologici e pedologici.

Però sembra che altri siti in Italia in condizioni geomorfologiche non dissimili da questo (ad esempio Calcata, Civita Castellana), non si presentino in condizioni così disastrose. E' l'unico sito che ha ricevuto l'appellativo di "città che muore", coniato da Bonaventura Tecchi, scrittore di Bagnoregio: *La fiaba del paese che muore, - del paese che sta attaccato alla vita in mezzo a un coro lunare di calanchi silenziosi e splendidi, e ha dietro la catena dei monti azzurri dell'Umbria - durerà ancora* (da "Antica terra").

Con questa nota, che si appoggia alla letteratura esistente, compreso uno studio sul ruolo della vegetazione nel controllo dei dissesti dei terreni argillosi presentato nel 1992 (Gisotti, 1992), oltre che ad osservazioni dirette, si propongono le seguenti osservazioni sulle cause delle manifestazioni dei fenomeni che hanno portato alla attuale situazione, allo scopo di evidenziare possibili soluzioni di consolidamento del colle e dell'abitato di Civita, atte a rallentare il processo di smantellamento di quel paesaggio.

Si osserva che i fenomeni di dissesto dell'area di Civita sono stati oggetto di studio da un punto di vista geomorfologico tradizionale da molti anni, ma le loro relazioni ge-

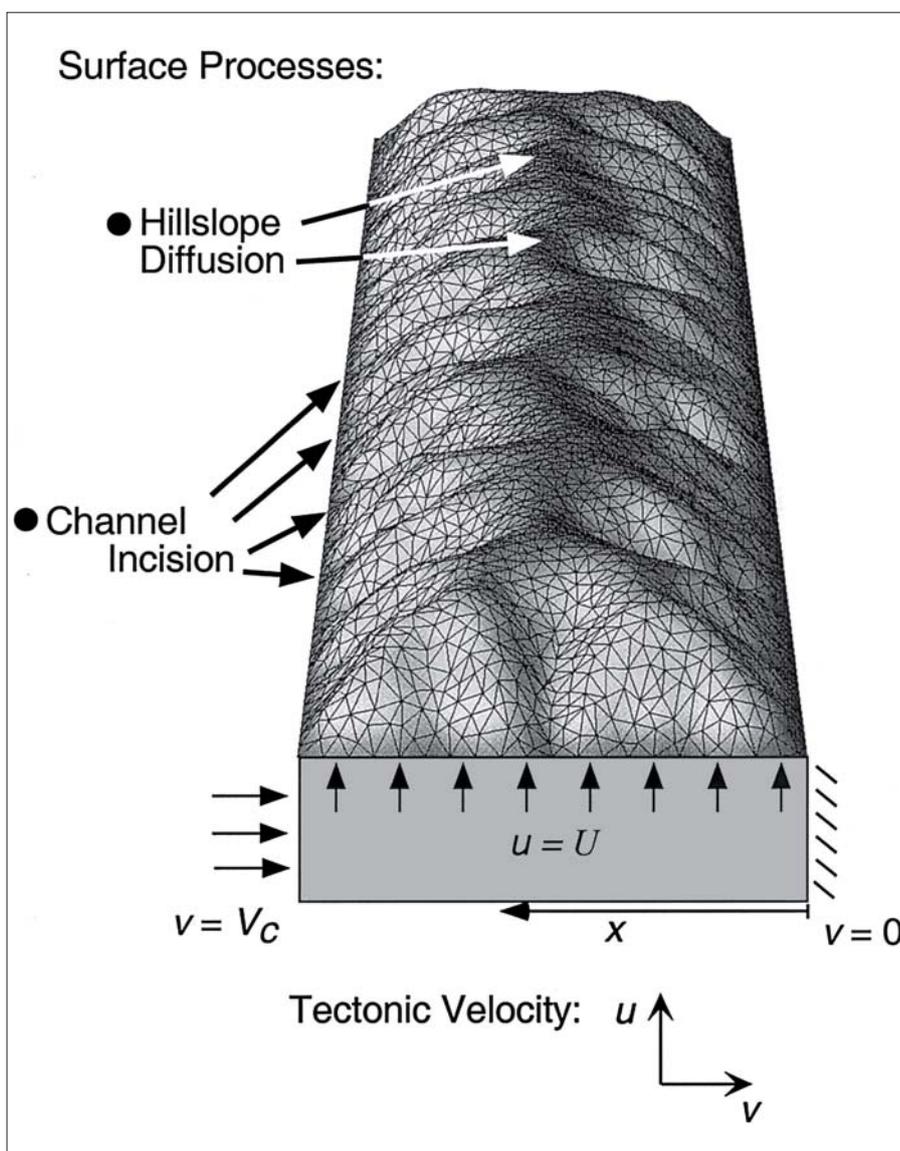
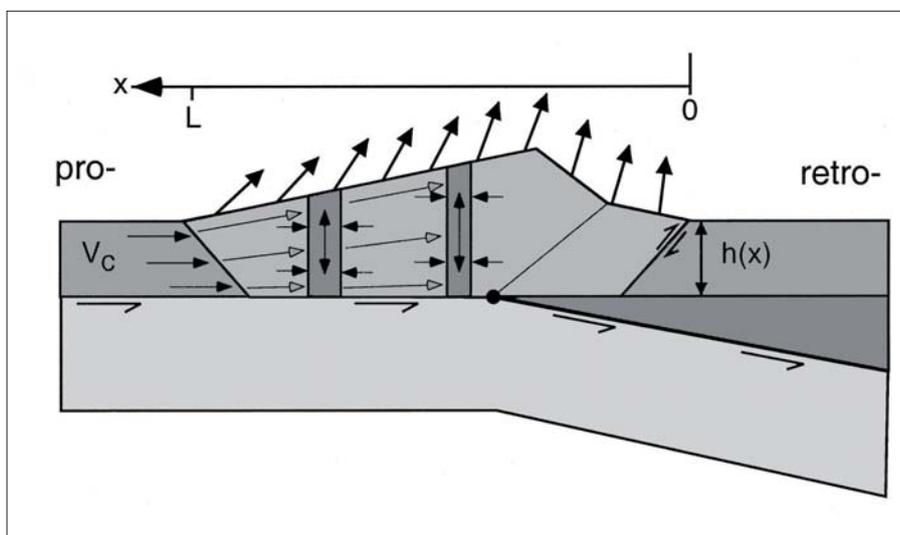


Figura 7 – Nella figura superiore viene rappresentato un settore di crosta terrestre e un raccordo orizzontale negli orogeni convergenti, con il "cuneo di accrezione" dotato di velocità V_c . La componente orizzontale della velocità di superficie aumenta linearmente lungo l'asse x da 0 a L , raggiungendo in L il massimo valore V_c della velocità di convergenza. Si genera un processo di sollevamento tettonico (uplift), controllato dalla velocità di accrezione. Le frecce indicano la direzione e l'intensità delle forze in gioco.

Nella figura inferiore, che si sviluppa in base a quella precedente, vengono evidenziati i processi di superficie e cioè l'area in sollevamento tettonico e i rapporti fra quest'ultimo processo e l'erosione: questa è influenzata da vari fattori, processi fisici e chimici (agenti endogeni ed esogeni, azioni antropiche) ed entità e velocità del sollevamento tettonico. Su tale area si instaurano i processi di erosione sui versanti e di incisione dei canali fluviali, che tendono ad abbassarla. L'erosione, indirizzata dalla gravità, è la risposta inevitabile al sollevamento. La degradazione dell'area si misura mediante il "tasso di erosione". La macromorfologia dei rilievi è fortemente controllata dalla velocità di sollevamento tettonico e dall'entità dell'erosione. V_c = velocità di convergenza; u = componente verticale della velocità di superficie; v = componente orizzontale della velocità di superficie (Fonte: Willet et al., 2001)

netiche con l'attività tettonica (sollevamento tettonico dell'area), i cambiamenti del citato livello di base dell'erosione, i mutamenti climatici e le condizioni di alterazione delle rocce del substrato non sono state ancora sufficientemente investigate, se si consultano esperienze in altri contesti geomorfologici italiani (Bartolini, 2003; Di Leo *et al.*, 2008).

In altre parole il discorso andrebbe allargato allo scopo di studiare i collegamenti e i meccanismi di *feedback* tra clima, tettonica e topografia (erosione); infatti nella ricostruzione della storia morfologica di questa parte dell'Italia centrale, le relazioni tra sollevamento tettonico del rilievo, suo smantellamento e contesto morfoclimatico risultano ancora poco conosciute, al contrario di altri contesti italiani (Beneduce *et al.*, 2008).

Tali studi si esplicano mediante discipline quali la geomorfologia, la tettonica e la pedologia. A proposito di quest'ultima, lo studio dei vari minerali argillosi elaborati durante la pedogenesi può fornire informazioni sulla paleomorfologia delle superfici esposte all'alterazione e sulle condizioni paleoclimatiche, poiché esiste una relazione tra le pendenze locali e il drenaggio e la velocità di alterazione dei minerali.

Va da sé che per intervalli di tempo recenti, tra le tecniche di datazione vanno prese in considerazione quelle che si basano sul radiocarbonio e sulla dendrocronologia.

Si tratta quindi di combinare i metodi delle varie discipline, logicamente avendo a disposizione i rispettivi dati, mediante idonei modelli matematici, da cui estrarre i valori dei parametri che ci permettano di ottenere un quadro dei valori assoluti inerenti l'evoluzione del bacino idrografico in esame, il Rio Torbido (consideriamo questo nella discussione poiché il Fosso di Lubriano è un affluente del Torbido), ma anche di poterli confrontare con analoghi parametri di altri bacini idrografici simili, colpiti dagli stessi problemi, per cercare di valutare/prevedere nei tempi medi e lunghi l'evoluzione dei processi di erosione del sito di Civita.

A proposito della scarsità degli studi citati nel contesto geografico in esame, che dovrebbero invece essere sviluppati, si accenna ad un recente lavoro di Del Monte (Del Monte *et al.*, 2013), che indica come il bacino idrografico del Rio Torbido è soggetto ad un'intensa dinamica morfologica, con valori di erosione molto elevati (fino a 10 cm/anno nelle situazioni più critiche): il tasso di denudazione medio è di circa 0,4 mm/anno, cioè 2-3 volte superiore a quello degli ultimi 300 mila anni, ricavato con metodi di stima del volume asportato.

Per quanto riguarda il sollevamento tettonico (*uplift*), mancano dati inerenti quest'area, mentre numerosi sono i lavori che riguardano l'intero Appennino, o l'Appennino centrale. In uno studio a cura di Ascione (Ascione *et al.*, 2008) sull'*uplift* Plio-Quater-

nario della catena appenninica, il suo valore viene valutato in 2,2 mm/anno nella fascia assiale dell'Appennino centrale.

Allo scopo di affrontare l'argomento col confronto di altre realtà, si accenna ad alcuni casi di studio che presentano somiglianze col nostro, ma si vuole premettere un accenno al rapporto teorico fra erosione e sollevamento tettonico, secondo Willet (Willet *et al.*, 2001) (Fig. 7).

1° CASO DI STUDIO - FIUMARA DI VENOSA (Beneduce *et al.*, 2008)

La comprensione del ruolo esercitato dall'interazione fra tettonica e clima in relazione all'attività erosiva di una catena montuosa è basata sull'acquisizione di informazioni multidisciplinari convergenti in un quadro di analisi geomorfologica "integrata". Nel corso della costruzione di un edificio orogenico, il contesto tettonico determina l'inizio del sollevamento della superficie terrestre: laddove persiste attività tettonica si verifica un continuo ringiovanimento del paesaggio fisico.

La catena appenninica non è ben conosciuta dal punto di vista del rapporto tassi di sollevamento /velocità d'erosione e solo negli ultimi anni comincia a prendere corpo un *data set* a scala regionale dei valori dei tassi per aree sufficientemente omogenee o, quanto meno, una raccolta di dati delle informazioni geomorfologiche e geocronologiche necessarie per il calcolo dei ratei.

Il caso di studio in esame riguarda alcune aree dell'Italia meridionale e in particolare il bacino idrografico della Fiumara di Venosa (Basilicata), nella Fossa Bradanica, costituito in gran parte da sedimenti lacustri pleistocenici. Per questo bacino è stato calcolato un *tasso di erosione* di 0,17 mm/anno (calcolato dai dati del trasporto torbido fluviale ottenuti dall'analisi geomorfologica quantitativa, unitamente alla stima diretta delle volumetrie erose). È stato stimato un *tasso di sollevamento medio* di 0,6 mm/anno per gli ultimi 2 Ma, basandosi su dati di tipo geomorfologico, stratigrafico e strutturale, relativi al Quaternario (ad esempio la Sardegna si solleva a un tasso di 0,01 mm/anno, ma essa viene considerata una delle zone più stabili dell'Italia). Risulta quindi che il valore della velocità dell'erosione fluviale (incanalata) corrisponde a circa un terzo di quella del sollevamento tettonico e che pertanto il sistema risulta in disequilibrio per larga parte del Quaternario. Appare probabile che la maggior parte dei movimenti di versante siano stati attivati sotto tale *condizione di disequilibrio*, determinata dalla sostanziale differenza tra le velocità di sollevamento e di denudamento: in pratica, il dislivello fra l'area in esame e il livello di base dell'erosione aumenta nel tempo, aumenta quindi l'energia del rilievo, e il sistema, a parità di altre condizioni, diventa sempre più instabile.

2° CASO DI STUDIO – RUPI VULCANICHE NEL LAZIO SETTENTRIONALE (Bozzano *et al.*, 2005)

In uno studio sull'assetto geologico ed evoluzione per frana di rupi vulcaniche nel Lazio settentrionale, Bozzano prende in esame alcuni centri abitati (ma non Civita di Bagnoregio) e i possibili fattori di controllo dell'evoluzione geomorfologica delle rupi tufacee soggette a fenomeni d'instabilità gravitativa. L'area presa in esame, posta tra Lazio, Toscana e Umbria, nota come Tuscia, è caratterizzata dalla presenza di plateaux vulcanici costituiti da depositi dei centri eruttivi del Lazio settentrionale, poggiati su sedimenti argillosi, sabbiosi e conglomeratici depositati all'interno di bacini plio-pleistocenici. Questi plateaux sono stati incisi per dar luogo anche a rilievi isolati; alla sommità di tali rilievi e lungo i margini dei plateaux sorgono centri abitati, tra i quali Orte, Castellana, Calcata. Le ipotesi evolutive formulate nei modelli geologici preliminari (elaborati in base a un rilevamento geologico-tecnico delle aree in esame), sono state convalidate da analisi tenso-deformative delle condizioni di stabilità delle rupi, con approcci *UDEC Universal Distinct Element Code* e *FLAC Fast Lagrangian Analysis of Continua*.

Volendo applicare a Civita di Bagnoregio il modello di studio citato, essa rientrebbe nel caso in cui è possibile riscontrare un significativo controllo nell'evoluzione dei dissesti che interessano la placca tufacea da parte del "contrasto di deformabilità tra le diverse litologie sovrapposte" (Fig. 8). La placca rigida sovrastante il substrato sedimentario più duttile sarebbe sottoposta a un detensionamento d'insieme (*stress relief*) che in prossimità dei margini e della superficie arriverebbe a produrre uno stato di sollecitazione a trazione che favorirebbe i processi di instabilità. I processi di detensionamento d'insieme risultano fortemente controllati sia dai rapporti larghezza/spessore della placca rigida sia dalla sussistenza o meno di condizioni di isolamento della placca stessa dagli adiacenti plateaux tufacei. Il primo fattore controlla l'entità del detensionamento d'insieme della placca e la conseguente estensione delle instabilità bordiere verso l'interno della stessa; il secondo fattore, invece, controlla essenzialmente le modalità di deformazione della placca, ovvero la configurazione della concavità del profilo sommitale, in relazione all'entità dell'isolamento della placca stessa rispetto all'adiacente plateau tufaceo. La metodologia proposta permette di mettere a punto un modello geologico-evolutivo dalla cui attendibilità dipende la qualità dei progetti e interventi di mitigazione dei rischi idrogeologici.

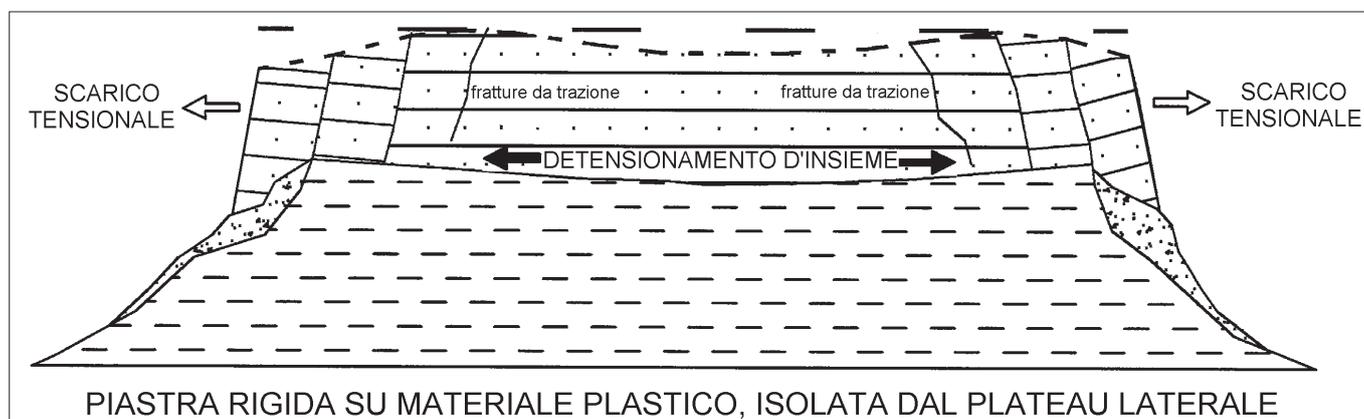


Figura 8 – Schema bidimensionale (non in scala) di un assetto geomorfologico di una rupe rigida con un substrato di argille plastiche; ai fianchi sono detriti di frana e/o di versante. A causa del contrasto di rigidità esistente tra i due litotipi posti a contatto (ossia il substrato è più deformabile della placca) e alla loro diversa resistenza all'erosione, si verifica un "detensionamento d'insieme" (stress relief) con conseguente messa in trazione della placca litoide in corrispondenza della sua porzione marginale. Tale processo consegue allo scorrimento del materiale plastico sottostante la placca, la quale si inflette sotto il proprio peso in corrispondenza della sua porzione più interna. Dall'analisi dello stato di deformazione si evidenzia: a) scorrimento lungo le discontinuità presso la parete della rupe; b) presenza di fratture da trazione in superficie; c) individuazione di un prisma di potenziale distacco dal margine della rupe, esteso di alcuni metri verso il suo interno. Parallelamente la rupe è sottoposta a un processo di "scarico tensionale" (stress release) in corrispondenza del suo margine, in relazione al suo isolamento dai litotipi circostanti (il plateau ignimbrico) ad opera degli agenti erosivi (approfondimento delle valli) e favorito dalla degradazione meteorica delle porzioni di roccia più superficiali.

Conseguenze: in prossimità dei margini si produce uno stato di sollecitazione a trazione della placca che favorirebbe i processi di instabilità (frane di crollo e ribaltamento nelle pareti rocciose, che producono l'arretramento parallelo delle pareti tufacee)(Fonte: Bozzano et al., 2005)

3° CASO DI STUDIO. IL COLLE DI PISTICCI (Bentivenga et al., 2008)

Uno studio dell'erosione calanchiva effettuato nella Fossa Bradanica (Basilicata) (Bentivenga et al., 2008) ha portato ad esaminare questa esperienza e a prendere degli spunti per cercare di comprendere meglio i fenomeni a carico dell'area di Civita.

La Fossa Bradanica si colloca geometricamente al di sopra del fronte sepolto della Catena Appenninica. I depositi di colmamento della fossa, visibili grazie al sollevamento pleistocenico dell'area ed alla conseguente erosione esercitata dai corsi d'acqua a recapito ionico, costituiscono una sequenza regressiva argilloso-sabbioso-conglomeratica Plio-pleistocenica.

L'area di studio è costituita in particolare dal territorio di Pisticci, una fascia collinare caratterizzata da rilievi monoclinali. L'evoluzione geomorfologica ha portato alla differenziazione del paesaggio collinare in due tipi di rilievo, un *rilievo ad alta energia* (AER) con pendenze superiori ai 25°, e in un *rilievo a bassa energia* (BER), con pendenze inferiori ai 25° (Fig. 9).

L'elemento di principale differenziazione tra le due aree è costituito dal *caprock* (piastra rigida sommitale), che determina un diverso "rapporto di rilievo" (rapporto fra altezza del rilievo e lunghezza del versante). Inoltre il *caprock* costituisce un vincolo strutturale che consente il mantenimento di un elevato gradiente di pendio, tale che i versanti sono in costante ringiovanimento attraverso movimenti di massa (frane di crollo e di ribaltamento nelle piastre rigide sommitali, frane di colamento lungo le sottostanti pendici argillose). Nell'area in esame i rilievi monoclinali hanno i versanti a reggipoggio con un'inclinazione di circa 42°, dove si sviluppa una intensa erosione calanchiva (erosione accelerata), mentre i versanti a franapoggio, con inclinazione di circa 12°, sono interessati da soliflusso e modeste frane di colamento.

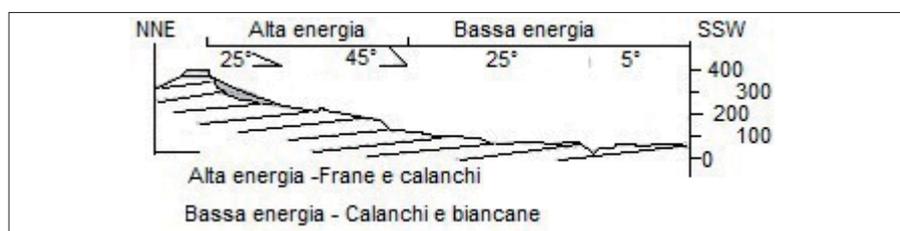


Figura 9 – Sezione geologica della collina di Pisticci e del territorio circostante. Il rilievo ad alta energia (AER), con pendenza media compresa fra 25° e 45° consiste in una scarpata composta da un resistente caprock sabbioso-conglomeratico e "soffici" sedimenti argillosi alla base; nella fascia superiore i calanchi sono forme praticamente esclusive. Invece il rilievo a bassa energia (BER), con pendenze medie comprese fra 5° e 25°, è caratterizzato dalle argille senza caprock, e sono presenti le biancane, oltre ai calanchi. Nell'area, i rilievi monoclinali hanno i versanti a reggipoggio con un'inclinazione di circa 42°, dove si sviluppa una intensa erosione calanchiva (erosione accelerata), mentre i versanti a franapoggio, con inclinazione di circa 12°, sono interessati da soliflusso e modeste frane di colamento.

INTERPRETAZIONE: L'elemento di principale differenziazione tra le aree AER e BER è costituito dal caprock, che ne determina un diverso "rapporto di rilievo". Il caprock costituisce un vincolo strutturale che consente il mantenimento di un elevato gradiente di pendio, talmente elevato da determinare il continuo ringiovanimento dei versanti attraverso movimenti di massa (frane di crollo e di ribaltamento nelle piastre rigide sommitali, frane di colamento lungo le sottostanti pendici argillose)

In entrambe le tipologie di rilievo, le forme calanchive si sviluppano essenzialmente su versanti ad esposizione meridionale (S e SW), anche se, secondo vari ricercatori, l'esposizione meridionale come fattore di controllo nella formazione dei calanchi costituisce un fattore secondario, mentre la genesi dei calanchi sarebbe legata essenzialmente alle condizioni strutturali (movimenti tettonici, giacitura degli strati, processi franosi recenti e passati).

OSSERVAZIONI

Nel caso di studio del bacino di Venosa, si evince come è possibile effettuare studi multidisciplinari che permettano di valutare la differenza di velocità fra i tassi di sollevamento tettonico di un'area e la velocità dell'erosione fluviale, allo scopo di stimare se il sistema risulti in disequilibrio in un arco di tempo sufficientemente lungo e quindi poter valutare una condizione di equilibrio dinamico, magari raggiunta solo in tempi recenti.

Nel caso di studio delle rupi vulcaniche dell'Alto Lazio, si evince che la criticità risiede nel contrasto di rigidità esistente tra i due litotipi posti a contatto (ossia il substrato pla-

stico argilloso è più deformabile della placca) e nella loro diversa resistenza all'erosione, per cui si verifica un "detensionamento d'insieme" (stress relief) con conseguente messa in trazione della placca vulcanica litoide in corrispondenza della sua porzione marginale.

Nel terzo caso relativo alla collina di Pisticci, applicando l'approccio descritto da Bentivenga (Bentivenga et al., 2008) all'area di Civita, si notano interessanti analogie. Al contatto fra le argille basali e il caprock tufaceo, i versanti argillosi colpiti dalla erosione calanchiva hanno una pendenza che varia fra 37° e 55°. Quindi, qui il caprock, che è costituito dalla piastra rigida vulcanica a copertura delle soffici ed erodibili argille di base, è responsabile del *rilievo ad alta energia*, e permette il mantenimento di una soglia di pendenza talmente elevata da determinare il ringiovanimento dei versanti attraverso movimenti di massa del caprock stesso e delle sottostanti pendici argillose.

Basandosi sull'analisi di Bentivenga, questo significa che la piastra rigida sommitale del colle di Civita contribuisce a mantenere elevate pendenze dei versanti argillosi

sottostanti, in un certo senso riparandoli dallo smantellamento (viene in mente il fenomeno dei “camini delle fate”); la presenza del *caprock* (e del centro abitato) fa sì che lo smantellamento della sommità del colle sia limitato ai bordi dal *caprock*. Il colle di Civita quindi si restringe continuamente, soggetto ad arretramento da frane, con superfici di arretramento sub-verticali parallele. Una volta eliminato il centro abitato e la piastra rigida, il colle si evolverebbe rapidamente verso il sistema calanchivo. Adottando questa ipotesi, l'importante è allora mantenere il più a lungo possibile il *caprock*, attraverso l'integrazione di più tecniche, come si dirà più avanti.

A questa interpretazione dei processi va aggiunta la considerazione che i due torrenti che circondano il colle hanno elevate pendenze longitudinali nella parte alta del bacino idrografico, ossia ci troviamo di fronte ad una elevata energia del rilievo, fattore che spiega gli intensi processi erosivi sia di approfondimento degli alvei che di demolizione dei versanti torrentizi, processi che incidono negativamente sulla stabilità dei versanti.

Secondo Margottini (1988), esaminando in una visione d'insieme l'area di Bagnoregio (ad esempio mediante un modello digitale del terreno), risulta che il colle di Civita si innalza in modo anomalo in un contesto in cui gli scenari morfologici sono meno esasperati. Quanto sopra suggerisce la possibilità che l'antropizzazione della rupe, risalente all'epoca etrusca e forse al villanoviano, e tutti gli interventi di bonifica effettuati successivamente, abbiano contribuito alla regimazione delle acque piovane, e quindi preservato dall'erosione, che ha impedito l'evolversi accelerato dei naturali processi geomorfologici; ma ciò non ha fatto che esasperare la situazione di squilibrio dell'intero sistema; in altre parole è probabile che senza l'urbanizzazione del borgo la rupe di Civita non si sarebbe conservata come attualmente appare, si sarebbe demolita del tutto. Ma ormai il borgo esiste e non possiamo lasciare che i processi naturali facciano il loro corso; dobbiamo conservare il più a lungo possibile questo gioiello, cercando di capire cosa fare.

Per quanto riguarda la peculiarità del colle di Civita, ossia gli eccezionali processi di demolizione della rupe che sostiene il borgo, si può affermare che essi sono ascrivibili alla sinergia dei citati processi di degradazione, più intensi rispetto a quelli che colpiscono altri centri abitati con analoghe litologia e geomorfologia.

4. POSSIBILI SOLUZIONI

Sulla base dei casi di studio sopra illustrati, le tipologie degli interventi per completare, migliorare, realizzare ex-novo le opere di consolidamento possono essere le seguenti.

Un tipo d'intervento da consigliare a livello di bacino idrografico è quello che si basa

su una visione complessiva del sistema rupe tufacea, argille di base, erosione dei versanti e fluviale, considerando l'elevata energia del rilievo che caratterizza l'area e tenendo presente che il tasso di sollevamento tettonico cui sicuramente è soggetta l'area in esame (basandosi sui vari studi inerenti l'Appennino), ha un valore superiore a quello della velocità d'erosione, tale da produrre un forte squilibrio a favore della instabilità.

Pertanto bisogna cercare di intervenire con un piano che coinvolga tutte le parti del sistema, anzitutto consolidando la fragile rupe tufacea e poi riducendo l'alta energia del rilievo dei versanti, contrastando l'erosione fluviale (incanalata), innalzando il profilo longitudinale dei torrenti, ossia ricorrendo alla tecnica di “correzione dei torrenti”, anche mediante “briglie in terra”, integrata con l'uso di opere in verde quali l'ingegneria naturalistica (Gisotti, Vannucci, 2015).

Tali interventi, che integrano gli aspetti “rigidi” con quelli “morbidi”, biologici, devono basarsi sulla scelta esperta delle specie vegetali da utilizzare in tale contesto, attraverso uno studio fitosociologico, di cui si presenta un esempio riguardante un'area calanchiva dell'Appennino (Fig. 10).

In particolare si tratta di bonificare, rinsaldare i due bacini idrografici calanchivi dei torrenti Lubriano e Torbido, attraverso le tecniche di sistemazioni idraulico – forestali e di ingegneria naturalistica, che devono essere progettate e adeguate alla complessa e rapida dinamica dei versanti e alla loro acclività

estremamente variabile, dalla sommità dei rilievi (con scarpate verticali) alla loro base (con basse inclinazioni).

Recenti interventi sul versante sud del ponte pedonale per Civita hanno avuto una scarsa efficacia nei confronti dell'erosione superficiale: sono state realizzate due palificate nella parte bassa del versante sormontate da gabbionate che bloccano i corpi delle colate di fango superficiali portando ad un rimodellamento del settore di versante a monte, ed opere di drenaggio superficiale (parte alta) e profondo (in corrispondenza delle palificate). Le numerose colate che si sono riattivate dopo la realizzazione degli interventi dimostra che il versante argilloso nella sua parte alta, molto acclive, qualora venga perturbato nella sua parziale copertura vegetale deve essere oggetto di opere adeguatamente dimensionate quali terre armate e fitti drenaggi.

Passando alla *rupe*, abbiamo visto che è necessario mantenere il più a lungo possibile il *caprock*, attraverso sistemi ingegneristici quali *ancoraggi* della piastra e impermeabilizzazione della sua superficie. Si tratta di ridurre l'infiltrazione delle acque, di origine naturale e antropica, attraverso l'integrazione di più tecniche, anzitutto interventi miranti a ridurre l'ingresso delle acque dalla piastra alla falda di contatto con le argille, quindi mediante impermeabilizzazioni e interventi atti a evitare o limitare le perdite dalle reti di acquedotto e di fognatura dell'insediamento, rivestimenti superficiali nella zona di maggiore criticità deformativa (sempre al contatto esterno tra tufo e argille sottostanti), drenaggi e controllo dei chimismi dei fluidi interagenti, liberi o interstiziali delle argille, e conseguenti azioni di correzione o compensazione (interventi ad oggi sperimentali, ma di sicura efficacia); inoltre tecniche di consolidamento più tradizionali, affidate all'uso di reti, chiodature, tiranti, supporti verticali ai blocchi tufacei, ecc. (Fig. 11).

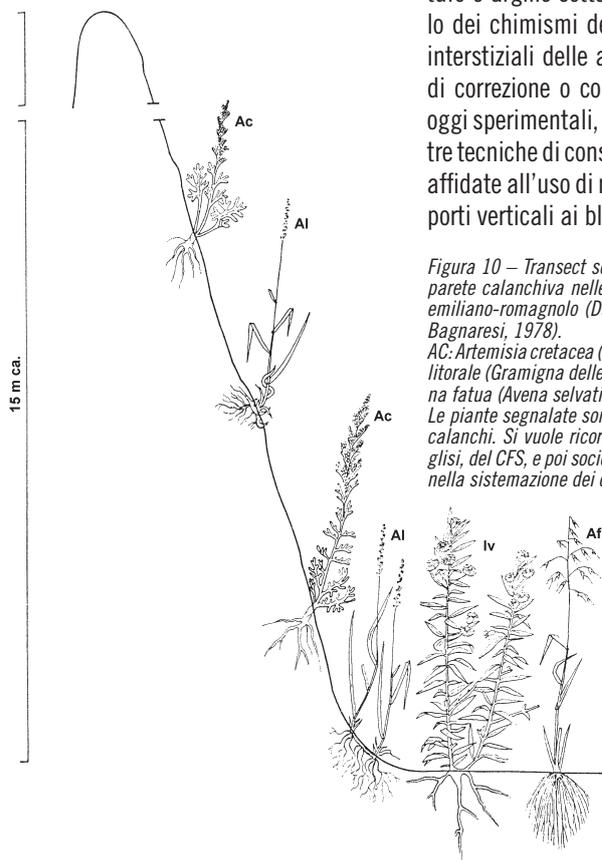


Figura 10 – Transect schematico della vegetazione in una parete calanchiva nelle argille plioceniche dell'Appennino emiliano-romagnolo (Da Ferrari C., Speranza M., 1975, in Bagnaresi, 1978). AC: *Artemisia cretacea* (Assenzio dei calanchi); Al: *Agropyron litorale* (Gramigna delle spiagge); Iv: *Inula viscosa*; Af: *Avena fatua* (*Avena selvatica*). Le piante segnalate sono solo alcune di quelle pioniere dei calanchi. Si vuole ricordare l'opera dell'ing. Salvatore Puglisi, del CFS, e poi socio AIPIN, che è stato attivo in Lucania nella sistemazione dei calanchi

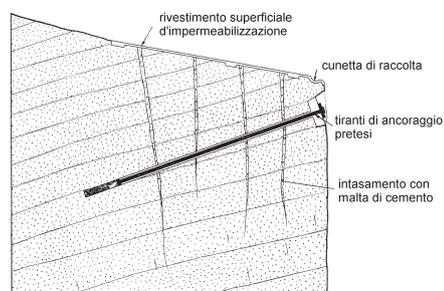


Figura 11 – Stabilizzazione della Rupe di San Leo. Ancoraggi, impermeabilizzazione della superficie e sigillatura delle fenditure (Fonte: Meardi, Marchini, 1968)

Il consolidamento completo ed efficace dell'intera rupe dovrebbe quindi avvenire con opere di tipo diverso, con una programmazione ben articolata nel tempo che derivi da una progettualità adeguata e basata su dati di monitoraggio e di indagini geognostiche realizzate *ad hoc*.

Sono certamente auspicabili opere di ingegneria sia naturalistica che classica, che per la loro diversa efficacia su determinati aspetti si integrano tra loro.

Le palificate nel versante argilloso sono per esempio certamente necessarie qualora sulla base di monitoraggio e indagini si individuino una potenziale superficie di scorrimento a diversi metri di profondità, e anche e soprattutto se realizzate alla base della scarpata rocciosa (dove necessario e possibile) per evitare la deformazione delle argille scongiurando il conseguente forte aumento delle sollecitazioni sull'ammasso roccioso.

Un intervento fondamentale e non più differibile è la perfetta regimazione delle acque, per evitarne l'infiltrazione nella rupe tufacea, e la loro concentrazione e corretto scorrimento sul pendio argilloso.

BIBLIOGRAFIA

ALMAGIÀ R. (1913), *Forme e fenomeni di erosione nei dintorni di Bagnorea*. In: *Bollettino Reale Soc. Geografica*. Anno XLVII, Vol. L. Roma.

ASCIONE A., CINQUE A., MICCADEI E., VILLANI F., BERTI C. (2008), *The Plio-Quaternary uplift of the Apennine Chain: new data from the analysis of topography and river valleys in Central Italy*. In: *Geomorphology*, Vol. 102.

AA.VV. (1978), *L'utilizzazione dei terreni argillosi dell'Appennino, con particolare riguardo alle argille plioceniche*, Istituto per lo Sviluppo Economico dell'Appennino Centro-Settentrionale. Bologna.

BAGNARESI U. (1978), *L'utilizzazione forestale dei terreni argillosi*. In: AA.VV., *L'utilizzazione dei terreni argillosi dell'Appennino con particolare riguardo alle argille plioceniche*. Istituto per lo Sviluppo Economico dell'Appennino Centro-Settentrionale. Bologna.

BARTOLINI C. (2003), *Uplift and erosion: driving processes and resulting landforms*. In: *Ed. Quat. Int.*, 1, 101-102.

BARTOLINI C., PECCERILLO A. (2002), *I fattori geologici delle forme del rilievo. Lezioni di geomorfologia strutturale*, II Ed. Pitagora Editrice, Bologna.

BENEDEUCE P., BOENZI F., CAPOLONGO D., DI LEO P., GIANO S. I., GIOIA D., MARTINO C., SCHIATTARELLA M. (2008), *Aspetti metodologici e considerazioni preliminari*

sul confronto tra tassi di sollevamento ed erosione di aree dell'Italia meridionale. In: BOENZI F., CAPOLONGO D., GIANO S. I., SCHIATTARELLA M. (a cura di), *Studi di base sull'interazione tra clima, tettonica e morfoevoluzione in Italia meridionale durante il Quaternario*. Unità di ricerca dell'Università degli Studi di Bari, Unità di Ricerca dell'Università degli Studi della Basilicata. Dibuonoedizioni.

BENTIVENGA M., CAPOLONGO D., PALLADINO G., PICCARRETA M. (2008), *Il ruolo del rilievo sull'evoluzione e distribuzione delle forme calanchive in Fossa Bradanica, Basilicata (Italia meridionale)*. In: BOENZI F., CAPOLONGO D., GIANO S. I., SCHIATTARELLA M. (a cura di), *Studi di base sull'interazione tra clima, tettonica e morfoevoluzione in Italia meridionale durante il Quaternario*, Unità di ricerca dell'Università degli studi di Bari – Unità di ricerca dell'Università di degli studi della Basilicata. Dibuonoedizioni.

BIONDI F., GISOTTI G. (2001), *Metodi di controllo dell'erosione con le biomasse*. In: *Geologia dell'Ambiente* n. 4, SIGEA, Roma.

BONCIARELLI F. (1978), *La coltivazione dei terreni argillosi*. In: AA.VV., *L'utilizzazione dei terreni argillosi dell'Appennino con particolare riguardo alle argille plioceniche*. Istituto per lo Sviluppo Economico dell'Appennino Centro-Settentrionale, Bologna.

BOZZANO F., FLORIS M., GAETA M., MARTINO S., SCARASCIA MUGNOZZA G. (2005), *Assetto geologico ed evoluzione per frana di rupi vulcaniche nel Lazio Settentrionale*. In: *Bollettino della Società Geologica Italiana*, Vol. CXXIV (2005), Fasc. 2. Roma.

CECCONI S., RISTORI G. (1965), *Studio dei terreni su formazioni argillose dell'Italia centrale*. In: *L'Italia forestale e montana*, n. 4, luglio-agosto, Firenze.

COSTANTINI L., DI BUDUO G. M., PONZIANI T. (2015), *L'impegno del "Museo Geologico e delle Frane" per salvare Civita di Bagnoregio*. In: *Professione Geologo*, n. 44.

DEL MONTE M., DELLA SETA M., MELELLI L., VERGARI F., CICCACCI S. (2014), *Intensità dell'erosione nel bacino idrografico del Rio Torbido (Bagnoregio, VT)*. In: *Atti del Convegno Dialogo intorno al paesaggio - (Perugia, 19-22 febbraio 2013). Culture Territori Linguaggi*, 4, 2014.

DELMONACO G., MARGOTTINI C., SPIZZICHINO D. (2009), *Low-impact interventions for the preservation of cultural heritage: The dying town of Civita di Bagnoregio (Central Italy) and the killer landslide*. In: MAZZOLANI (ed), *Protection of Historical Buildings*, PROHITECH 09, Taylor & Francis Group, London.

DI LEO P., MARTINO C., PAPPALARDO A., SCHIATTARELLA M. (2008), *Relazioni tra clima, sollevamento tettonico e franosità durante il Pleistocene nel bacino del Fiume Melandro in Appennino campano-lucano*. In: BOENZI F., CAPOLONGO D., GIANO S. I., SCHIATTARELLA M. (a cura di), *Studi di base sull'interazione tra clima, tettonica e morfoevoluzione in Italia meridionale durante il Quaternario*, Unità di ricerca dell'Università degli studi di Bari – Unità di ricerca dell'Università di degli studi della Basilicata. Dibuonoedizioni.

FERRARI C., SPERANZA M. (1975), *La vegetazione dei calanchi dell'Emilia Romagna*. In: *Notiziario Fitosociologia*, n. 10.

GIACOBBE A. (1961), *Il rimboschimento dei terreni argillosi*. In: *Atti del Congresso nazionale sui rimboschimenti e sulla ricostituzione dei boschi degradati*, Firenze.

GISOTTI G. (1992), *Rapporti tra suolo e piante nelle argille. Il caso di Civita di Bagnoregio*. In: MARGOTTINI C., POLCI S., *Studio, monitoraggio e*

bonifica dei centri abitati instabili, ENEA, Associazione Civita, Ordine nazionale dei Geologi.

GISOTTI G. (2011), *Le unità di paesaggio. Analisi geomorfologica per la pianificazione territoriale e urbanistica*, Collana SIGEA di Geologia Ambientale Dario Flaccovio Editore, Palermo.

GISOTTI G. (2012), *Il dissesto idrogeologico. Prevenzione, prevenzione e mitigazione del rischio*, Collana SIGEA di Geologia Ambientale, Dario Flaccovio Editore, Palermo.

GISOTTI G., VANNUCCI G. (2015), *La difesa del suolo nei territori argillosi. Piano globale*. In: *Acer* 6/15, Milano.

MANCINI F. (1978), *Caratteristiche e distribuzione dei terreni argillosi in Italia*. In: AA.VV., *L'utilizzazione dei terreni argillosi dell'Appennino con particolare riguardo alle argille plioceniche*. Istituto per lo Sviluppo Economico dell'Appennino Centro-Settentrionale. Bologna.

MARGOTTINI C. (1988), *Evoluzione morfologica del colle di Civita di Bagnoregio in tempi storici*. In: LATTANZI F., POLCI S. (a cura di), *L'ambiente, la memoria, il progetto. Testimonianze su Civita di Bagnoregio*. Associazione Civita. SugarCo Edizioni, Milano.

MARGOTTINI C., MOLIN D. (1990), *La sismicità storica dell'area di Bagnoregio e Civita*. In: MARGOTTINI C., SERAFINI S. (a cura di), *Civita di Bagnoregio. Osservazioni geologiche e monitoraggio storico dell'ambiente*. Una Ricerca ENEA, Associazione Civita.

MARGOTTINI C., SAVARESE N. (1992), *I calanchi di Civita di Bagnoregio: alcune ipotesi per la creazione di un parco geomorfologico*. In: MARGOTTINI C., POLCI S. (a cura di), *Studio, monitoraggio e bonifica dei centri abitati instabili*. ENEA, Associazione Civita, Ordine Nazionale dei Geologi.

MARGOTTINI C., SERAFINI S. (a cura di) (1990), *Civita di Bagnoregio. Osservazioni geologiche e monitoraggio storico dell'ambiente*, Una Ricerca ENEA, Associazione Civita.

MEARDI G., MARCHINI C. S. (1968), *Metodi di stabilizzazione e di controllo delle frane*. In: AA.VV., *Atti del Convegno sul tema: Le scienze della natura di fronte agli eventi idrogeologici*, organizzato a Roma 8-10 novembre 1967. Accademia Nazionale dei Lincei, Quaderno n. 112.

NAPPI G., RENZULLI A., SANTI P., GILLOT Y. (1995), *Geological evolution and geochronology of the Vulsini volcanic district (Central Italy)*. In: *Bollettino della Società Geologica Italiana*, vol. 114.

PIGNATTI S., LOCHE P., SQUARTINI V. (1992), *Aspetti floristici e vegetazionali dell'area di Civita di Bagnoregio*. In: OLMI M., ZAPPAROLI M. (a cura di), *L'Ambiente nella Tuscia laziale*, Università degli studi della Tuscia, Viterbo.

TUBERVILLE B.N. (1992), *40Ar/39Ar ages and stratigraphy of the Lateral caldera, Italy*, in *Bulletin of Volcanology* vol. 55, doi:10.1007/BF00301124.

WILLET S. D., SLINGERLAND R., HOVIUS N. (2001), *Uplift, shortening, and steady state topography in active mountain belts*. In: *American Journal of Science*, Vol. 301, April/May.

Ringrazio i colleghi prof. ing. Giuseppe Spilotro e prof. geol. Mario Bentivenga, dell'Università della Basilicata, e dr. geol. Giovanni Maria Di Buduo, del Museo Geologico e delle Frane di Civita di Bagnoregio, che con gli utili consigli tecnico-scientifici mi hanno coadiuvato nel preparare questa memoria. Un ringraziamento va anche al Sindaco di Bagnoregio, che ci ha fornito i mezzi logistici e la sede per organizzare il Convegno su Civita.

Trent'anni di studi geologici, geomorfologici ed applicativi a Civita di Bagnoregio

Thirty years of geological, geomorphological, engineering geological studies in Civita di Bagnoregio

Parole chiave (*key words*): Civita di Bagnoregio (*Civita di Bagnoregio*), frane (*landslides*), meccanica delle terre e rocce (*soil and rock mechanic*), mitigazione del rischio (*risk mitigation*)

INTRODUZIONE

Civita di Bagnoregio, in provincia di Viterbo (Fig. 1), costruita su una rupe tufacea a comportamento rigido poggiante su argille a comportamento plastico, è da sempre assediata da continue manifestazioni franose e crolli. Isolata dalla storia Civita è rimasta sospesa nel tempo, conservando la sua struttura architettonica, le case medioevali, gli archi e le finestre che si affacciano direttamente nel vuoto.

degli interventi. Solo in questo modo si ritiene possa valorizzarsi la splendida architettura medioevale del borgo e la visita ai molti luoghi di interesse storico, come ad esempio i resti della casa natale di S. Bonaventura.

La visita ai luoghi (Figg. 2 e 3), la storia, i processi geomorfologici, i metodi di consolidamento, sono già oggi in parte visitabili per quanti amano un territorio che vanta numerose esperienze culturali, preservatosi da uno svi-

generare vincoli e condizionamenti particolarmente stretti per la popolazione locale.

Si tratta di un approccio particolarmente complesso che potrà essere sviluppato con il concorso di tutte quelle forze che fino ad oggi hanno contribuito a tenere vive le problematiche di Civita e che vanno dalla comunità scientifica, ai grandi enti di stato, alla Pubblica Amministrazione, al sistema delle imprese, fino alle realtà locali.

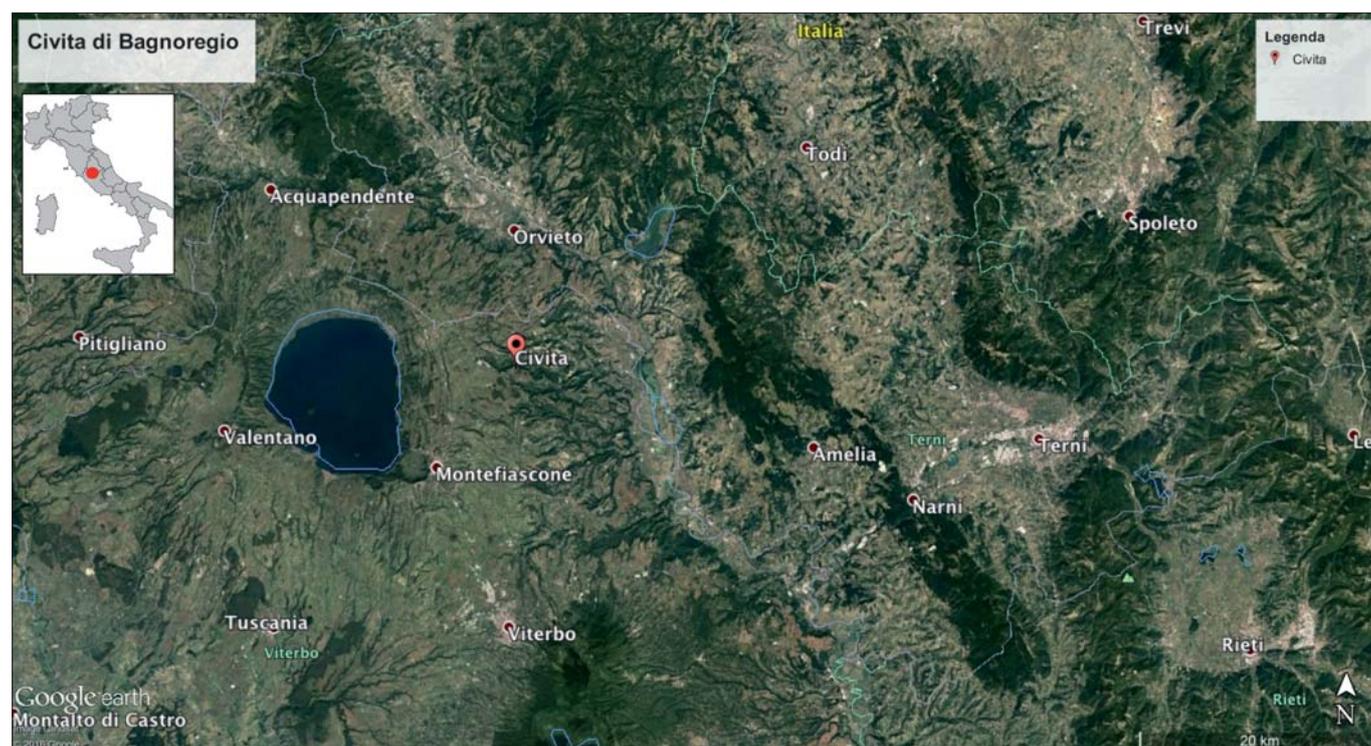


Figura 1 – Ubicazione di Civita di Bagnoregio, tra il lago di Bolsena ed il fiume Tevere

La possibilità unica, infatti, di leggere in Civita di Bagnoregio e nella Valle dei Calanchi l'evoluzione del paesaggio, studiarne l'andamento nel tempo su documenti e mappe che evidenziano case e chiese che oggi non esistono più, osservare i "segni" lasciati dalle frane sulla rupe e pendici del borgo, le case crollate, l'erosione calanchiva, fanno di Civita un laboratorio naturale dove sperimentare sistemi di monitoraggio e nuove tecniche di consolidamento che pongano però, al primo punto, la salvaguardia paesaggistica e la compatibilità ambientale

luppo snaturante e attento a una valorizzazione "sostenibile" delle proprie risorse. Infatti, lo sviluppo socio-economico di quest'area, basato sui reali punti di eccellenza quali l'evoluzione geomorfologica in rapporto con le strutture abitative e culturali, deve calibrarsi con le reali necessità e potenzialità offerte dal sistema locale: si deve, in altre parole, promuovere uno sviluppo ordinato e sostenibile che da un lato valorizzi le risorse esistenti in un quadro di totale compatibilità ambientale e dall'altro crei indotto ed occupazione senza per questo

LA STORIA DI CIVITA E LA SFIDA PER LA SOPRAVVIVENZA

La storia di Civita di Bagnoregio ha origini antichissime: le scarse notizie che ci sono giunte dalla preistoria testimoniano l'esistenza di alcuni insediamenti umani risalenti all'età della pietra, quando il paesaggio delle due vallate che cingono l'antico borgo con un verde abbraccio aveva un aspetto del tutto diverso (Margottini, 1990).

Altre tracce di insediamenti sul territorio risalgono all'epoca villanoviana, mentre per



Figura 2 – La rupe di Civita di Bagnoregio



Figura 3 – La valle dei calanchi

avere le prime notizie certe relative all'esistenza di un centro abitato di una qualche importanza bisogna aspettare l'epoca etrusca.

Nel periodo etrusco, Civita faceva parte di un piccolo stato dell'Etruria interna, che aveva come capitale "Vulsinium", l'attuale Orvieto. Intorno al sesto secolo avanti Cristo, il territorio della Tuscia era passato sotto il dominio degli etruschi, attratti dalle particolari prerogative di questo luogo: una rupe allungata, circondata da due corsi d'acqua, poteva costituire uno straordinario baluardo contro ogni possibile attacco esterno, munito di una eccezionale difesa naturale contro gli assedi. Una sorta di roccaforte situata a due passi dall'asse stradale Tevere-Bolsena, da dove era possibile controllare i traffici e le merci che transitavano lungo la strada.

L'impianto urbanistico era costituito da una via che taglia in due parti il borgo (direzione ovest-est) e che segue ancora oggi il primitivo tracciato "decumano". Le trasversali,

con il loro orientamento nord-sud, ricordano gli originali "cardini"; nella parte centrale sicuramente sorgeva l'antico "foro". Tutt'intorno era stata scavata una serie di grotte utilizzate come sepolcreti.

Dopo la conquista romana, Civita e Rota furono trasformate in vere e proprie colonie. Per avviare quindi la "romanizzazione" della città, una nutrita schiera di famiglie patrizie, tra cui le "gentes" Laria, Appia, Rutilia, Quadrata e Calvisia, si stabilirono a Civita, che si trasformò ben presto in un importante polo dell'intera regione.

Del periodo romano testimoniano le numerose tombe "a colombario" che forano i tuffi della zona, tra cui la parete Sud di Civita. La presenza di numerosi cimiteri sotterranei "a galleria" indica l'esistenza nell'area di un primitivo nucleo di cristiani, forse giunti a Civita in seguito all'emigrazione forzata dalla capitale, iniziata con Nerone e proseguita con Antonino, fino al 161 d.C.

In età medioevale e feudale i processi di disgregazione del paesaggio agrario e di separazione delle città dalle campagne raggiungono i livelli più elevati a seguito della realizzazione dei "castra" (casali fortificati) a difesa delle "domus cultae", divenuti i nuovi centri di organizzazione della vita nelle campagne. Il territorio di Bagnoregio si arricchisce di castelli e piccoli borghi ai margini dell'attuale zona a calanchi; nelle aree impervie la copertura boschiva consente abbondantemente l'attività pastorale, soprattutto l'allevamento brado di asini. Nelle zone meno impervie si pratica la caccia alla selvaggina. Intorno agli insediamenti umani sorgono orti, giardini e coltivazioni di frutta, mentre i vigneti occupano anche i terreni di fondovalle sottratti alla palude. Fondamentale la produzione di vino che, già nel XIV secolo, è merce di esportazione.

Con l'avvento dell'epoca feudale, diversi feudatari si alternano al comando del territorio, ma le figure di rilievo sono quelle di due vescovi, S. Bernardo della famiglia Janni e S. Ildebrando (sepolto nella chiesa cattedrale di Civita il 22 agosto 873) che, con S. Vittoria, sarà patrono della città.

In epoca feudale acquista grande potere la famiglia dei Monaldeschi, divisa successivamente nei quattro rami dei Monaldeschi della Vipera, del Cervo, del Cane e dell'Aquila; la loro signoria feudale termina intorno al 1140, quando Bagnoregio diventa libero comune, inaugurando così un periodo di grande prosperità politica e culturale.

Autonomia civica, varietà di istituti e ricchezza di avvenimenti caratterizzano la vita di Bagnoregio libero comune accrescendone l'importanza storica, ma il suo nome risuonerà in tutta Europa come la città che ha dato i natali, tra il 1215 e il 1222, ad uno dei personaggi più illustri della storia della Chiesa: S. Bonaventura. Figlio di un medico e di una donna devota a Francesco d'Assisi, il piccolo Giovanni Fidenza (sembra essere questo il nome originario del Santo) fu salvato da una grave malattia grazie all'intervento del Santo d'Assisi, invocato dalla madre.

Nell'antico convento dei Minori il Santo riceve i primi rudimenti culturali e termina la propria formazione teologica alla Sorbona di Parigi, dove, ultimati gli studi, insegna per lungo periodo e inizia una luminosa carriera ecclesiastica. Nel 1257 diviene ministro generale dei Francescani e più tardi riceve la porpora cardinalizia. Resti della casa del Santo si rinvengono oggi oltre il ciglio della rupe.

L'anno 1695 segna l'inizio della rapida decadenza di Civita: l'11 giugno alle ore 3:30 locali, una scossa di terremoto valutata del IX - X grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg, causa il crollo di numerosi edifici, la morte di 37 persone e il ferimento di 61. Le

vittime sarebbero state molto più numerose se il disastroso evento sismico non fosse stato preceduto di un quarto d'ora da una scossa premonitrice; l'epicentro si situa in Bagnoregio, ma l'area di risentimento giunge fino ai Castelli Romani e a Perugia. L'evento tellurico causa l'apertura di molte crepe nel terreno, il crollo del ponte che univa i due abitati e, secondo qualche autore, il franamento di una parte della rupe; per Civita inizia il progressivo, inesorabile processo di isolamento e decadimento a cui ancora oggi assistiamo e verso cui sono rivolti gli sforzi di molti.

Il degrado ambientale provoca il trasferimento delle principali istituzioni pubbliche a Rota, nel 1699 e inoltre, il perdurare delle scosse telluriche, accelera quell'isolamento iniziato per Civita col primo terremoto.

Il 20 Maggio 1759 crolla la strada che congiunge Rota a Civita, strada che da ora in poi verrà continuamente interrotta da frane, creando seri problemi alla vita economica e sociale della cittadina. Cinque anni dopo, crolla il ponte della strada di accesso a Civita e rimane danneggiato il convento di S.

Francesco. Il declino ormai inarrestabile. La città lotta per sopravvivere.

A seguito del susseguirsi degli eventi franosi, nel 1819 la Sacra Congregazione del Buon Governo di Roma ordina l'abbandono di Civita ed il trasferimento della popolazione nelle aree stabili di Bagnoregio. Tale ingiunzione si limiterà al solo sgombero delle case prospicienti la rupe in prossimità della chiesa di San Bonaventura, a causa della riluttanza dei civitonici a lasciare il proprio borgo.

I primi interventi sistematici di bonifica della rupe e della sella sono del XIX secolo: un primo ponte si realizza nel 1850 e contemporaneamente si costruiscono le briglie di fondovalle allo scopo di regimare il deflusso delle acque.

Nel 1922, quando Civita conta ancora 650 abitanti, il governo ne decide nuovamente l'evacuazione per trasferire la popolazione in una nuova borgata appositamente costruita. Ma, mentre ancora si discute sui progetti, arriva la guerra a bloccare ogni iniziativa.

Nel corso di tutto il '900 le frane interessano principalmente la strada Bagnoregio-

Civita. Ai dissesti naturali, nel 1944, si aggiungono gli effetti legati agli eventi bellici, quando le truppe tedesche in ritirata fanno saltare il ponte in muratura; nel 1963 crolla persino la passerella in legno fatta costruire in sostituzione del ponte.

L'attuale ponte in cemento armato, costruito per intervento del Ministero dei Lavori Pubblici, viene inaugurato il 12 settembre 1965; si tratta di un'opera deturpante ma necessaria per assicurare un minimo collegamento tra l'antico borgo e Bagnoregio.

Negli anni Cinquanta, finalmente, si leva solitaria la voce dello scrittore Bonaventura Tecchi che, con parole meste, descrive Civita e la sua condanna: "L'unica strada, esile e bianca come un nastro, che congiunge al mondo di qua, alla terra ferma e sicura, il ciuffo nero di case, l'isolotto alto di tufo sospeso in mezzo al mare delle crete e degli abissali cavoni sta per crollare. L'antico borgo è condannato: pochi anni ancora, poi la fine sicura; circondato da tutte le parti solo dall'aria, più miracolo che cosa vera, più leggenda che realtà".

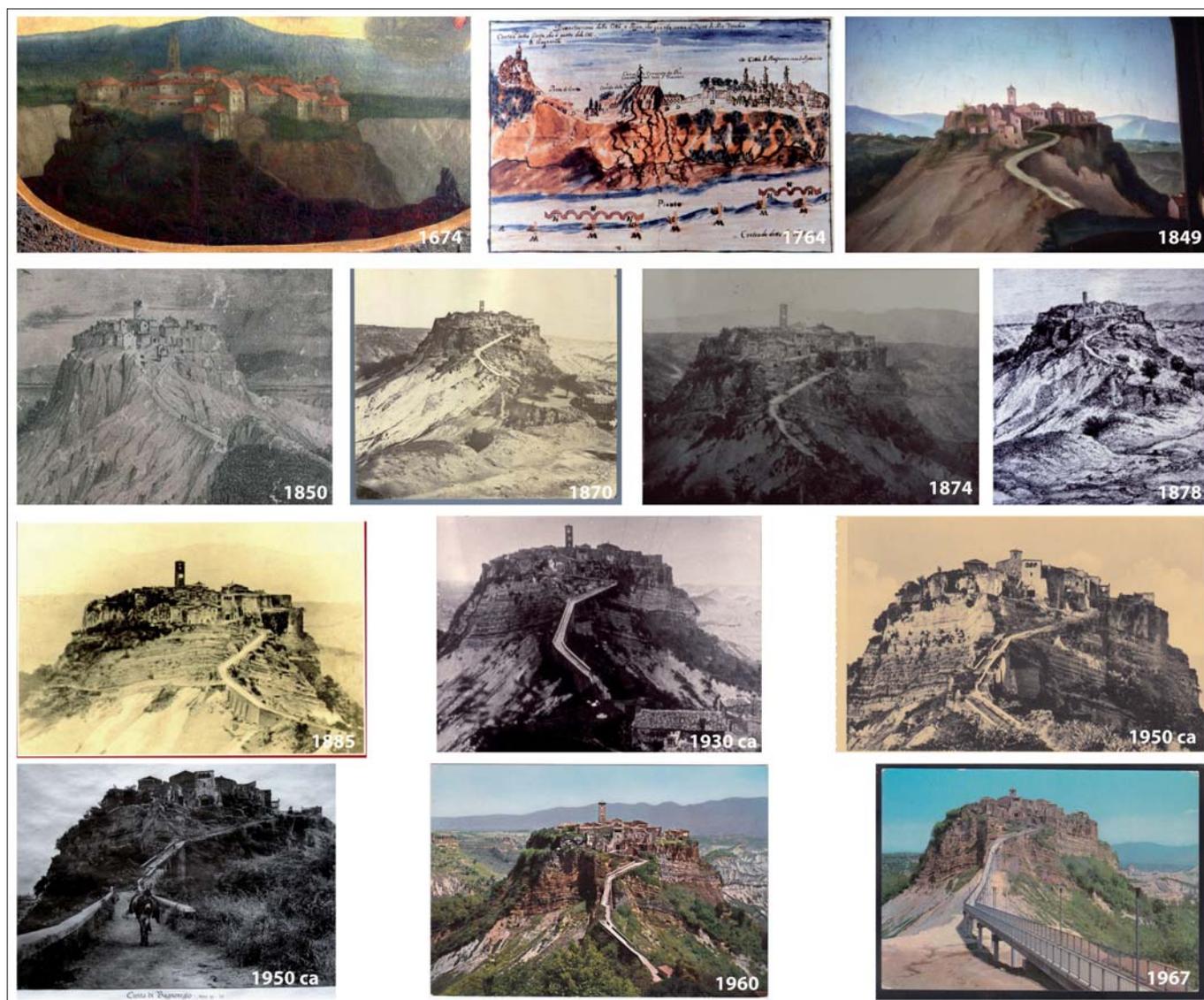


Figura 4 – Alcune vedute di Civita di Bagnoregio nel corso degli ultimi 400 anni, esplicative dell'evoluzione ambientale ed architettonica subita dal borgo (da sin. 1674, circa metà XVII sec. 1764, fine XVIII sec., 1849, 1874, 1885, 1945-60, oggi (Margottini e Di Buduo, 2016)

Complessivamente, dal XV sec. ad oggi sono state documentate quasi 150 frane dettagliatamente descritte in manoscritti, cronache, documenti e pubblicazioni varie (Margottini, 1990, modificato).

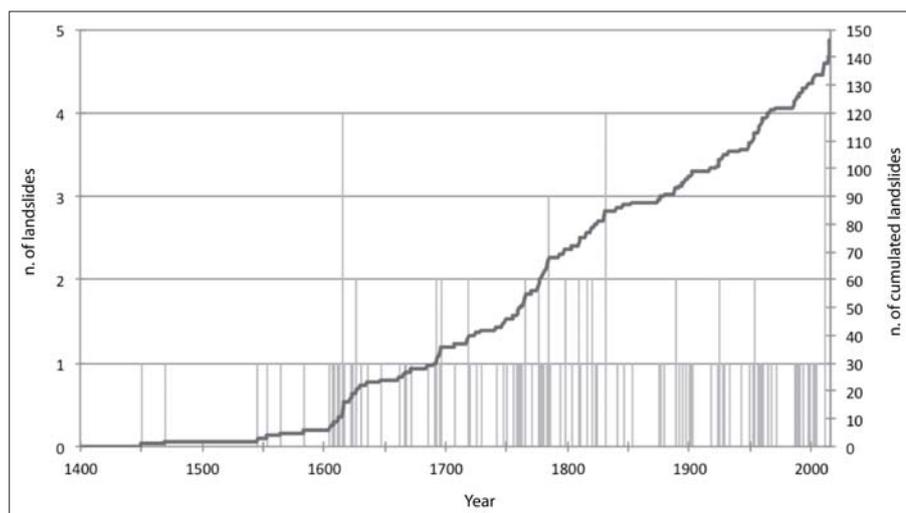


Figura 5 – Evoluzione dei principali fenomeni franosi sul colle e pendici di Civita di Bagnoregio

L'evoluzione del territorio è particolarmente evidente lungo la sella di accesso a Civita che, dal 1764 ad oggi, ha subito un abbassamento di circa 40 metri (Fig. 6).

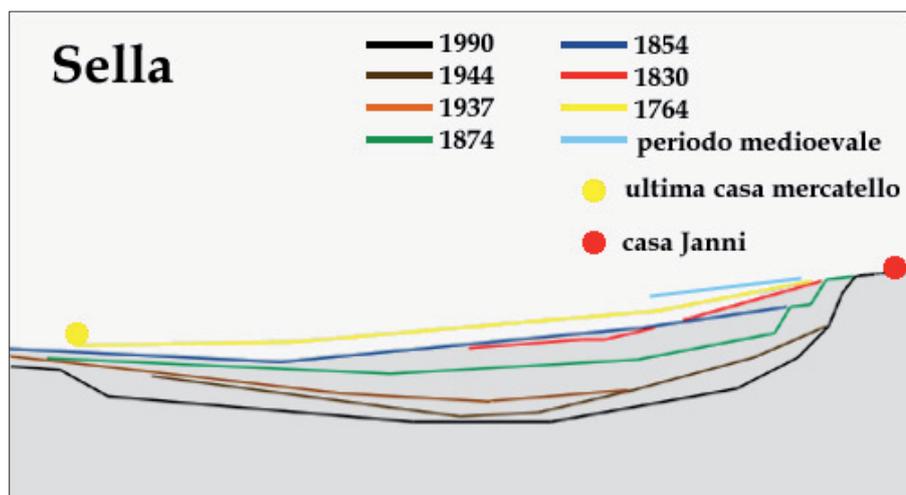


Figura 6 – Evoluzione della sella di accesso tra Bagnoregio e Civita, dall'epoca medioevale ad oggi (Margottini, 1990, ridisegnato)

Infine, la Fig. 7 mostra l'evoluzione dell'assetto urbanistico dal 1705 ad oggi, ricostruito in base a documenti d'archivio e cartografie storiche (Margottini, 1990).

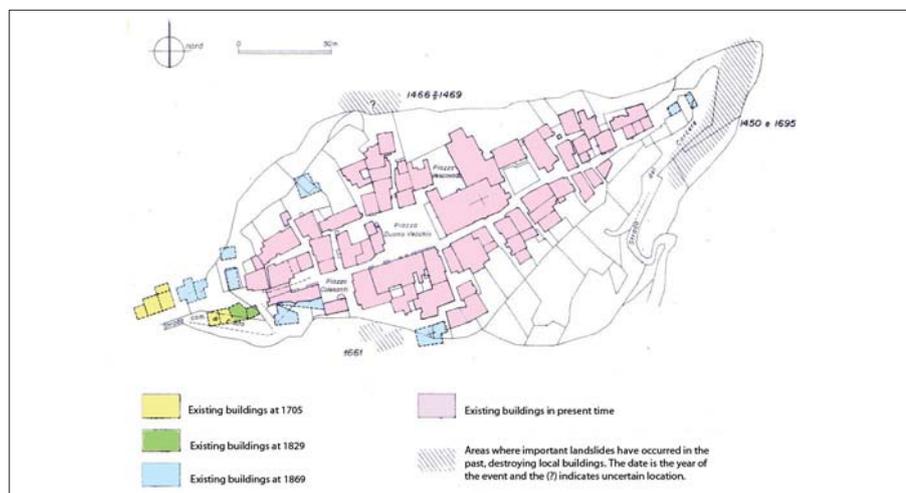


Figura 7 – L'assetto urbanistico dal 1705 ad oggi, ricostruito in base a documenti d'archivio e cartografie storiche (Margottini, 1990)

Da alcuni anni si parla nuovamente del futuro di Civita: da causa di depauperamento delle risorse finanziarie comunali, come si considerava la rupe nel passato, si è oggi indirizzati verso un approccio diverso dove Civita di Bagnoregio rappresenta un investimento per il Paese Italia, in grado forse di guidare addirittura lo sviluppo socio-economico di tutta l'area. In un territorio, quale l'Alto Lazio, che sicuramente soffre per una presenza soffocante e catalizzante da parte della capitale, si dovranno ricercare nuove soluzioni per diversificare lo sviluppo, valorizzando l'Italia dei centri storici minori con le proprie eccellenze ed i propri valori. Ciò è tanto più vero se si considera che l'Italia, tra tutte le nazioni europee, è quella che vanta la maggiore distribuzione di popolazione nelle aree extraurbane. In pratica, l'Italia dei borghi, dei villaggi, dei paesi è l'Italia delle nostre radici storiche e culturali: la loro valorizzazione e rivitalizzazione, dopo l'abbandono degli anni '60, sta diventando un processo irreversibile che da un lato le nuove tecnologie, dall'altro le capacità di intervento delle Pubbliche Amministrazioni devono che favorire.

PROCESSI GEOMORFOLOGICI E FRANE

Civita di Bagnoregio, "la città che muore", unitamente al territorio circostante, costituito dalla "Valle dei Calanchi", rappresenta un elemento di interesse paesaggistico straordinariamente rilevante (Margottini *et al.* 2016). I fattori che rendono praticamente unica Civita a livello nazionale ed internazionale si compendiano nell'elevato grado e l'estrema rapidità evolutiva dei fenomeni di dissesto idrogeologico e l'altissima densità areale dei fenomeni geomorfologici (Delmonaco *et al.* 2004 e 2009).

L'evoluzione geomorfologica che, generalmente, necessita di tempi molto lunghi per modificare in modo significativo l'aspetto del territorio, in questo angolo dell'Alto Lazio si sviluppa in tempi brevissimi: il paesaggio può subire delle drastiche modifiche nel corso di pochi anni, a volte addirittura nel breve volgere di pochi mesi.

Il processo evolutivo ha prodotto forme del paesaggio praticamente uniche e particolarità geologiche rare, rendendo l'area di Civita e la circostante Valle dei Calanchi una singolarità paesaggistica da valorizzare e salvaguardare (Gisotti, 1992).

Nell'area in esame affiorano terreni derivanti da fenomeni geologici ben distinti (Fig. 8): i depositi sedimentari, che rappresentano il basamento affiorante, costituiti da livelli argilloso-sabbiosi dello spessore di pochi metri con, a luoghi, un livello sabbioso conglomeratico di alcuni metri al tetto, seguiti verso il basso da un potente orizzonte argilloso-limoso dello spessore di alcune centinaia di

metri; i tufi basali stratificati e la sovrastante ignimbrite tefritico-fonolitica massiva i quali rappresentano, invece, i prodotti delle manifestazioni dell'Apparato Vulcanico Vulsino.

viali che portano in sospensione minutissimi frammenti ed esercitano un'intensa azione erosiva di tipo lineare. L'asportazione della parte superiore dei depositi argillosi provoca

ad esempio la grande frana del versante di Lubriano, a Nord di Civita che, verificatasi nel 1114 (datazione su tronchi sepolti con ^{14}C), ha spostato l'alveo del fiume di fondovalle

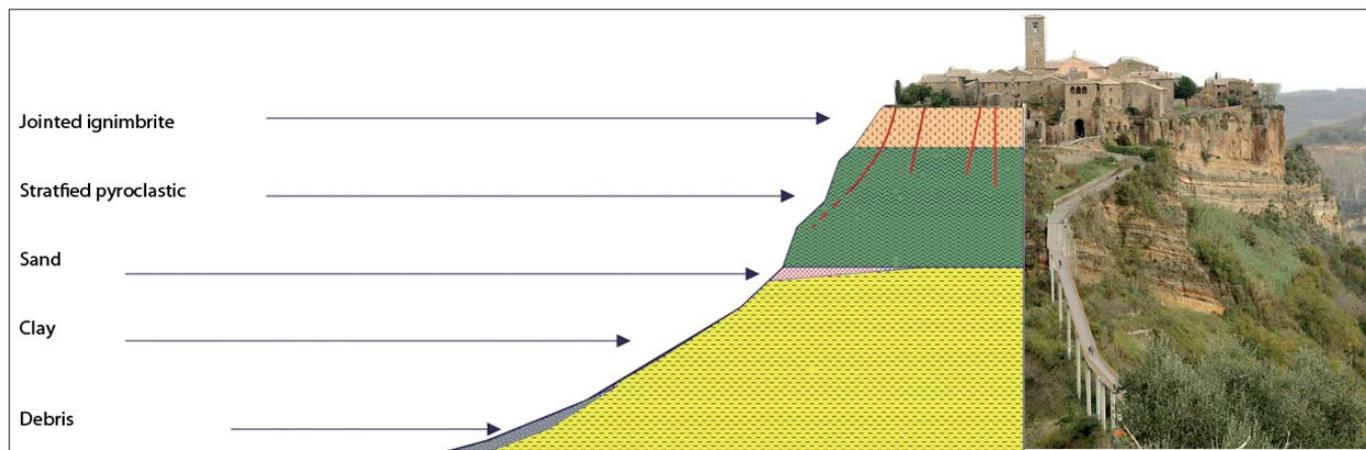


Figura 8 – La sequenza stratigrafica di Civita di Bagnoregio (Margottini e Di Buduo, 2016)

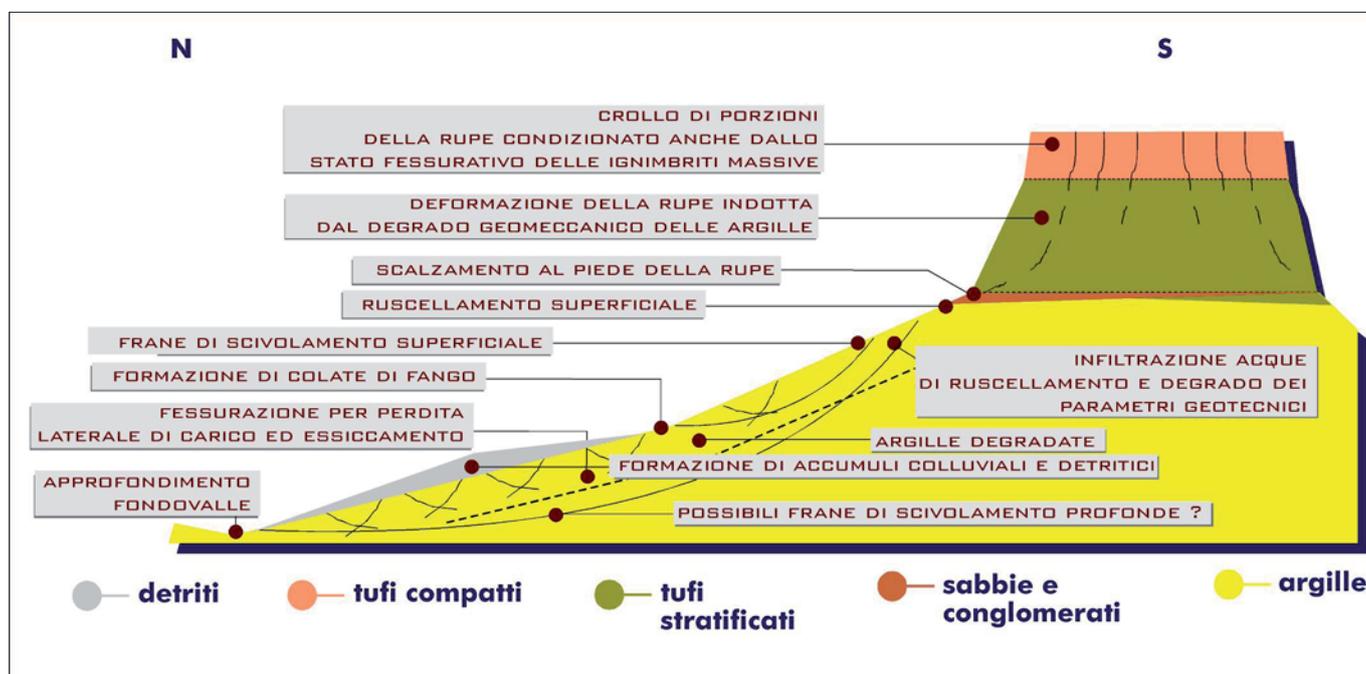


Figura 9 – Fenomeni geomorfologici agenti sulla rupe di Civita di Bagnoregio

L'area di Civita è interessata da vistosi fenomeni gravitativi attivi o quiescenti, che interessano sia i versanti argillosi che la rupe tufacea, dovuti ad un complesso di cause tra loro strettamente collegate (Fig. 9). In particolare, l'approfondimento del fondovalle ad opera dei torrenti settentrionale e meridionale ha modellato i versanti impostati nella formazione argillosa con pendenze tali da superare talvolta le condizioni di stabilità. Lungo questi versanti si manifestano colate di fango e di detrito, scorrimenti rotazionali, colate lente e fenomeni di soliflusso, specialmente in occasione di abbondanti precipitazioni; a causa dell'impossibilità di attecchimento della vegetazione, si generano fenomeni di erosione calanchiva provocati da un dilavamento delle formazioni argillose da parte delle acque plu-

lo scalzamento della base del bancone tufaceo di copertura ed il conseguente progressivo distacco di porzioni dello stesso, secondo superfici di discontinuità subverticali. La percolazione di acque meteoriche nelle rocce piroclastiche fessurate determina inoltre, al contatto con la sottostante formazione argillosa, l'instaurarsi di una falda acquifera di limitata estensione, con numerose emergenze localizzate, che favorisce il degrado della parte superficiale degli strati argillosi.

La stabilità della rupe è infine resa ancora più precaria dalla presenza di numerose cavità di origine antropica, scavate sia nei tufi stratificati poco coerenti che nel tufo litoide soprastante.

Ai fattori predisponenti di cui sopra si aggiungono poi elementi più contingenti, quali

verso Civita (Fig. 10), innescando tutti quei processi franosi che oggi avvengono nell'area denominata del Cavon Grande (Fig. 10)

CARATTERI GEOLOGICI E GEOMECCANICI DEI TERRENI

Civita di Bagnoregio è ubicata sulla cima di un colle (443 m.s.l.m.) originatosi in corrispondenza dello spartiacque tra due bacini idrografici aventi direzione circa W-E. Il territorio di Bagnoregio è inserito in un contesto strutturale caratterizzato da un bacino estensionale orientato NNO-SSE (Graben del Paglia-Tevere), che si è sviluppato a partire dal Pliocene (tardo Zancleano) ed è stato colmato da sedimenti marini depositatisi nel corso di due cicli deposizionali. Ciascun ciclo deposizionale si è sviluppato con una distri-

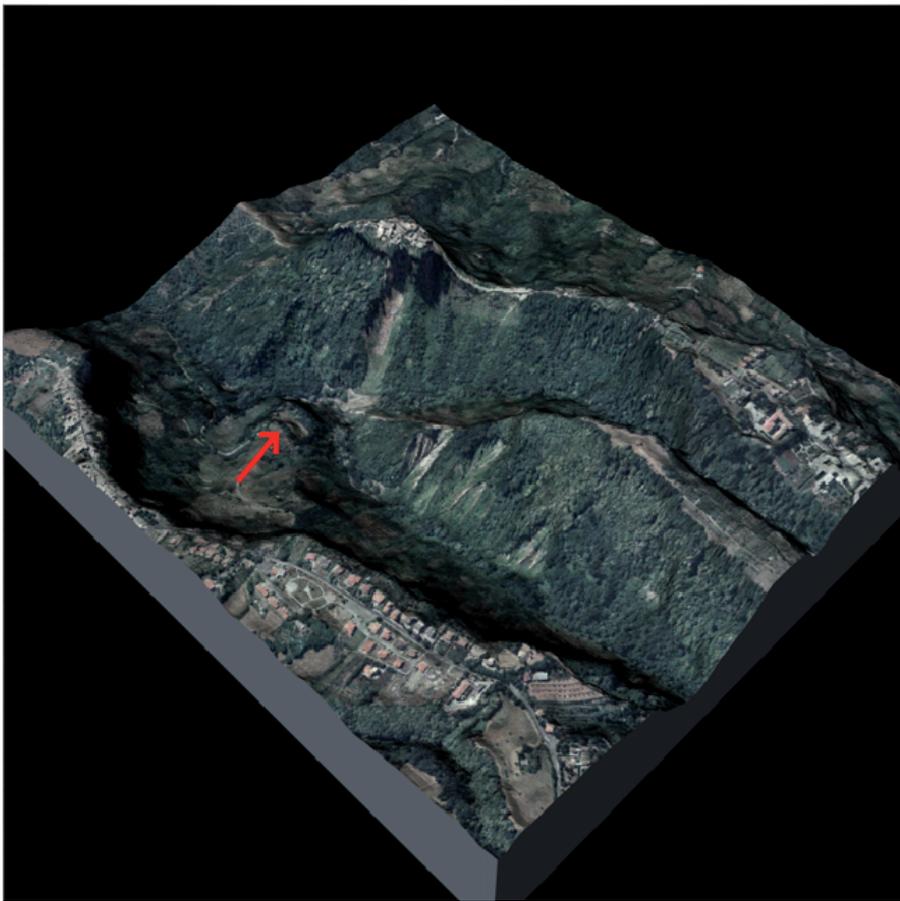


Figura 10 – Individuazione della grande frana del 1114 A.D. che ha spostato l'alveo del fiume verso Civita di Bagnoregio, innescando i grandi fenomeni di instabilità ancora attivi (Margottini, 2013)

buzione delle litofacies condizionata dalla posizione dell'ambiente di sedimentazione rispetto alle zone emerse di alto strutturale rappresentate dalla dorsale appenninica a est (Monte Peglia - Monti Amerini): in corrispondenza dei rilievi si rinvenivano quindi sedimenti grossolani costieri (ghiaie e sabbie) che passano lateralmente a sedimenti fini (argille) di ambiente più profondo (argille sabbiose affiorano estesamente nella Valle dei Calanchi). La successiva fase regionale di sollevamento (Calabriano-Olocene) è caratterizzata dai depositi vulcanici del Distretto Vulcanico Vulsino e dai depositi alluvionali terrazzati dei fiumi Paglia e Tevere, che ricoprono i depositi marini. Nel fondo valle si trovano sedimenti alluvionali depositati dai fiumi a partire dalla fine dell'ultima glaciazione (circa 10 mila anni fa). La geologia dell'area è riportata nella Fig. 12.

I prodotti del Distretto Vulcanico Vulsino occupano un'area di circa 2200 km² e sono distribuiti radialmente rispetto alla vasta conca del lago di Bolsena, interpretabile come un ampio bacino di collasso (depressione vulcanico-tettonica) creatosi in più fasi successive a seguito dello svuotamento della camera magmatica principale. Nel Distretto Vulcanico Vulsino nell'intervallo di tempo compreso all'incirca tra 590mila e 130mila anni fa sono stati attivi

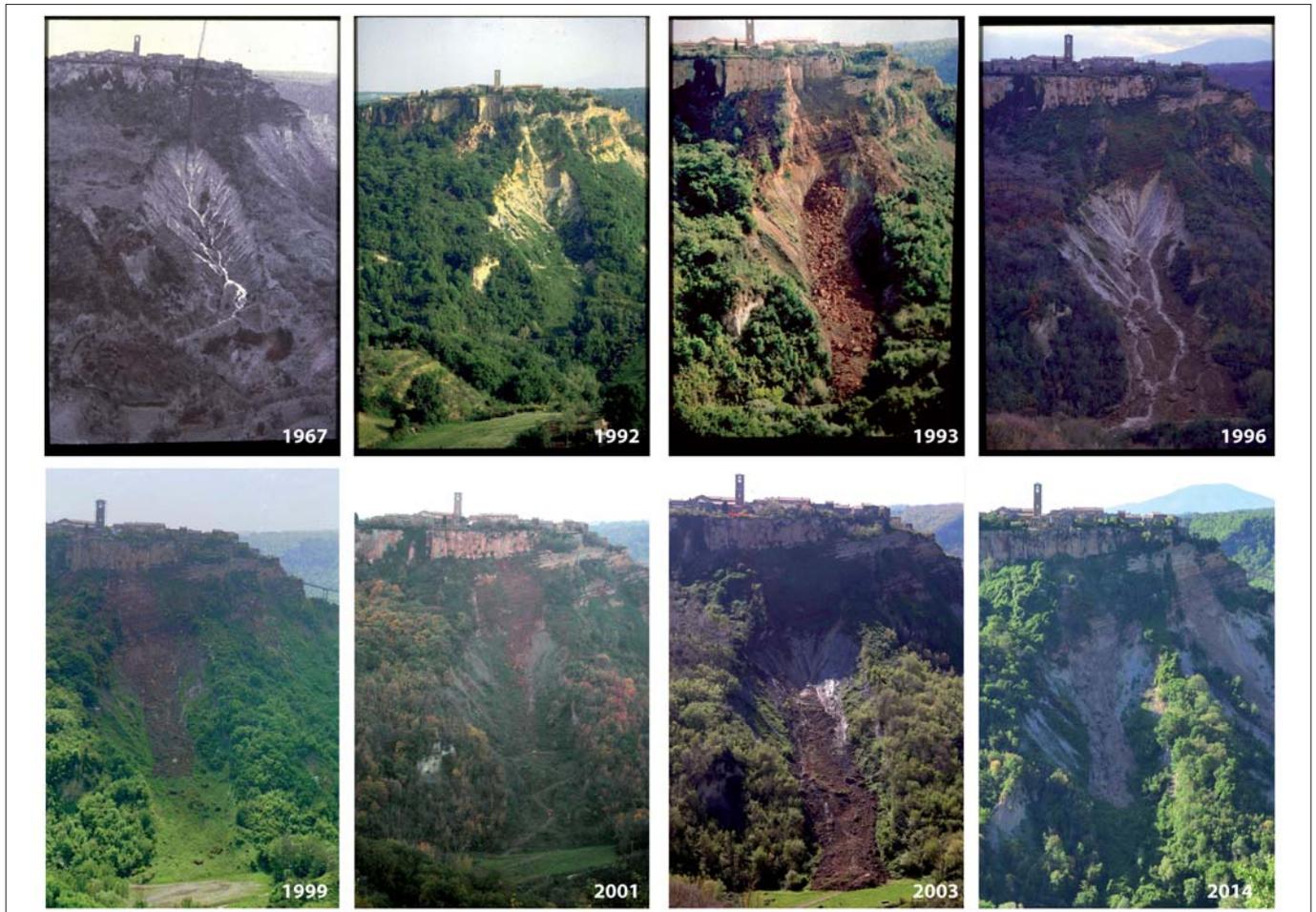


Figura 11 – Versante Nord di Civita di Bagnoregio in corrispondenza dell'incisione denominata "Cavon Grande", dal 1967 ad oggi, con i fenomeni franosi del 1992, 1993, 1996, 1999, 2001, 2003 e 2014 (Margottini e Di Buduo, 2016)

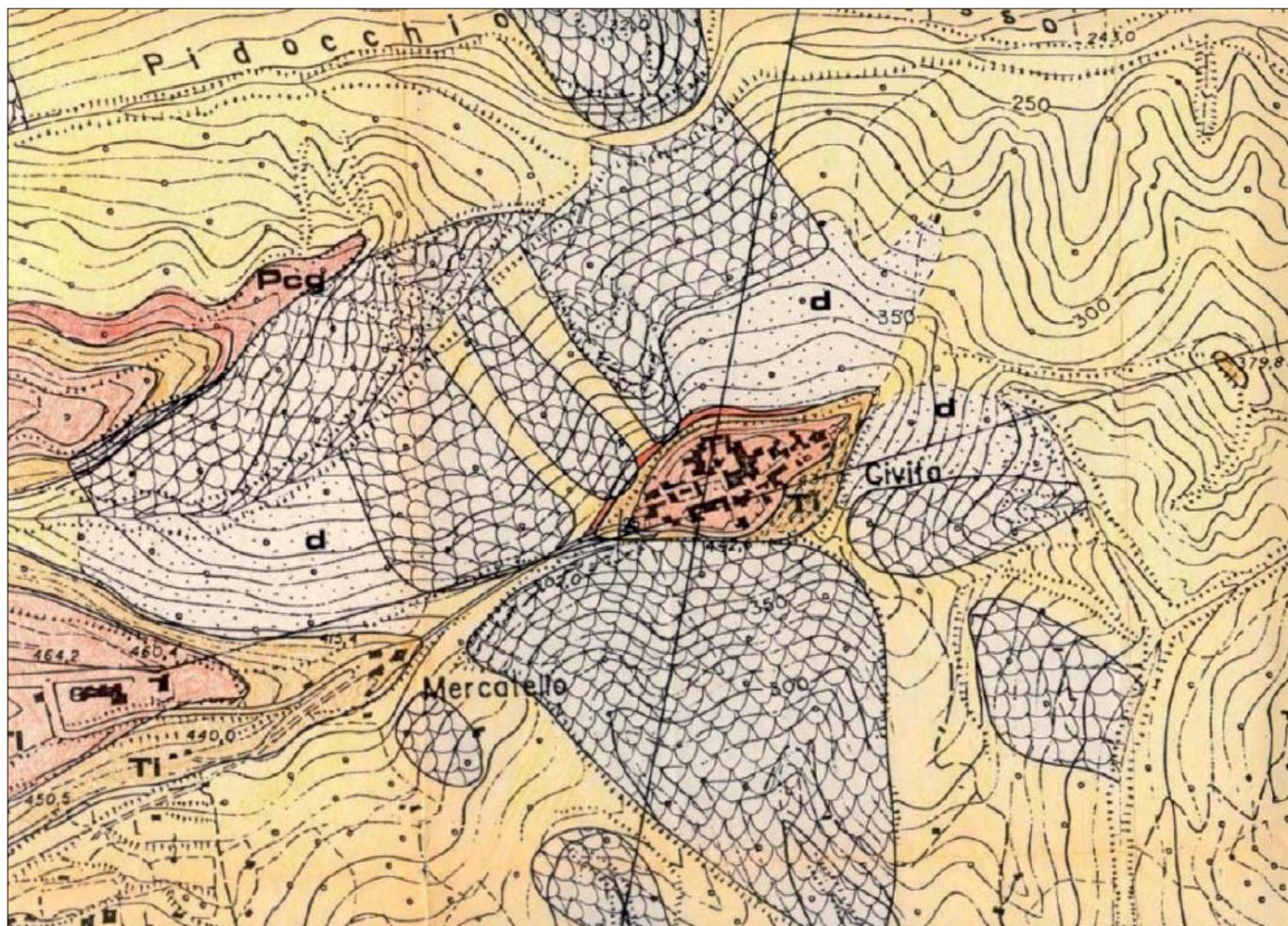


Figura 12 – Carta geologica di Civita di Bagnoregio e dintorni; (Focardi G. 1992)

5 complessi vulcanici: “Paleo-Vulsini” (circa 590-490 mila anni fa), “Campi-Vulsini” (circa 490-130 mila anni fa), “Bolsena-Orvieto” (circa 350-250 mila anni fa), “Montefiascone” e “Latera” (circa 280-140 mila anni fa). Ciascun complesso vulcanico è stato caratterizzato da un’ampia varietà di stili eruttivi, che hanno comportato la deposizione di prodotti vulcanici molto differenti, alcuni dei quali (come le lave e le ignimbrite compatte) sono usati fin dall’antichità come materiali da costruzione. Le argille sabbiose marine sono sovrastate dai prodotti vulcanici che costituiscono la base della rupestali depositi vulcanici sono rappresentati da depositi di ricaduta fittamente stratificati dei “Paleo-Vulsini”, alternati a paleosuoli testimoniati lunghi intervalli tra una fase eruttiva e la successiva. In sommità le abitazioni di Civita poggiano sul tufo litoide dell’ “ignimbrite di Orvieto-Bagnoregio”, emessa circa 333 mila anni fa dal complesso vulcanico “Bolsena-Orvieto”. Di seguito i principali caratteri geologici delle formazioni locali, integrati con gli elementi geomeccanici dei terreni e rocce, desunti dalle numerose campagne di indagini svolte sul territorio (Puglisi, 1987; Napoleoni, 1991; Margottini e Serafini, 1990; Focardi, 1991; Nolasco, 1997; EnelHydro, 2001; Doglioni, 2007; Latella L., 2011; Garbin *et al.*, 2013) e principalmente elaborati da Urbani (2016).

Complesso argilloso-sabbioso-conglomeratico (Plio-Pleistocene da 1.700.000 a 1.250.000 anni fa): si tratta della formazione

ta costituita prevalentemente da strati e banchi argilloso-limosi con sottili intercalazioni sabbiose; ad un considerevole spessore di argille si sovrappone, nella parte alta e negli

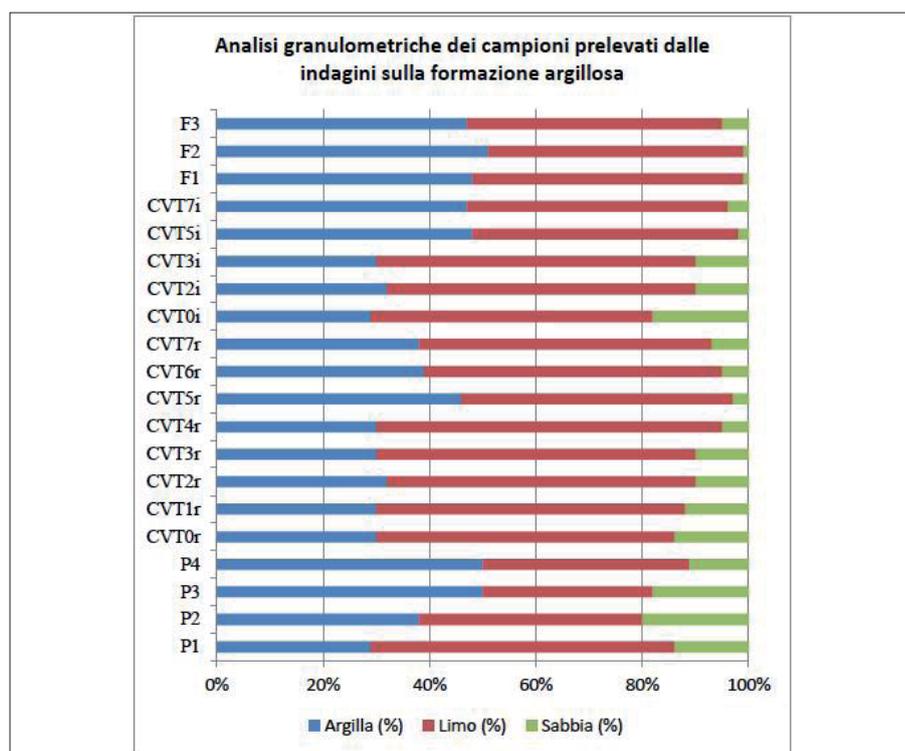


Figura 13 – Analisi granulometriche dei diversi campioni analizzati (dati delle campagne d’indagini ed elaborazione da Urbani, 2016)

affioramenti ai bordi della rupe, uno spessore di circa 4 metri di sabbie argillose fittamente stratificate. Nei livelli sommitali compare inoltre qualche ciottolo arrotondato che testimonia la chiusura del ciclo marino. Le tracce del conglomerato di chiusura del ciclo marino sono, nei pressi di Civita, minori rispetto allo spessore di 5-7 metri circa rilevato a Lubriano, dove si associa ad uno spessore di sabbie sciolte di qualche metro. Questo complesso, sottostante i tufi, è presente fino alla quota del fondovalle ed è generalmente ricoperto, ad eccezione delle zone denudate dai dissesti, da coltri di alterazione e da accumuli di frana il cui materiale proviene sia dal complesso stesso che dai tufi soprastanti.

Le argille, si caratterizzano granulometricamente (Fig. 13) per essere limi con argille sabbiose oppure debolmente sabbiose. La percentuale di sabbia sembra maggiore verso la parte più bassa della valle.

Le caratteristiche di plasticità (Fig. 14) risentono di tale distribuzione granulometrica. La distribuzione dei valori, in funzione della quota di campionamento, è riportata nella figura seguente (Urbani, 2016).

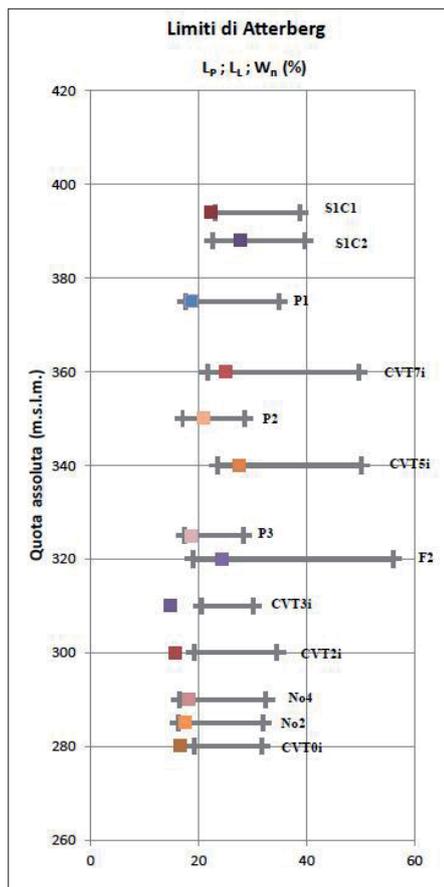


Figura 14 – Limiti di consistenza (atterberg) in funzione della quota topografica di prelievo (dati delle campagne di indagini ed elaborazione da Urbani, 2016)

Dal punto di vista meccanico (Fig. 15), si ha una variabilità significativa dei valori di coesione ed angolo di attrito. Ciononostante, risulta importante segnalare come molte delle prove disponibili sono state eseguite su

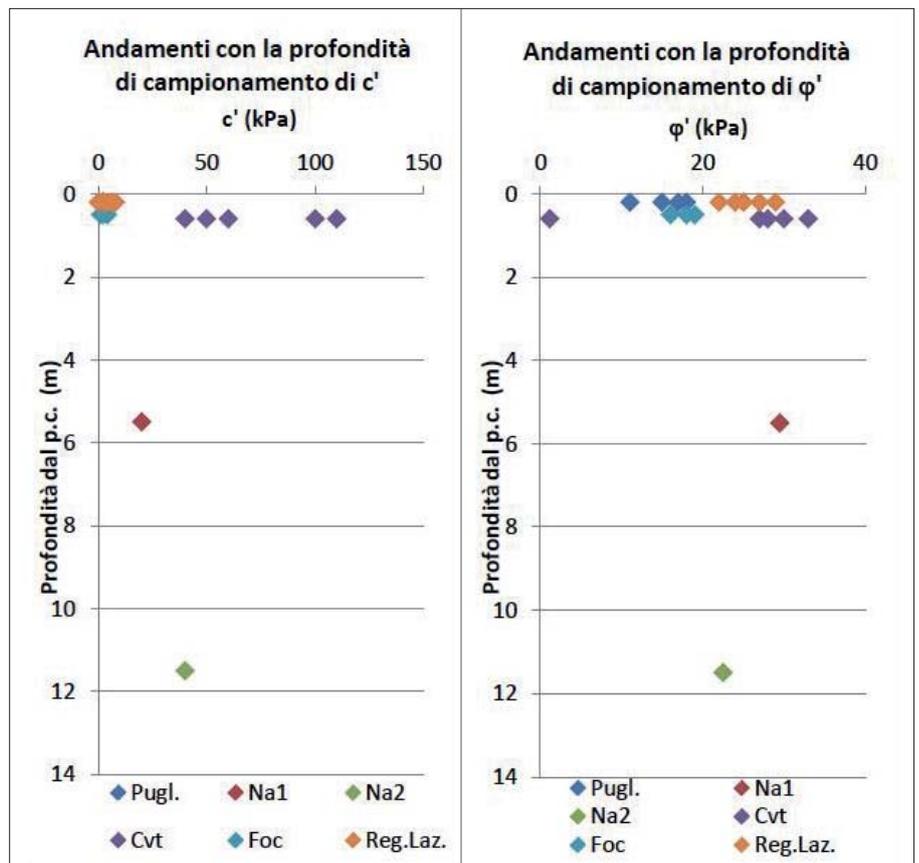
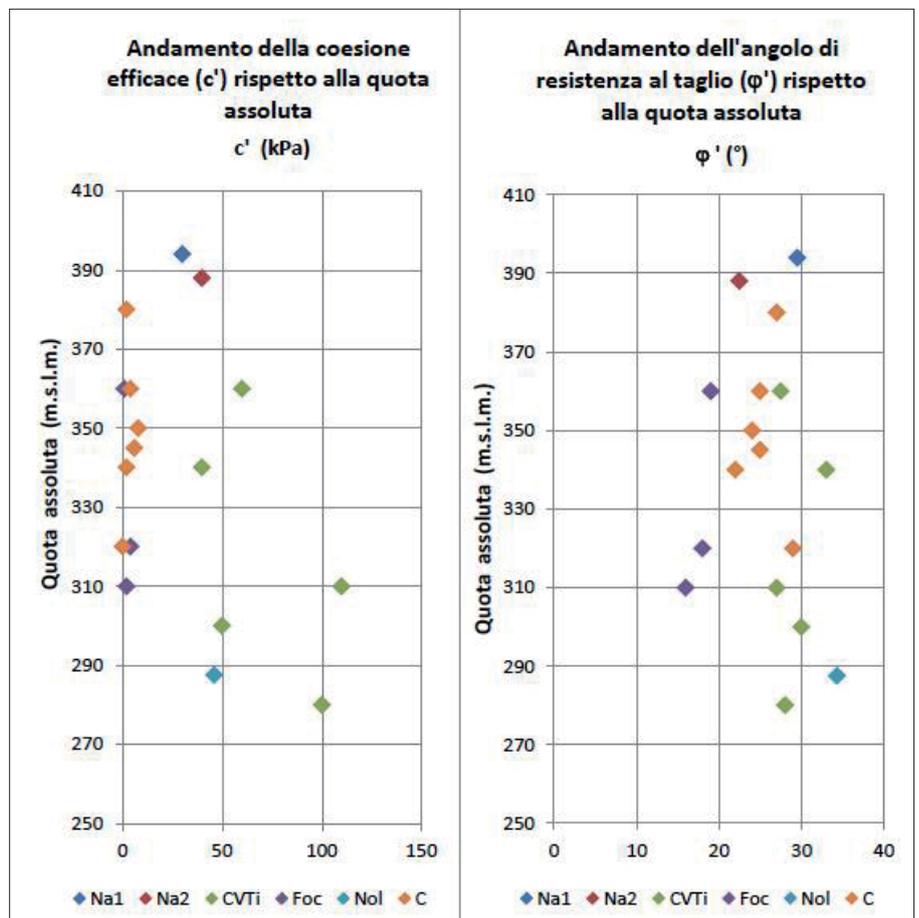


Figura 15 – Distribuzione di coesione efficace ed angolo di attrito, in funzione della quota di prelievo del campione e della profondità di campionamento (dati delle campagne d'indagini ed elaborazione da Urbani, 2016)

campioni superficiali, e quindi potenzialmente interessati da alterazione, seppur campionati in modo rigoroso.

Infine, una serie di prove SPT condotte nell'argilla a partire dalla sella di accesso (Sciotti *et al.*, 1997) ha evidenziato come le

caratteristiche meccaniche delle argille sembrano migliorare con la profondità come minori sono i fenomeni di alterazione (Napoleoni, 1991).

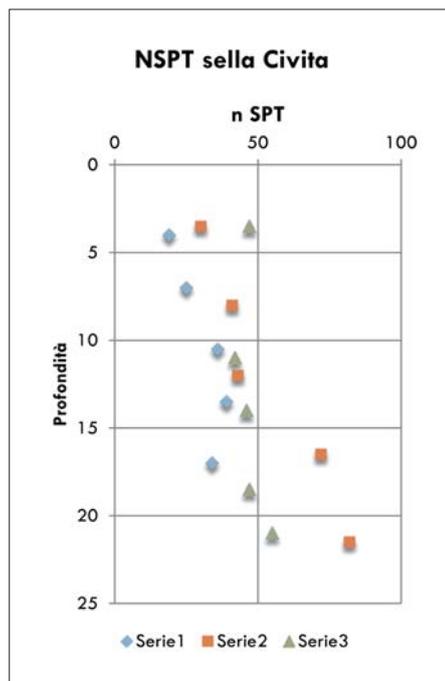


Figura 16 – I risultati di indagini SPT nella sella di accesso a Civita di Bagnoregio, al disotto del ponte (Sciotti et al., 1997)

Piroclastiti stratificate (Pleistocene medio): si tratta di tufi fittamente stratificati aventi uno spessore di circa 40 metri con alternanze di banconi pomiceo-scoriacei assimilabili a terreni sciolti o poco cementati e di livelli cineritici più coerenti; sono presenti almeno due paleosuoli e livelli diatomitici. Gli strati tufacei mostrano una deposizione ritmica e prolungata con pause di deposizione (paleosuoli) nel tempo con caratteri di “airfall” e di provenienza sia prossimale che distale. La composizione di queste piroclastiti stratificate è tefritico-leucitica, deposte in una fase (fase 2) successiva alla deposizione di una piattaforma lavica (fase 1) che poggia su una superficie erosiva già intensamente modellata dal preesistente reticolo idrografico. Dove mancano le lave, come nel caso della rupe di Civita, i tufi basali stratificati sono direttamente a contatto con il substrato sedimentario, sollevato durante il Plio-pleistocene.

La formazione delle piroclastiti stratificate, per l'alternanza di livelli aventi spessori decimetrici e per la variabilità delle caratteristiche geomeccaniche degli stessi livelli, non riesce ad essere caratterizzata in modo univoco. Un'indicazione globale sul comportamento dell'ammasso può essere ottenuta dalla back analysis di un fenomeno di crollo occorso nel 1993. Tale crollo si è sviluppato con una forma pseudo-circolare all'interno delle piroclastiti stratificate mentre, nella parte alta della rupe dove compare l'ignimbrite massiva, la

presenza di un tension crack che raggiunge la superficie, consente di caratterizzarla come una forza peso senza alcuna resistenza. Sono state effettuate sia elaborazioni analitiche (Casagli et al, 2000; Iacurto, 2002) che numeriche (Urbani 2016).

diverse condizioni piezometriche espresse da un rapporto delle pressioni interstiziali medio r_u variabile fra 0 e 0.3. Quest'ultimo è definito come il rapporto fra la pressione media dell'acqua interstiziale e la pressione litostatica media lungo la superficie di scivo-

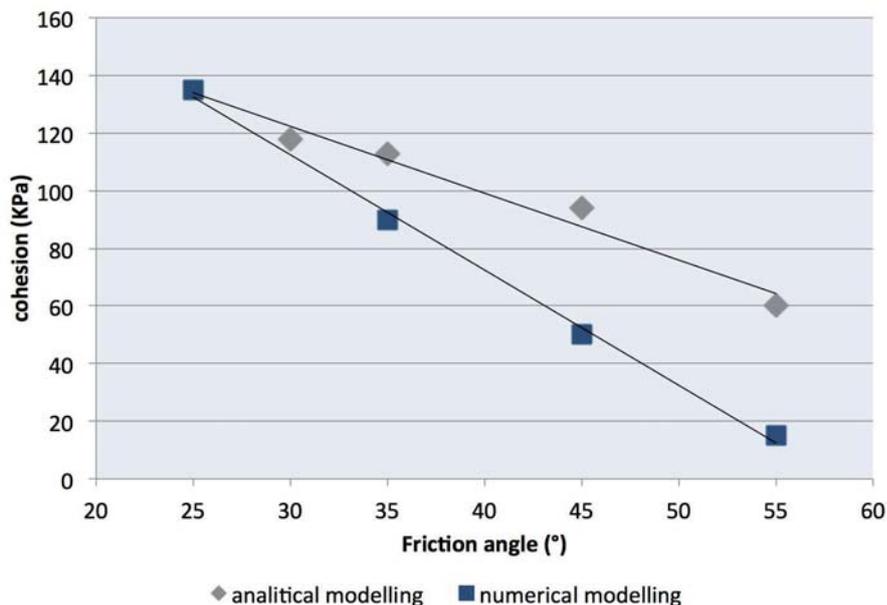


Figura 17 – Confronto tra modellazione analitica e numerica nella back analysis della frana del 1993 sulle piroclastiti stratificate. Il modello numerico è stato redatto Urbani (2016) mentre quello analitico è di Margottini, in Iacurto (2002)

I risultati, riportati nella Fig. 17 non differiscono sensibilmente, specialmente nel range dei bassi valori di angolo di attrito, come presumibile in una formazione caratterizzata da livelli limoso-sabbiosi-argillosi e che presenta un comportamento prevalente di tipo Mohr-Coulomb.

I risultati delle analisi sono espressi in forma grafica nella Fig. 18 in forma di linee che forniscono i valori di coesione ed attrito mobilizzati, in termini di tensioni efficaci per i diversi valori di r_u .

I risultati ottenuti non sono dissimili da quanto riportato precedentemente.

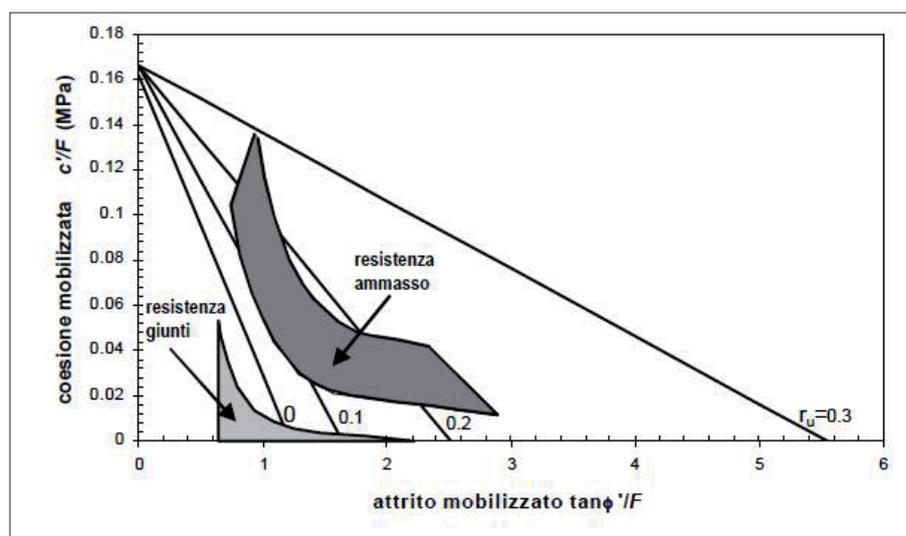


Figura 18 – Coesione mobilizzata in funzione dell'attrito mobilizzato per diversi valori del rapporto delle pressioni interstiziali r_u , confrontata con i campi relativi alla resistenza dei giunti e dell'ammasso roccioso. c' =coesione; ϕ' =angolo di attrito; F = fattore di sicurezza

Una ulteriore back analysis basata sull'assetto strutturale è stata eseguita da Casagli et al. (2000), utilizzando il metodo dell'equilibrio limite con la soluzione rigorosa di Morgenstern & Price (1965), considerando

Infine, si evidenzia che la formazione presenta comunque uno stato di fratturazione in continuità con l'ignimbrite massiva sovrastanti ma con una spaziatura decisamente minore.

Ignimbrite massiva tefritico-fonolitica (tufo litoide a scorie nere, Pleistocene superiore): si tratta di una ignimbrite tefritico-fonolitica dall'aspetto massivo, caotico, di colore rosso-giallastro, con blocchi di pomice e scorie nere, dallo spessore massimo di 25 metri. Questa ricopre la sottostante formazione quasi per l'intero perimetro dell'abitato di Civita e si fa risalire ad una fase (fase 3) di eruzioni calderiche di tipo "ash flow", i cui depositi sono esposti principalmente nel settore NE di Bolsena (Formazione del tufo di Orvieto) e nel settore di Bagnoregio che può essere considerato un espandimento distale, definito come "Lubriano ash flow" (flusso di cenere).

Dal punto di vista meccanico Iacurto e Priori (1995) forniscono una dettagliata stratigrafia geotecnica, attraverso l'analisi di labo-

Tabella 1 – sintesi di tutti i dati disponibili Urbani (2016)

	γ [KN/m ³]	Φ'	Cohesion (peak) [kPa]	E [kPa]	ν	G	e_0
Ignimbrite massiva con fratture	13	30	5	2×10^6	0,25	833333	1,38
Ignimbrite massiva	13	30	160	2×10^6	0,2		1,38
Piroclastiti stratificate	15	30	75	2×10^6	0,25		1,12
Argille	18	28	50	5×10^5	0,2		0,66

dimenti limo-sabbiosi delle formazioni sovrastanti inglobanti clasti eterometrici della coltre vulcanica di copertura; in tali materiali si rinvenivano inoltre riprese e rimaneggiamenti degli stessi materiali detritici costituenti. Per le scadenti caratteristiche geotecniche rappresentano una formazione ad elevata instabilità morfologica con notevole propensione ai dissesti tipo "colata di fango" e debris flow dove prevale la componente detritica. Anche

Dove:

E = Modulo di Young [kN/m²]

ν = Coeff. di Poisson [-]

G = Modulo di Taglio [kN/m²]

ci = Coesione [kN/m²]

φ_t = Angolo di attrito [°]

ASSETTO STRUTTURALE

Un ammasso roccioso è usualmente costituito da blocchi di materiale roccioso separati da giunti o discontinuità; il suo comportamento meccanico dipende quindi sia dalle proprietà meccaniche del materiale roccioso intatto sia dalle caratteristiche delle discontinuità. L'importanza relativa di questi due fattori è legata al rapporto tra la spaziatura delle discontinuità e l'estensione dell'area interessata nei fenomeni di crollo.

In Fig. 20 si riporta l'analisi strutturale condotta in 14 linee di scansione nella rupe di Civita. Le analisi tradizionali prevedono la classificazione degli ammassi rocciosi e quindi l'analisi cinematica dei versanti in esame. Con tale analisi si riesce ad ottenere una prima valutazione della propensione al dissesto, in condizione di coesione nulla.

Si riporta di seguito l'analisi cinematica per la verifica speditiva della stabilità degli ammassi rocciosi, sia in condizioni naturali che in relazione agli effetti di interventi antropici. Queste metodologie consistono essenzialmente nell'analisi delle condizioni cinematiche che controllano la possibilità di movimento dei blocchi, in condizioni di coesione nulla. Le analisi di tipo cinematico, seppur basate solo su pochi fattori, hanno il vantaggio di poter essere applicate rapidamente ad un gran numero di blocchi di differente geometria e, di conseguenza, permettono l'individuazione delle situazioni più instabili. Pertanto l'analisi cinematica costituisce la fase preliminare della verifica della stabilità dell'ammasso roccioso e si colloca in una posizione intermedia fra la fase di rilevamento geologico tecnico e quella dell'analisi meccanica della stabilità.

Nel caso di specie, l'analisi cinematica viene riferita alla formazione dell'Ignimbrite Massiva superiore e, per quanto attiene alla superficie geometrica esterna (slope face), vengono effettuate quattro simulazioni su altrettante porzioni della rupe (Fig. 21). L'angolo di attrito viene riferito alle discontinuità esistenti e stimabile in circa 28° per quello di base (Casagli *et al.*, 2000) e 41° considerando l'intero ammasso (Roelab© in Doglioni,

Diagramma di Deere-Miller

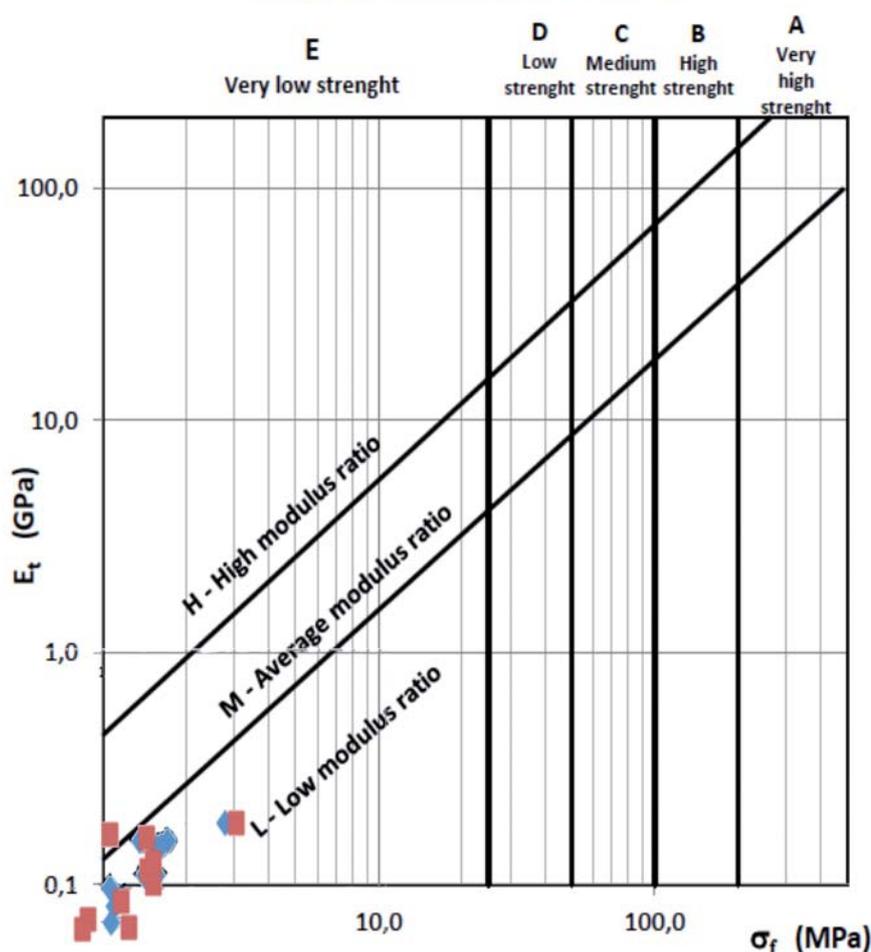


Figura 19 – Diagramma Deere-Miller per la formazione dell'ignimbrite massiva tefritico-fonolitica. In rosso sono i campioni essiccati ed in azzurro quelli saturi (dati da Iacurto & Priori, 1995)

ratorio dei campioni prelevati in un sondaggio nella parte alta di Civita. Si allega la elaborazione di Deere-Miller per inquadrare tipologicamente il materiale in esame (Fig. 19).

Coltri detritiche e di frana (Olocene): nella parte medio-bassa del pendio sono presenti, ad eccezione delle aree denudate, coltri detritiche e materiali in frana costituiti da se-

in questo caso, l'elaborazione della back analysis di un debris flow ha consentito di ipotizzare la resistenza al taglio dei materiali.

Un tentativo di sintesi di tutti i dati disponibili è stato eseguito da Urbani (2016) che, per le analisi di stabilità condotte presso l'Università La Sapienza di Roma ha utilizzato, tra gli altri, i valori riportati nella Tab. 1.

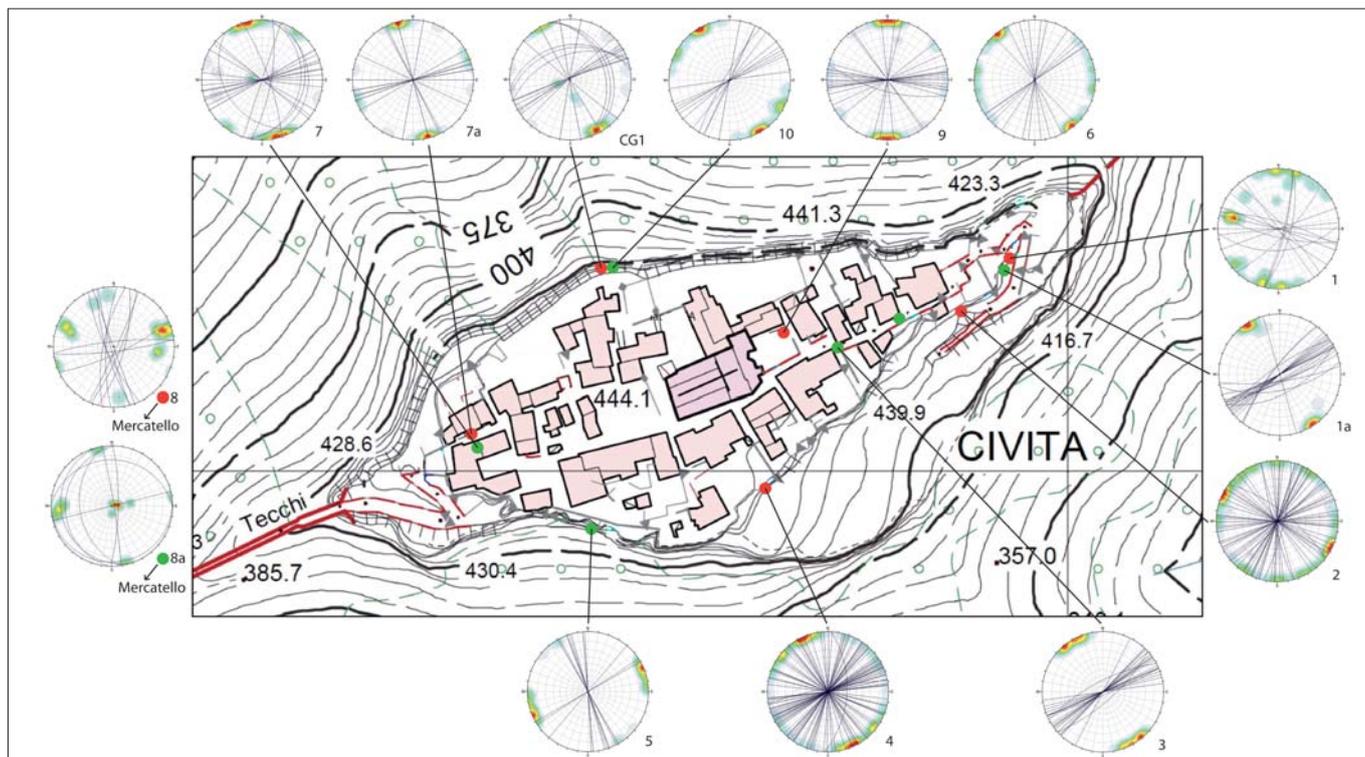


Figura 20 – Analisi strutturale sulla rupe di Civita di Bagnoregio. In rosso le stazioni eseguite sulla formazione dell'Ignimbrite massiva ed in verde quelle sulle piroclastiti stratificate

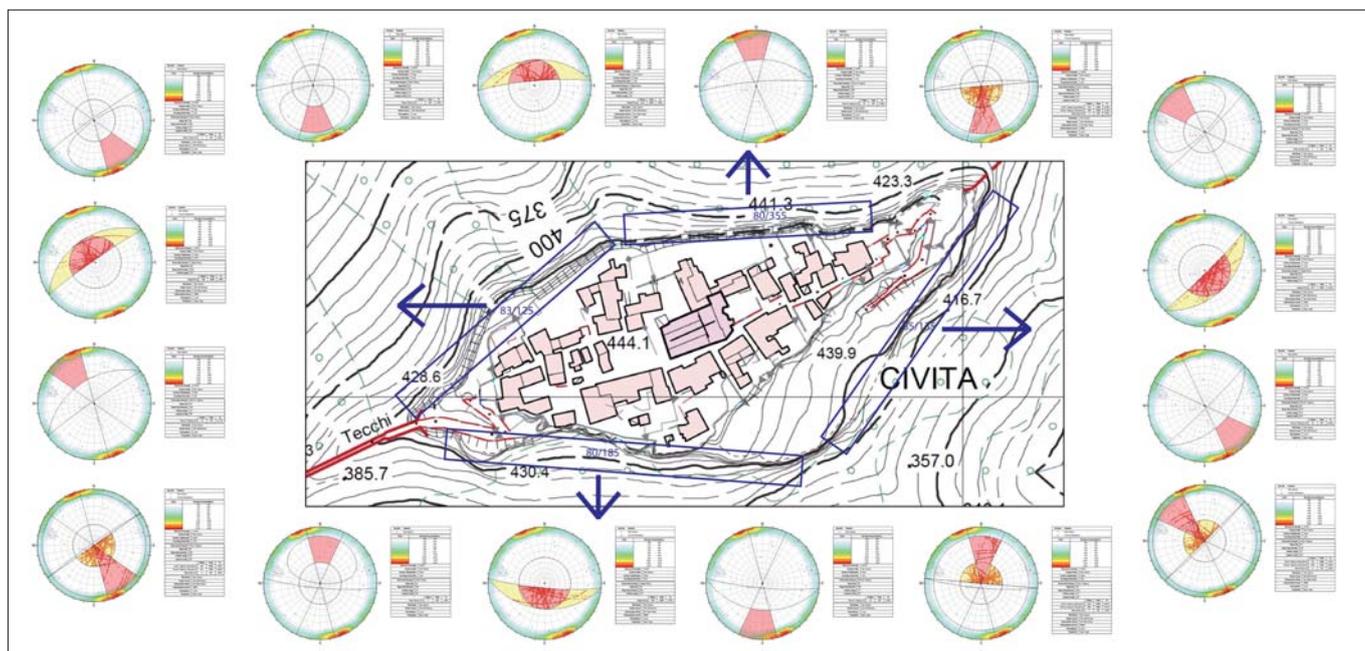


Figura 21 – Analisi cinematica relativa alla parte alta della rupe (ignimbrite massiva) nei diversi settori di Civita. Gli stereonet, per ogni lato, riportano, da sinistra verso destra, la propensione agli scivolamenti planari, ai cunei di roccia, ai toppling fessurali ed ai toppling diretti

2007). Le analisi cinematiche vengono quindi riferite al valore di attrito pari a 41° .

Sulla base delle elaborazioni eseguite con DIPS© emerge che il lato occidentale della rupe è potenzialmente interessabile da toppling obliquo nelle intersezioni tra i giunti (43,66%). Minori sono le probabilità di ribaltamento flessurale (11,71%), scivolamento di cunei (6,98%) e planare (0,49%). Il lato settentrionale della rupe è potenzialmente interessabile da toppling diretto nelle intersezioni tra i giunti (34,99%). Minori sono le probabilità di ribaltamento flessurale (17,56%), scivolamento di cunei (4,89%) e planare (0,49%). Il lato orien-

tale della rupe è potenzialmente interessabile da toppling obliquo nelle intersezioni tra i giunti (39,99%). Minori sono le probabilità di ribaltamento flessurale (14,63%), scivolamento di cunei (10,91%) e planare (1,46%). Infine, il lato meridionale della rupe è potenzialmente interessabile da toppling diretto nelle intersezioni tra i giunti (30,57%). Minori anche qui sono le probabilità di ribaltamento flessurale (8,78%), scivolamento di cunei (6,75%) e planare (1,46%). Tali valori rappresentano comunque una prima indicazione e non vogliono sostituire le analisi di pericolosità più dettagliate.

EVOLUZIONE FUTURA

L'evoluzione futura di un luogo quale Civita di Bagnoregio non è decisamente cosa semplice (Bandis *et al.*, 2000). La serie storica ricostruita e le informazioni disponibili consentono di definire la frequenza delle frane pregresse e quindi un modello comportamentale della rupe. Una visione paleoambientale d'insieme, seppur non esaustiva dei fenomeni effettivamente avvenuti, è riportata nella Fig. 22.

Dall'analisi delle frane storiche è quindi possibile ricostruire un possibile trend evolutivo e, utilizzando la metodologia proposta da Fell (1984), si può ottenere una valutazione

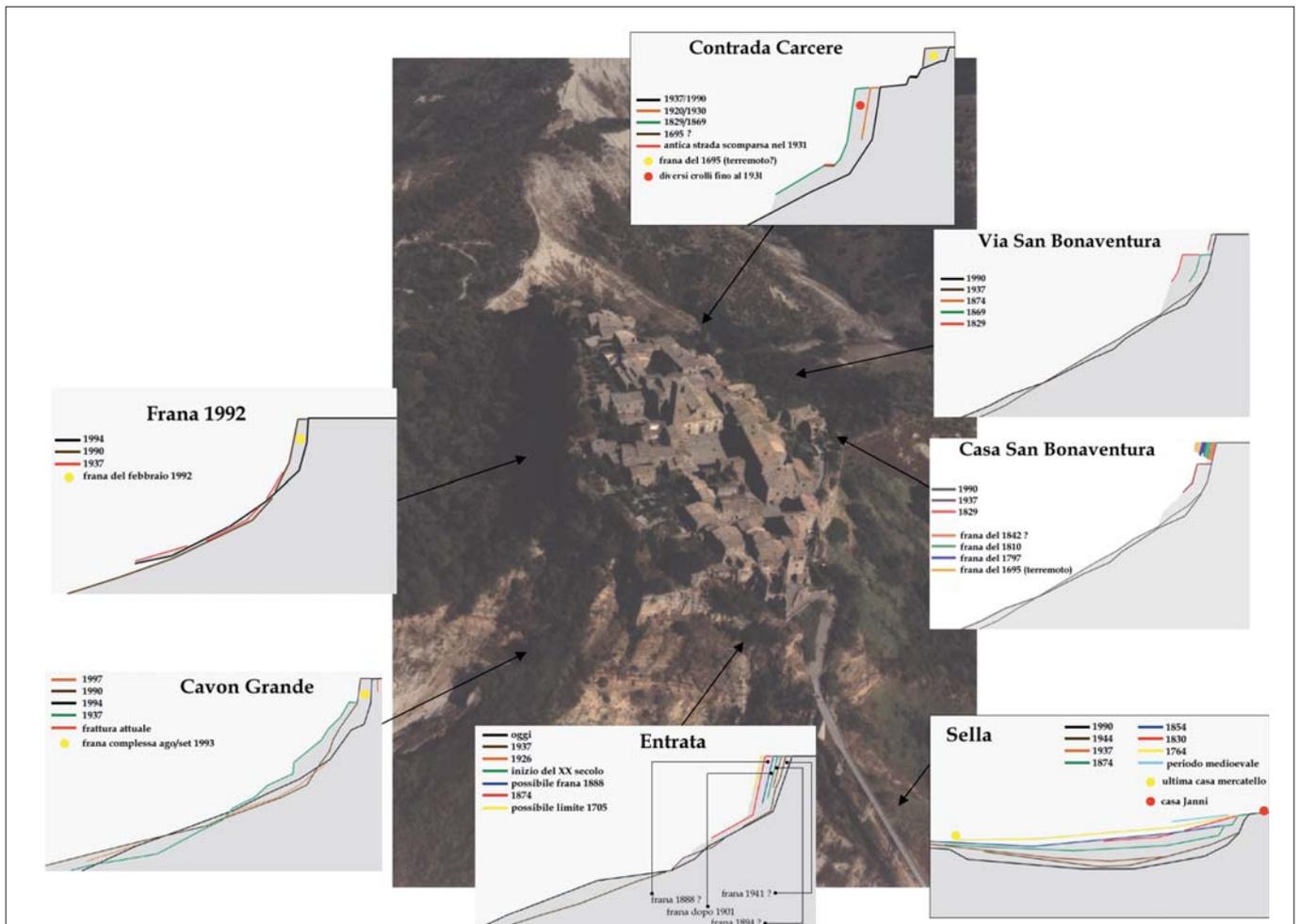


Figura 22 – Ricostruzione paleomorfologica della superficie di Civita di Bagnoregio negli ultimi secoli

della pericolosità, espressa in probabilità di occorrenza di fenomeni franosi, limitatamente ai bordi della rupe (Fig. 23).

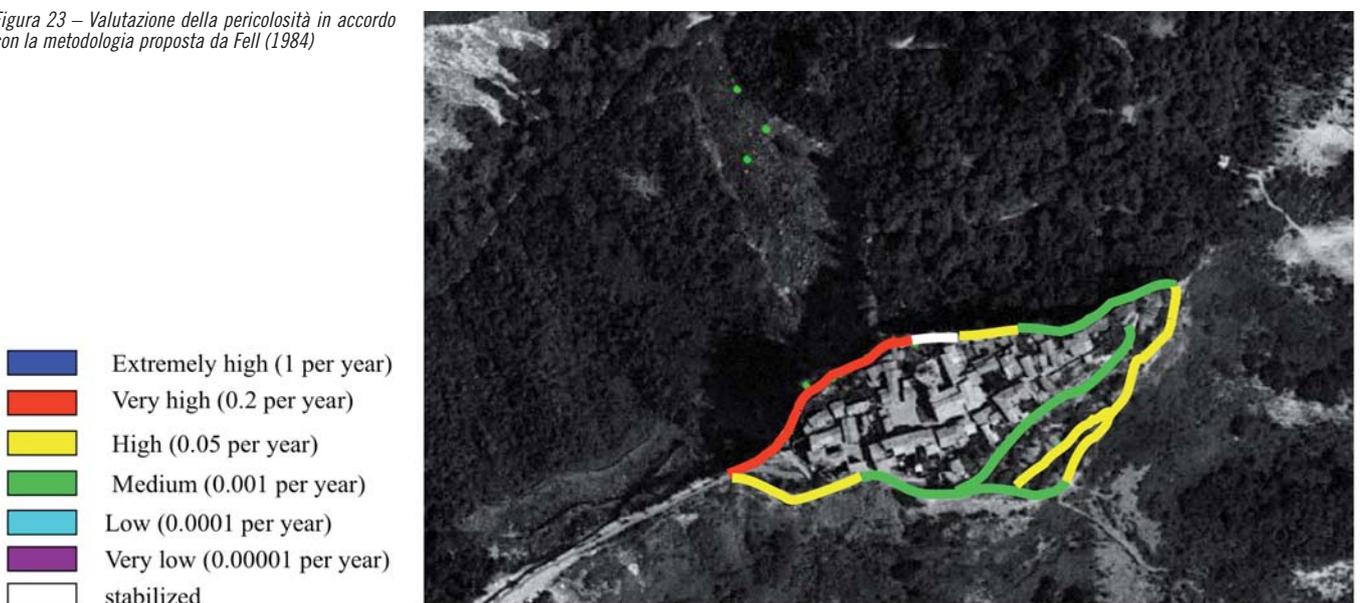
Un diverso approccio prevede invece l'uso di modellistica per definire il grado di probabilità oppure gli stati tensionali in grado di generare un fenomeno franoso. Alcuni studi sono stati condotti in questo campo da collaborazioni con la Simon Fraser University di Vancouver insieme all'Università di Bologna

(Marchesi, 2016) e con l'Università la Sapienza di Roma (Urbani, 2016).

Da tali indagini si evidenzia (Marchesi, 2016) come il modello numerico realizzato con Phase² rispetti i risultati previsti, e riproduca l'evoluzione generale del versante in modo vicino alla realtà, senza generare contrasti con la letteratura esistente ed i fenomeni osservati. In ogni caso, si evidenzia la presenza di criticità nella stabilità del versante

settentrionale, in assenza di opere di mitigazione, con superfici di scivolamento che nelle argille tendono a localizzarsi a circa i 15 m dalla superficie, nelle piroclastiti stratificate a circa 10 m, e nell'ignimbrite massiva a circa 1 a 3 m dal bordo. Il lavoro ha comunque evidenziato la sensibilità dei vari modelli alla mesh utilizzata, alle aree di passaggio tra materiali diversi, alle proprietà delle argille ed alla topografia, ancora non disponibile in

Figura 23 – Valutazione della pericolosità in accordo con la metodologia proposta da Fell (1984)



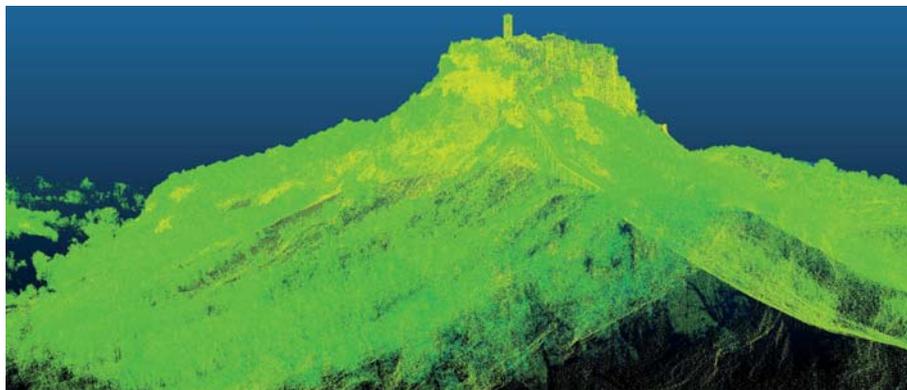


Figura 24 – Laser scanning della rupe di Civita e valle adiacente (Cortesemente fornita da Doug Stead e Davide Donati, Simon Fraser University, Vancouver, Canada)

modo accurato. Sulla base di queste indicazioni, la Simon Fraser University ha condotto una campagna topografica con Laser Scanning pervenendo al rilievo globale del colle di Civita e della valle adiacente (Fig. 24).

Urbani (2016) ha realizzato una raccolta sistematica dei dati geotecnici disponibile e prodotto una modellazione numerica 2D e 3D dell'intera rupe. La modellazione agli elementi finiti è stata eseguita attraverso il software Midas GTS NX, che permette la modellazione 2D e 3D di situazioni morfologicamente elaborate come nel caso di Civita. La modellazione è stato suddivisa in varie fasi: nella prima si sono analizzati i pendii in condizioni naturali, ovvero senza interventi di stabilizzazione. I risultati mostrano chiaramente come le potenziali superfici di scioglimento delle singole sezioni, rappresentate dai luoghi di punti che presentano le massime deformazioni di taglio, si inneschino sul versante Nord nelle sezioni della zona Ovest (tra la porta di accesso e metà rupe) e sul versante Sud nelle sezioni della zona Est (tra metà rupe e la contrada Carcere). La modellazione successiva ha considerato gli interventi di mitigazione effettuati pervenendo a proposte operative per una stabilità globale del colle.

INTERVENTI DI MITIGAZIONE

Numerosi progetti sono stati realizzati nelle pendici e rupe di Civita, con risultati non sempre soddisfacenti. La motivazione degli insuccessi è spesso collegata alla mancanza di una visione globale dei processi che intervengono sui versanti ed alla comprensione delle velocità con cui questi si esplicano. E' sufficiente citare come gli interventi lungo la sella che, eseguiti dagli anni '50 in poi, non sembrerebbero aver contribuito in modo sostanziale alla rimozione delle criticità geomorfologiche tutt'ora in atto.

Diseguito l'elenco cronologico degli interventi eseguiti (Margottini, 1990) aggiornato fino ai nostri giorni.

1957: il Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale, mediante cantiere di rimboschimento n. 111256/R in gestione all'Ispettorato Ripartimentale delle Foreste di Viterbo esegue lavori di sistemazione di rimboschimento con

piantine di robinia, nel versante sud della cresta su cui si svolge, nella sua parte più bassa, la strata per Civita (autunno 1956-primavera 1957). Anche queste opere daranno risultati negativi, perchè distrutte in breve tempo dagli smottamenti. (Petrangeli Papini F., 1972)

1959: a cura del Genio Civile di Viterbo (Impresa e brevetto Ing. Federico Vittore Nardelli), sono effettuati, lungo uno dei versanti laterali alla strada Bagnoregio-Civita e, più precisamente, lungo quello che fronteggia Lubriano, esperimenti di consolidamento elettrogeochimico (trasformazione chimico-fisica della roccia argillosa mediante la corrente elettrica). Si tratta del primo esperimento del genere in Italia. (Petrangeli Papini F., 1972)

1961: Il Genio Civile di Viterbo riprende i lavori di consolidamento delle argille, nei versanti laterali della parte più bassa della strada per Civita, col metodo elettrico (ottobre impresa e brevetto Ing. Nardelli). Non sembra, tuttavia, che i risultati finora conseguiti siano tali da franare il ripetersi degli smottamenti. (Petrangeli Papini F., 1972)

1967: a cura del Ripartimento Forestale e del Genio Civile di Viterbo vengono eseguiti lavori di consolidamento delle pendici argillose fiancheggiando il viadotto. c.a. di Civita, nonché di protezione della sommità pianeggiante della cresta su cui sono fondati i piloni del viadotto. (Petrangeli Papini F., 1972)

1988: a seguito di un finanziamento della Protezione Civile viene affidato alla Grassetto un progetto di consolidamento della sella di Civita, Versante settentrionale. I lavori furono avviati per rimuovere l'evidente situazione di pericolo per la stabilità dell'accesso all'abitato. Vennero realizzati 11 muri in calcestruzzo spazializzati nel pendio argilloso, lunghi 16 cadauno, opportunamente sottofondati e tirantati. Vennero inoltre eseguite una serie di chiodature sulle piroclastiti stratificate in corrispondenza dell'ammorsamento del ponte sulla rupe tufacea. Infine, vennero eseguite opere di raccolta e regimazione delle acque piovane e di scarico.

1998: un progetto da sottoporre al FIO (Fondo Investimento ed Occupazione) venne

realizzato con il contributo dei Proff. Lunardi e Jamiolkowsky, avente come scopo la stabilizzazione globale della rupe tufacea. Il progetto prevedeva la costruzione di due gallerie parietali dalle quali avrebbero dovuto essere realizzati una serie di ancoraggi di stabilizzazione verso l'esterno, oltre ad altre opere accessorie. Il progetto non verrà mai realizzato.

1993: il Consorzio Civita e l'ISMES redigono un progetto di stabilizzazione complessiva del versante settentrionale di Civita. Il progetto prevedeva: ancoraggi nell'ignimbrite massiva e nella piroclastite stratificata; un muro di contenimento dell'erosione superficiale al contatto tra vulcanico e sedimentario; la riduzione della pendenza media del pendio con il rimodellamento plano-altimetrico del versante argilloso con briglie in gabbioni fondati su pali e riporto in scapoli di pietrame; la realizzazione di pozzi strutturali di diametro di 10 m e profondi 20-25 m, nella parte mediana del versante, aventi lo scopo di impedire scoscendimenti profondi di elevato spessore; la sistemazione dell'alveo di un tratto del fosso di fondolalle con materassi tipo Reno e risagomato mediante la costruzione di briglie in gabbioni. Il progetto non verrà mai realizzato.

1993-1995: nell'ambito dei fondi regionali GAL Teverina, vennero realizzati una serie di interventi sperimentali di ingegneria naturalistica per la protezione dei percorsi naturalistici che si andavano realizzando. I muri verdi realizzati sono risultati particolarmente efficaci.

1998: Il Genio Civile di Viterbo e la Regione Lazio realizzano una deviazione del fosso del Cireneo, che lambiva i terreni detritici depositatesi dopo il debris flow del 1996. Tale deviazione, ancora perfettamente funzionante, ha consentito di allontanare il corso del fosso dalle pendici di Civita.

1998: con lo scopo di stabilizzare una porzione del versante settentrionale dove nel 1993 si era registrato un importante crollo, la Protezione Civile Nazionale finanzia un intervento di consolidamento della rupe di Civita. Il Comune affida l'incarico all'ENEA, nella persona del dott. Claudio Margottini, con la collaborazione del prof. Vittorio Colombini dell'Università di Potenza. La tipologia degli interventi adottata nel progetto per la stabilizzazione del fronte tufaceo, prevedeva la realizzazione di 2 pozzi cavi in c.a., ubicati a ridosso dei due fronti di frana (Bandis *et al.*, 2000). Questa tipologia innovativa consentiva di realizzare verso l'esterno interventi di bonifica con iniezioni e di collegamento con chiodi e tiranti dei massi instabili. Gli interventi sono risultati efficaci.

2000-2012: in questo periodo l'Amministrazione Comunale affida la realizzazione di ulteriori 5 pozzi, a valere su risorse del Ministero Ambiente (due pozzi), Protezione Civile (due pozzi), regione Lazio (un pozzo). I pozzi intervengono a ridosso della zona del Cavon

grande, con la stessa tecnica realizzata nel 1998 con il progetto ENEA, ma in condizione morfologiche profondamente diverse.

2012-2016: progetto di consolidamento delle piroclastiti stratificate, a valere sulle risorse dell'8 per mille (annualità 2008). Il progetto ha previsto la realizzazione di chiodature passive nella zona del Cavon Grande (versante settentrionale).

2012: la regione Lazio finanzia un intervento per la regimazione idraulica del versante meridionale della sella di accesso a Civita di Bagnoregio, danneggiata dalle colate di fango del 2010. Gli interventi hanno previsto la realizzazione di due briglie di grandi dimensioni nella zona di trasporto della colata ed una serie di limitate regimazioni idrauliche nell'area di innesco. I risultati non sembrerebbero essere stati particolarmente efficaci.

2012: in seguito allo scivolamento di una coltre detritica in località Mercatello, avvenuta nel 2010, la Regione Lazio finanzia la bonifica di tale area. Verranno realizzate 4 palificate, ognuna delle quali collegata in testa con una soletta in calcestruzzo, nella parte argillosa del versante e una serie di tiranti con reti contenitive sulla formazione tufacea sovrastante.

2016: nella stessa area di Mercatello oggetto degli interventi del 2012 si verifica, nel 2015, un ulteriore cedimento e scivolamento delle piroclastiti stratificate. La Regione Lazio finanzia un primo progetto di pronto intervento e successivamente il consolidamento dell'area attraverso micropali solidarizzati nella parte alt della strada da una soletta di calcestruzzo cementizio. Altre opere di drenaggio sono in corso di realizzazione.

CONCLUSIONI

L'area di Civita di Bagnoregio e della adiacente valle dei calanchi rappresentano un "unicum" paesaggistico dove si coniugano processi geomorfologici ad elevata intensità e capacità di adattamento dell'uomo ad un ambiente ostile. L'antropizzazione dell'area non è stata una costrizione: le peculiari asperità morfologiche ne facevano un sito facilmente difendibile e quindi di grande interesse nelle varie epoche storiche, oltreché una ottimale posizione geografica, tra i due importanti insediamenti etruschi di Orvieto e Bolsena.

L'attrattività sitologia si è comunque dovuta scontrare, nei vari secoli, con le instabilità e fragilità geomorfologica del territorio: continue frane e crolli che costringevano a modificare le strade di accesso, costruire nuovi ponti, sviluppare nuovi modelli di gestione del territorio per salvaguardarne l'integrità. Una semplice analisi morfometrica evidenzia come, senza l'urbanizzazione delle ultime migliaia di anni, anche la rupe di Civita si sarebbe dissolta, analogamente ad altri speroni che oggi si vedono nella valle. Questo

consente di affermare che l'attuale rupe è il frutto di una evoluzione che integra forzanti ambientali e resistenze antropiche.

In conseguenza di quanto sopra riportato, come evidenziato dai numerosi interventi di mitigazione del dissesto eseguiti nei soli ultimi cinquant'anni, la salvezza di Civita non passa per le mere risorse finanziarie. C'è necessità di competenze specialistiche in grado di quantificare i processi in atto e progettisti innovativi capaci di superare l'ordinario e concepire nuove soluzioni sulla base delle più moderne tecnologie in continua evoluzione. In altre parole Civita di Bagnoregio si può salvare solo se diviene un laboratorio sperimentale della Comunità Scientifica tutta, dove sviluppare indagini innovative, sistemi di monitoraggio avanzati, soluzioni efficaci capaci di sintetizzare il mantenimento della qualità del paesaggio con la concretezza del risultato. Civita di Bagnoregio può quindi essere considerato un laboratorio unico per lo studio e la mitigazione del dissesto idrogeologico, dove si possano sperimentare tecnologie e soluzioni che richiedono una immediata validazione, tali da poter poi essere trasferite ad altre realtà nazionali ed internazionali.

In altre parole, in base alle considerazioni di cui sopra, si ritiene che Civita di Bagnoregio possa sicuramente rappresentare un modello di interesse internazionale dove coniugare la tutela del territorio con lo sviluppo sostenibile. La candidatura a patrimonio dell'Umanità dell'UNESCO è sicuramente un primo ma fondamentale passo in questa direzione.

BIBLIOGRAFIA

- BANDIS S., COLOMBINI V., DELMONACO G., MARGOTTINI C., 2000. *New typology of low environmental impact consolidation fro rock fall prone cliffs throught interventions from the underground*. In BROMHEAD E., DIXON N., IBSEN M.L., *Landslides in research, theory and practice*.
- CASAGLI N., DELMONACO G., FOCARDI P., MARGOTTINI C., SERAFINI S. 2000. *Analisi dei fenomeni di dissesto a Civita di Bagnoregio ed interventi di stabilizzazione*. Convegno Geoben 2000 Torino 7-9 giugno 2000.
- DELMONACO G., MARGOTTINI C., PUGLISI C., FALCONI L., SPIZZICHINO D (2004). *Mitigation strategies of Cavon Grande landslide in Civita di Bagnoregio (Italy)*. In: (a cura di): LACERDA, EHRlich, FONTOURA, SAYAO, *Landslides: evaluation and stabilisation*. LONDON: Taylor & Francis, ISBN: 9780415356657
- DELMONACO G., MARGOTTINI C., SPIZZICHINO D (2009). *Low-impact interventions for the preservation of cultural heritage: the dying town of Civita di Bagnoregio (Central Italy) and the killer landslide*. In: (a cura di): FEDERICO M. MAZZOLANI, *Protection of Historical Buildings*, 2-Volume Set: Prohitech 09. ISBN: 9780415558037, Rome, 21-24 June 2009
- DOGLIONI N., 2007. *Studio del versante roccioso in località Civita di Bagnoregio (VT)*. Studio Tecnico Baffo. Rapporto interno.
- ENELHYDRO, 2001. *Campagna di monitoraggio a Civita di Bagnoregio*. Progetto Parnaso. Report interno
- FOCARDI G. 1992. *I dissesti di Civita di Bagnoregio*. Università degli Studi di Firenze. Tesi di Laurea.

- FOCARDI P. 1992. *Civita di Bagnoregio: caratterizzazione geotecnica dei terreni*. In: MARGOTTINI E POLCI (ed) *Atti del convegno sul dissesto idrogeologico e centri abitati instabili*. Roma
- GARBIN F, MARGOTTINI C, BRANCALEONI R, SONNESSA A (2013). *Softening and swelling mechanism affecting the south slope of Civita di Bagnoregio (Italy)*. In: (a cura di): BILOTTA E, FLORA A, LIRER S, VIGGIANI C, *Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites*. London: Taylor & Francis Group, ISBN: 978-1-138-00055-1, Napoli, 30-31 may 2013
- GISOTTI G. (1992), *Rapporto fra suolo e piante nelle argille. Il caso di Civita di Bagnoregio*. In: MARGOTTINI C., POLCI S. (a cura di), *Studio monitoraggio e bonifica dei centri abitati instabili*. ENEA, Associazione Civita, Ordine Nazionale dei Geologi.
- IACURTO D. 2002. *Il consolidamento della rupe e pendici di Civita di Bagnoregio: indagini pregresse e proposte di intervento*. Thesis in Environmental Engineering, University of Perugia.
- IACURTO O., PRIORI A. 1995. *Caratterizzazione geomeccanica delle ignimbriti compatte di Civita di Bagnoregio (VT) in situazioni di dissesto idrogeologico*. Geologia tecnica e ambientale. 2, 35-51.
- LATELLA L., 2001. *Relazione geologica – sismica – idrogeologica – geomorfologica – idraulica*. Regione Lazio. Rapporto interno.
- MARGOTTINI C., 1990. *Evoluzione morfologica dell'area di Civita di Bagnoregio in tempi storici*. In: MARGOTTINI e SERAFINI (ed.) *Civita di Bagnoregio. Osservazioni geologiche e monitoraggio storico dell'ambiente*. ENEA, Ass.Progetto Civita. Roma
- MARGOTTINI C (2013). *Low environmental impact consolidation works in the rock cliff of Civita di Bagnoregio (Central Italy)*. In: (a cura di): MARGOTTINI C, CANUTI P, SASSA K, *Landslide science in practice: risk assessment and mitigation*. Heidelberg-Berlin-New York: Springer Verlag Inc., ISBN: 978-3-642-31318-9
- MARGOTTINI C., DI BUDUO G. M. (2017), *The landslides and Geological Museum of Civita di Bagnoregio*, in: Landslides, ICL.
- MARGOTTINI C., MELELLI L., SPIZZICHINO D. (2017). *A living landscape at the border of Volcano: Mesa and Butte landforms in Lazio, Umbria and Tuscany*. In: SOLDATI M., MARCHETTI M. (eds), *Geological Landscapes of Italy*. Springer ISBN 978-3-319-26192-8.
- MARGOTTINI C., SERAFINI S. 1990. *Civita di Bagnoregio. Osservazioni geologiche e monitoraggio storico dell'ambiente*. ENEA, Ass.Progetto Civita.
- NAPOLEONI Q. 1991. *Civita di Bagnoregio: un esempio di recupero*. L'ingegnere, ingegneria Ambientale e Territoriale. Vol 5-8, pp. 99-111.
- PUGLISI C., 1987. *Caratterizzazione geomeccanica delle argille di Civita di Bagnoregio*. Università La Sapienza, Roma, Tesina in Geologia Applicata.
- NOLASCO D., 1997. *La valle dei calanchi di Civita di Bagnoregio*. Università degli studi La Sapienza di Roma. Tesi di Laurea in Geomorfologia.
- SCIOTTI M, FOCARDI P, MARGOTTINI C, OGLIOTTI C, SERAFINI S (1997). *Civita di Bagnoregio: a town in decline. Geotechnical engineering for the preservation of monuments and historic sites*. In: (a cura di): VIGGIANI C, *Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic sites*. London: Taylor & Francis Group, ISBN: 9789054108719
- URBANI M. 2016. *Modellazione FEM di interventi di stabilizzazione sulla rupe di Civita di Bagnoregio*. Università degli Studi La Sapienza, Facoltà di Ingegneria Civile e industriale, Corso di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio.

Lo studio delle serie di vegetazione per ottimizzare la riqualificazione ambientale delle aree calanchive di Civita di Bagnoregio attraverso l'ingegneria naturalistica

The study of vegetation series to optimize the environmental restoration of the eroded areas of Civita di Bagnoregio through bioengineering

Parole chiave (*key words*): Civita di Bagnoregio (*Civita di Bagnoregio*), frane (*landslides*), meccanica delle terre e rocce (*soil and rock mechanic*), mitigazione del rischio (*risk mitigation*)

Come vedremo in seguito, a proposito delle sistemazioni in Basilicata (Puglisi in Cornelini e Sauli, 2005) l'occhio esperto di chi sa cosa cercare è spesso sufficiente a capire quali siano le specie vegetali più idonee da utilizzare in interventi di Ingegneria Naturalistica. È evidente però che uno studio più approfondito consente di considerare un ventaglio più ampio di soluzioni e di operare scelte meglio ponderate.

Il progetto di ingegneria naturalistica si presenta come un progetto multidisciplinare ove l'esperto di ingegneria naturalistica lavora insieme agli esperti di altre discipline in una visione ecosistemica per individuare gli interventi per la stabilizzazione del suolo e per l'aumento della biodiversità, nella consapevolezza dei limiti della disciplina.

Per quanto riguarda l'analisi botanica del sito vorremmo, per questo caso particolare e più complesso di altri, proporre un approccio capace di cogliere gli aspetti attuali e potenziali, attento alle naturali dinamiche, centrato sul riconoscimento delle "serie di vegetazione".

Al fine di favorire la biodiversità è necessario introdurre specie autoctone scelte tra l'ampia gamma di entità che vanno a costituire i diversi stadi di ciascun ambito potenzialmente omogeneo.

La successione biologica e la serie di vegetazione sono due modalità di interpretazione di uno stesso processo: la prima si concentra sulla dinamica vegetazionale nel tempo in uno stesso sito, la seconda si occupa del processo così come possiamo percepirlo in un determinato momento ma in siti limitrofi che sono nelle stesse condizioni di ambiente fisico (substrato, morfologia, esposizione, clima).

Lo stato delle attuali conoscenze botaniche dell'area si fonda sull'analisi floristica pubblicata da Menghini (1971) e sul successivo lavoro di Pignatti, Loche e Squartini del 1992, nel quale gli autori, oltre ad approfondire gli aspetti floristici (le presenze delle singole popolazioni di specie vegetali) pongono particolare attenzione alla vegetazione, ossia al livello di comunità. In seguito Pignatti (1994) darà una preziosa interpretazione dei calanchi di Civita in un'ottica di paesaggio. L'interpretazione viene presentata come sequenza di sinrilievi di vegetazione, ossia delle stime di copertura delle diverse comunità vegetali riconosciute. Il metodo presenta essenzialmente un limite: è difficilmente replicabile e quindi necessita dell'autorevolezza di un autore come Sandro Pignatti perché se ne possano accettare i risultati. In seguito Blasi con il suo monumentale lavoro sulla Vegetazione d'Italia, grazie ai contributi di numerosi specialisti regionali riprenderà anche lo studio della vegetazione dei calanchi. Pur rientrando nella regione Lazio (Blasi *et al.*, 2010) vedremo che anche i contributi degli autori delle vicine Umbria (Biondi *et al.*, 2010) e Toscana (De Dominicis *et al.*, 2010) concorrono a inquadrare correttamente la vegetazione di Civita. Dall'estremo dettaglio della scala del rilievo floristico alla descrizione della vegetazione dell'intera Italia potrebbe sembrare che ci si sia allontanati dall'oggetto dello studio, in realtà alla base delle conoscenze botaniche c'è sempre il singolo individuo vegetale e l'insieme delle altre specie con cui concorre a strutturare le diverse comunità vegetali. Attraverso il riconoscimento degli ambiti potenzialmente uniformi e delle comunità vegetali ivi presenti è possibile individuare i rapporti

di dinamica successionale, o di semplice contiguità, che intercorrono tra le diverse comunità. Se poi si passa attraverso una restituzione cartografica si può riuscire ad abbinare il pragmatismo di un'indagine agevolmente replicabile alla sintesi del sinrilievo.

La nostra lettura, basata sulla bibliografia e su alcuni sopralluoghi, parte dalle analisi degli autori sopracitati.

VEGETAZIONE DEI TUFI

Serie del cerro e del carpino orientale

Vegetazione dei plateaux ignimbritici e dei versanti piroclastici a debole pendenza. Regione climatica mediterranea e submediterranea, dal piano mesomediterraneo superiore al mesotemperato inferiore subumido-umido

- Stadio maturo: bosco a dominanza di cerro (*Quercus cerris*) con roverella (*Quercus pubescens*), orniello (*Fraxinus ornus*) e acero campestre (*Acer campestre*). Il carpino orientale (*Carpinus orientalis*) è presente solo sporadicamente ma caratterizza la comunità vegetale in termini ecologici e biogeografici.
- Stadi dinamicamente collegati: arbusteti a prugnolo (*Prunus spinosa*), biancospino (*Crataegus monogyna*), rovo (*Rubus ulmifolius*), con caprifoglio etrusco (*Lonicera etrusca*).
- Comunità erbacee a dominanza di emicriptofite.

Quanto detto sopra vale per le vegetazioni che si impostano su suoli evoluti derivati dalle ignimbriti. Sui suoli erosi o su affioramenti litoidi sussistono le condizioni per ospitare individui arborei di leccio (*Quercus ilex*) alle esposizioni più soleggiate o individui di bagnarolo (*Celtis australis*) più in ombra.

In termini gestionali è bene evitare il progredire della vegetazione e della pedogenesi sui substrati ignimbritici della rocca, ragion per cui saranno da evitare quelle vegetazioni arboree o anche arbustive ed erbacee dinamicamente collegate ad esse.

Ciò non esclude però che le rupi tufacee possano ospitare cenosi vegetali per loro natura stabili e con apparati radicali poco aggressivi che possono contribuire ad evitare ingressione di specie legnose. Cercheremo perciò tra le specie della serie del leccio e in particolare tra quelle presenti a Civita, meglio adattate alla vita su substrati litoidi capaci di rallentare la dinamica della vegetazione: la violacciocca gialla (*Erysimum cheiri*), *Sedum acre* e *Sedum album* (per quelle specie erbacee, il cui nome volgare è poco conosciuto si è preferito non riportarlo). Camefita suffruticosa la prima e camefite succulente le altre due; inoltre muschi e licheni: per dare indicazioni sulle specie da preferire ci sarebbe bisogno di ulteriori indagini.

VEGETAZIONE RIPARIALE

Complesso di comunità vegetali igrofile e ripariali

Per la vegetazione che accompagna i due corsi d'acqua non possiamo parlare propriamente di serie di vegetazione ma di una sequenza di serie di vegetazione (talvolta costituite da un unico stadio) ordinate lungo un gradiente di disponibilità idrica, prevalentemente in contatto catenale tra di loro, in modo da costituire un geosigmeto. Data l'esigua dimensione dei corsi d'acqua presenti nell'area l'articolazione delle tipologie vegetazionali tipiche di questa sequenza si limita ad alcuni elementi: formazioni arboree a dominanza di salice bianco (*Salix alba*) e pioppo nero (*Populus nigra*) con ingressioni di olmo campestre (*Ulmus minor*) e pioppo bianco (*Populus alba*) dal fondovalle. Alle cenosi arboree partecipano e si alternano il salice da ceste (*Salix triandra*), il rovo bluastro (*Rubus caesius*) oltre alla cannuccia di palude (*Phragmites australis*) e la lisca maggiore (*Typha latifolia*).

In questo caso la vegetazione da favorire è indubbiamente quella arborea. Il fenomeno da contrastare, prima ancora che l'erosione dei versanti argillosi è l'approfondimento dei due corsi d'acqua. Ciò appariva evidente almeno già dal 18° secolo: "(...) Più proficuo sarebbe al secondo sito (Rio Vecchio) il vestito di piante di salci salvatici, Oppj, Ontani, ed altre piante atte a conservargli nell'umido piantati ben folti, che tenendo con le radici un talaro naturale alla ripa, che ivi giace tutta scoperta, la renderebbe immobile e pienamente sicura." (ASR, Buon Governo II, Busta 377 fascicolo II Perizia della strada rovinata e fosso rovinoso della Città di Bagnorea, 1765, foglio 1011: da Polci S. e Lattanzi F., 1988)

VEGETAZIONE DEI VERSANTI ARGILLOSI

Serie preappenninica neutrobasi-fila della roverella, con rosa sempreverde

Vegetazione delle basse colline dell'Italia centrale e meridionale su substrati argillosi ma anche di altra natura. Prevalentemente distribuita nella regione climatica mediterranea (piano mesomediterraneo da secco superiore a subumido) ma anche in quella temperata (piano mesotemperato), come nel caso in oggetto.

- Stadio maturo: bosco di roverella (*Quercus pubescens*) con olmo campestre (*Ulmus minor*), orniello (*Fraxinus ornus*) ed elementi mediterranei come la rosa sempreverde (*Rosa sempervirens*), o più semplicemente tipici di ambienti xerici come la ginestra (*Spartium junceum*). È bene sottolineare che le pendenze dei versanti argillosi non possono ospitare formazioni mature di tipo forestale se non in limitatissimi ambiti nei quali peraltro è molto forte la pressione di alloctone invasive come la falsa acacia (*Robinia pseudoacacia*) e l'albero del paradiso (*Ailanthus altissima*)
- Stadi dinamicamente collegati: arbusteti a ginestra (*Spartium junceum*) con rovo comune (*Rubus ulmifolius*)
- Aggruppamenti a canna di Plinio (*Arundo pliniana*)
- Formazioni pioniere ad inula (*Inula viscosa*)

In questo contesto troviamo anche aggruppamenti pionieri leggermente alofili ad *Atriplex prostrata* e a *Parapholis incurva*. Entrambe queste specie sono terofite (annuali) e, pur costituendo un importante stadio nella ricostituzione del manto vegetale, non garantiscono le necessarie caratteristiche tecniche per stabilizzare i versanti.



Figura 1 – *Parapholis incurva* (da: www.Acta Plantarum)



Figura 2 – Versante sud. Fitocenosi erbacee ad *Arundo pliniana* (foto L. Filesi)



Figura 3 – Versante nord. Presenze di *Spartium junceum* (foto L. Filesi)

Sui versanti argillosi si ritiene perciò che le specie da favorire, attraverso interventi di ingegneria naturalistica sia innanzi tutto la canna di Plinio accompagnata dalla ginestra e dall'inula. La canna di Plinio presenta molteplici vantaggi nell'ottica di stabilizzazione in quanto costituisce un intreccio di rizomi e presenta notevoli capacità di evapotraspirazione.

Consentire a Civita di continuare a vivere a lungo implica una serie di azioni che non possono limitarsi alla stabilizzazione della rupe e all'inerbimento dei versanti argillosi. Si accennava sopra all'importanza di rinforzare le sponde del Rio Torbido e del Rio Chiaro con vegetazione ripariale arborea per contenere i processi erosivi ma riteniamo che siano necessari anche interventi più drastici come ad esempio la costruzione di una serie di briglie o il rafforzamento delle esistenti. Inoltre sarebbe opportuno che l'intero bacino idrografico fosse interessato da interventi atti a mantenere una copertura vegetale pressoché continua, capace di rallentare la velocità delle acque dilavanti e quindi contenerne la capacità erosiva. Con questo non si intende alterare il paesaggio dei calanchi, questo significherebbe snaturare la stessa Civita ma ad esempio si potrebbe intervenire sul comparto agricolo riorientandolo verso tecniche che prevedono minimi movimenti di suolo secondo i principi della permacoltura (Fukuoka, 1980; Mollison e Holmgren, 1992).

Possiamo affermare quindi che si può sperare che gli interventi su Civita diano risultati soddisfacenti solo se si agisce a livello di paesaggio.

La stessa legge sulla difesa del suolo (L.183/89), in riferimento alla sistemazione dei bacini idrografici nelle aree montane, collinari e di pianura, prevede un intervento unitario da affrontare con un approccio sistemico nella coscienza del legame tra le condizioni del bacino superiore di raccolta, del torrente e del corso d'acqua a valle e quindi del reciproco condizionamento degli interventi nei vari tratti.

Va quindi privilegiato nelle sistemazioni un approccio a livello di bacino idrografico basato sull'intervento a lungo termine con opere estensive ed intensive nella parte superiore del bacino, ove il fenomeno erosivo inizia a manifestarsi ed ove la sistemazione agisce sulle cause del dissesto.

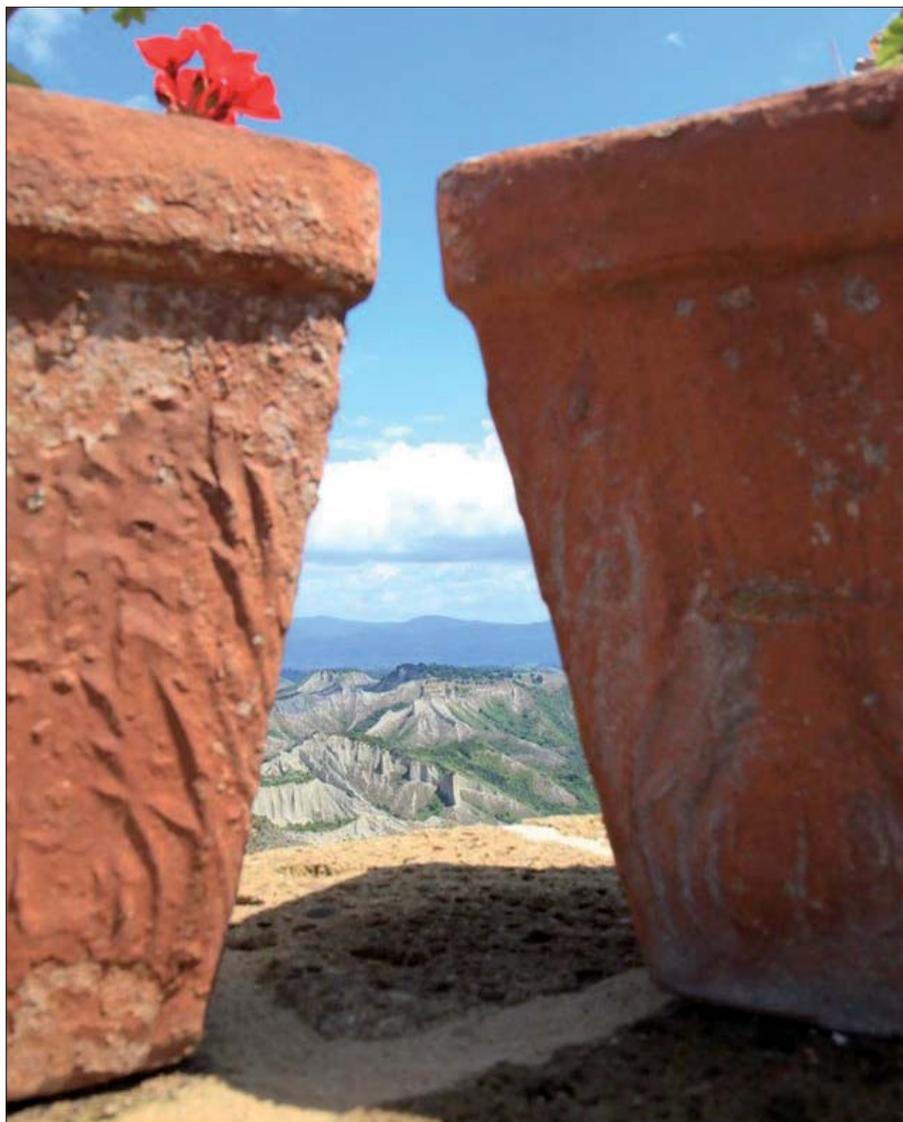


Figura 4 – Attenzione al paesaggio e attenzione al dettaglio, è questa la via da perseguire perché Civita viva ancora a lungo (foto Clelia Filesi)

L'ingegneria naturalistica che, come noto, utilizza le piante vive erbacee ed arbustive efficacemente nella protezione antierosiva e nella stabilizzazione degli strati di suolo attraversati dagli apparati radicali, può costituire un utile strumento nella stabilizzazione degli strati superficiali anche nelle aree argillose, ove servono le opere flessibili e deformabili piuttosto che quelle rigide, come dimostrano significative esperienze effettuate in passato a San Marino (vedi scheda di Emanuele Guidi) ed in Basilicata (vedi capitolo di Salvatore Puglisi).

Dall'analisi delle caratteristiche e delle tipologie del progetto, nonché dalle indagini topografiche, geomorfologiche, geotecniche, pedologiche e vegetazionali, è possibile individuare le tipologie degli interventi di ingegneria naturalistica e di rinaturazione, espresse anche come consorzi vegetazionali.

Le tecniche di ingegneria naturalistica utilizzabili nella difesa del suolo sono circa un centinaio e si possono distinguere nelle seguenti categorie principali (Schiechtl, 1992):

- 1) di rivestimento o antierosivi (tutti i tipi di semina, stuoi, ecc.);

- 2) stabilizzanti (messa a dimora di arbusti, talee, fascinate, gradonate, cordonate, viminate, ecc.);

- 3) combinati di consolidamento (palificate vive, grate vive, terre rinforzate rinverdate, etc)

Vale il principio di adottare le tecniche a minor livello di energia (complessità, tecnicismo, artificialità, rigidità, costo) a pari risultato funzionale / biologico) valutando il potenziale di recupero idromorfologico spontaneo.

Vanno ricordati, inoltre, i principi derivati da oltre un secolo di esperienze di sistemazioni idraulico-forestali da parte del Corpo Forestale dello Stato, tuttora validissimi, sebbene applicati solo in alcune Regioni italiane, (Bischetti G. *et al.* 2012, Gentile, 2012):

- integralità cioè di approccio alla sistemazione con riferimento al bacino idrografico nella sua completezza e con integrazione tra le opere in alveo e quelle sul versante, considerando l'equilibrio geomorfologico e i meccanismi di alimentazione solida nei vari tratti;
- gradualità degli interventi per valutare gli effetti dato che non esistono soluzioni rigide e definitive applicabili a sistemi

naturali complessi come i corsi d'acqua ed i bacini di alimentazione;

- continuità con la manutenzione ed il presidio del territorio.

L'ESPERIENZA STORICA DELLE SISTEMAZIONI CALANCHIVE IN BASILICATA (Salvatore Puglisi, in: Cornellini e Sauli, *Manuale di indirizzo*, Ministero dell'Ambiente, 2005)

Nel versante ionico vi sono estese aree calanchive molto incise da un fitto reticolo idrografico costituito, nei fondi valle, da canyon soggetti sia ad arretramento della testata, quindi molto ramificati, sia ad arretramento spondale che intacca i versanti, affetti da incisioni gully a V, oppure aventi facies calanchiva.

Obiettivo prevalente degli interventi di difesa del suolo in questa area è stato quello di contrastare la produzione di sedimenti a monte degli invasi per salvaguardarne la capacità di accumulo dall'insidia solida.

*La sistemazione dei calanchi, quindi, non doveva avere carattere idraulico-agrario con lo scopo di creare seminativi, come si era fatto in Val d'Era (PI) o a Brisighella (FO) dalla 2ª metà del XVIII secolo alla prima metà e oltre del XX, ma doveva attenere alle sistemazioni idraulico-forestali. Stante l'impossibilità, però, di rimboschire le pendici calanchive, l'inutilità di pròtesi quali le graticciate perché lo spapolamento delle argille le sifonava mettendo a nudo i paletti interrati e, pertanto, ne vanificava la funzione e non esistendo all'epoca le idrosemine, si cercò un rimedio diverso da tutti quelli noti a quell'epoca. Fu di aiuto l'osservazione di un ciuffo di sparto (*Lygeum spartum* L.) prostrato da una colatina fangosa che gli aveva strappato le foglie e i frutti, impedendone la disseminazione. Se ne dedusse che la vegetazione spontanea, se messa al riparo dagli effetti del processo pioggia-spapolamento delle argille crepacciate e del loro trasporto verso il basso allo stato di fango poteva affermarsi e colonizzare completamente il calanco. La Fig. 5 dimostra lo schema adottato e la Fig. 11 i risultati della prima fase (Puglisi, 1963).*

La seconda fase non ebbe luogo perché cessarono i finanziamenti. Ad essa, tuttavia, si può ovviare con messa a dimora di cespi di sparto e talee di atréplice nelle aree rimaste scoperte in modo da completare il rivestimento vegetale (Puglisi, 2002).

Per quanto riguarda le opere intensive si è fatto ricorso principalmente alle briglie in terra munite di scivoli per lo scarico delle portate di progetto, ricavati sul paramento di valle avente scarpa 2:1. Questo valore è compatibile sia con la stabilità dell'opera, in base alle proprietà dei materiali usati nelle aree del materano, sia con le caratteristiche idrauliche del canale di deflusso. Sulle pendici incise da fossi gully a V, si sono impiegate le piccole opere di cui alle Figg. 6 e 7, che hanno creato ambiti di stabilità tali da innescare il ritorno della vegetazione spontanea.

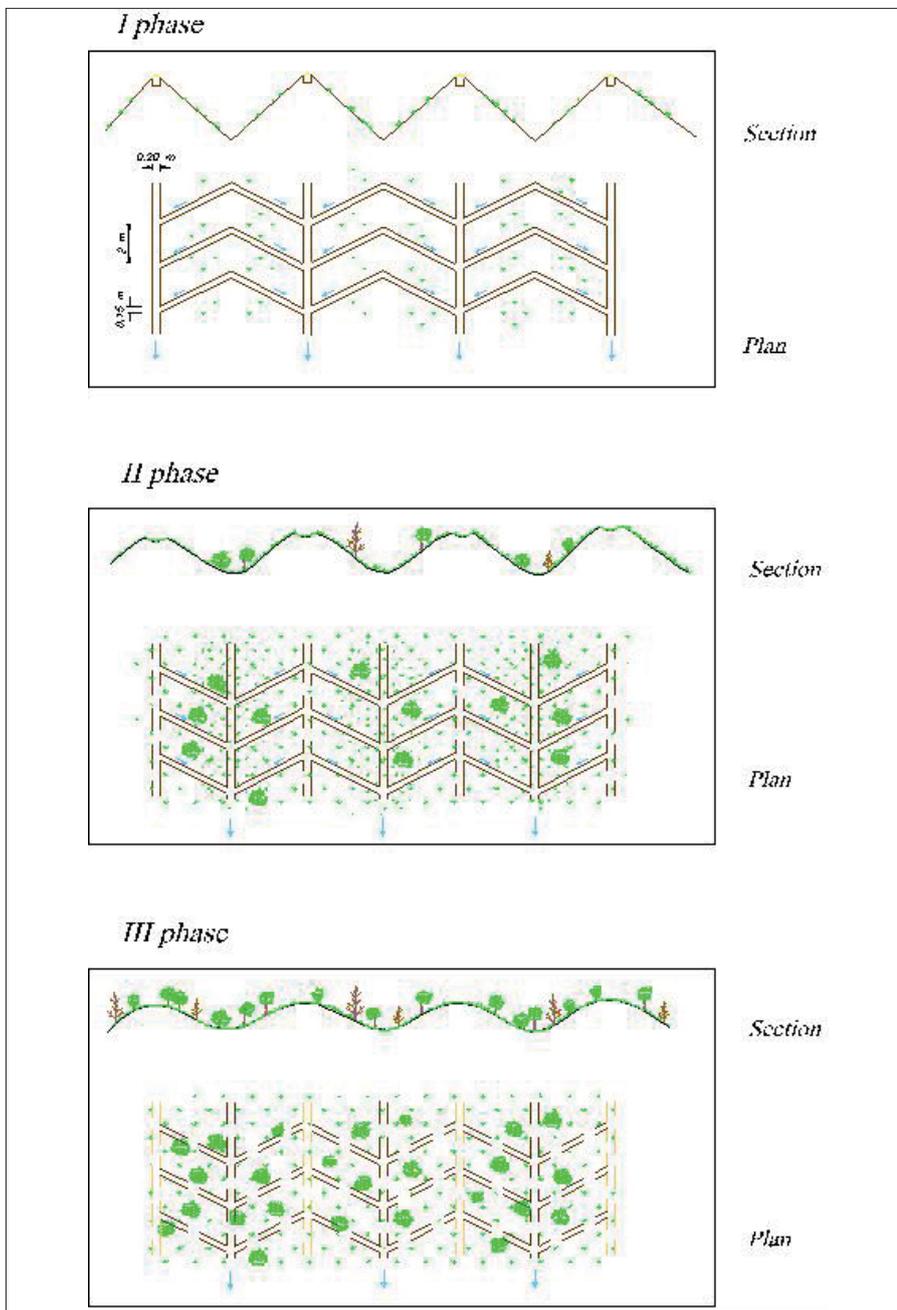


Figura 5 – Schema della sistemazione di un versante calanchivo. Nella 1^a fase si aprono sulle creste dei piccoli canali erodenti, per avviare la demolizione che verrà esaltata dagli apporti idrici dei solchetti, disposti a spina, che intercettano il ruscellamento e dagli impluvi lo riversano nei displuvi. Essendo stata impedita la formazione delle colatine di fango la vegetazione spontanea si afferma nelle vallecole. Nella fase successiva si sarebbe dovuto invertire la disposizione dei solchi a spina per deviare le acque precedentemente incanalate sulle creste verso le vallecole già rivestite di vegetazione e dare così modo a queste di ricoprire anche le 'lame' già smussate, ma non è stato fatto (da Puglisi, 1999)

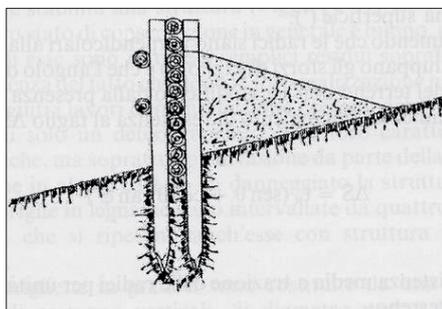
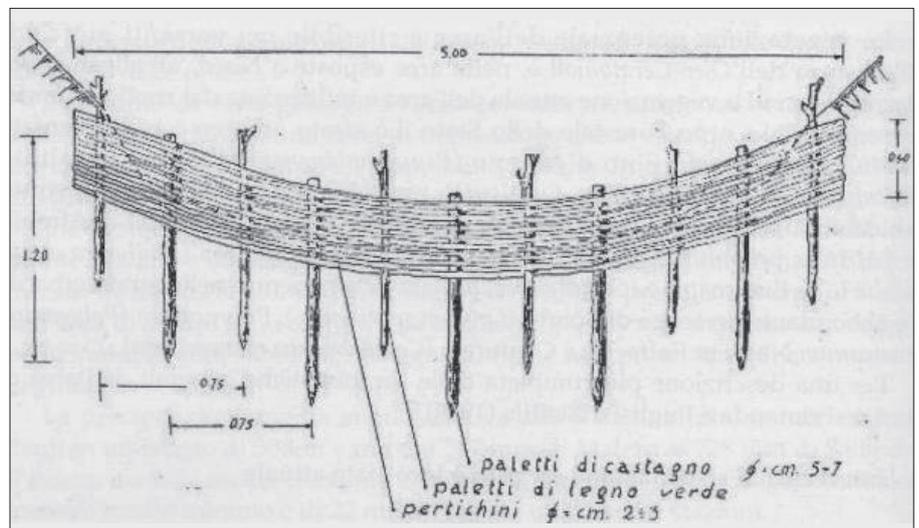


Figura 6 – Graticcio costruito con funzione di soglia in una piccola incisione gully. Progetto del 1957 (Isp. Rip. delle Foreste, Matera)

Figura 7 – Piccola briglia in legname con rinterro artificiale a monte (Isp. Rip. delle Foreste, Matera)



L'ESPERIENZA DI SAN MARINO (Emanuele Guidi. In: Cornellini e Sauli, *Manuale di indirizzo Ministero dell'Ambiente*, 2005)

SPECIFICITÀ DELL'INTERVENTO

Bonifica idrogeologica dei bacini calanchivi mediante la realizzazione di briglie in terra e calcestruzzo, con le quali viene riprofilata la pendenza del fosso di fondovalle e con il rimodellamento dei versanti, asportandone le creste e tamponando i burroni. La bonifica ha interessato 13 bacini per una estensione complessiva di circa 1000 ha; a titolo esemplificativo se ne prenderà in esame solamente uno. Alla bonifica primaria sono seguiti interventi di rinaturalizzazione.

STATO / COMUNE / LOCALITÀ

Repubblica San Marino / Acquaviva / Ca Amadore (*Bacino calanchivo di Fosso del Re*)

ALTITUDINE SLM / ESPOSIZIONE / INCLINAZIONE °
200-300 m / N / 17-35°

LINEAMENTI VEGETAZIONALI

Aggruppamenti vegetali termoxerofili tipici delle aree calanchive formati da: canneti ad *Arundo pliniana*, praterie con dominanza di *Agropyron repens* e *Brachypodium pinnatum*, praterie arbustate con dominanza di *Rosa canina*, *Spartium junceum* e *Tamarix gallica*, macchie a *Quercus pubescens* e *Fraxinus ornus*.

LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

Il bacino di Fosso del Re è costituito dalle Argille Varicolori della Val Marecchia, complesso caotico prevalentemente argilloso nel quale sono incorporati frammenti litologici di varia natura.

La tipica morfologia calanchiva a ventaglio con creste inframmezzate da solchi di erosione e burronamenti è stata addolcita con la realizzazione di una serie di briglie in terra ad anfiteatro.

OBIETTIVO DELL'INTERVENTO

La bonifica primaria persegue la riduzione della pendenza dei versanti ed il loro consolidamento, nonché la regimazione delle acque superficiali per diminuirne la forza erosiva e contenere l'ampliamento dei processi di dissesto.

Questa fase è poi seguita da interventi di rinaturalizzazione con tecniche di ingegneria naturalistica antierosive e/o stabilizzanti, volte a conseguire equilibri sostenibili ed a innescare successioni ecosistemiche.

TIPOLOGIE E DIMENSIONI DELL'INTERVENTO

Rimodellazione dei versanti con mezzi meccanici, costruzione di briglie in terra e di una rete di canalizzazioni per convogliare le acque a valle su una estensione di circa 20 ha (anni 1990-1994).

Esecuzione di idrosemina potenziata con mulch su una superficie complessiva di circa 9 ha (anni 1993-1994).

Realizzazione di una briglia viva in legname a tre paramenti aventi uno sviluppo lineare complessivo di 25,3 m ed altezza totale di 2,5 m. Realizzazione in un fosso in erosione di n.7 palizzate per impluvi aventi ciascuna un'altezza di 1 m, con sviluppo complessivo degli interventi di 36,8 m (aprile 2003).

MATERIALI MORTI IMPIEGATI

Tronchi di castagno scortecciati D 8-20 cm; barre di acciaio a.m. D 14-16 mm; fascine di ramaglia.

SPECIE VEGETALI IMPIEGATE

Talee di *Tamarix gallica*. Arbusti radicati di: *Prunus spinosa*, *Prunus mahaleb*, *Fraxinus ornus*, *Cornus sanguinea*, *Hippophae rhamnoides*, *Rosa canina*, *Spartium junceum*, *Salix purpurea*, *Sambucus nigra*.

PERIODO DEI LAVORI

Bonifica idrogeologica ed idrosemina: 1990-1994; briglia e palizzate: aprile 2003.

OSSERVAZIONI

Gli interventi di bonifica idrogeologica nei bacini calanchivi della Repubblica di San Marino sono iniziati nell'anno 1978 sulla base di un Piano Generale, redatto con la filosofia d'intervento allora messa a punto dal Consorzio di Bonifica di Brisighella. La pressoché completa realizzazione del Piano ha determinato in generale una drastica riduzione dell'erosione e del trasporto solido, un sostanziale consolidamento dei versanti, una diminuzione degli smottamenti ed un potenziale arresto dell'espansione dei dissesti alle

aree confinanti. La bonifica primaria ha però comportato anche un cospicuo denudamento dei versanti rimodellati con conseguenti rischi di erosione superficiale, così a partire dal 1993 è stato messo in essere un Piano di Inerbimento delle superfici brulle onde proteggerle e rinaturalizzarle.

Per dare attuazione a tale piano sono state sperimentate diverse tecniche di ingegneria naturalistica; la più efficiente è risultata l'idrosemina potenziata con mulch.

Gli interventi di inerbimento hanno conseguito una copertura delle pendici pari al 70-80% a seconda delle situazioni, in particolare, i crinali dove affiorano le argille vergini sovraconsolidate sono risultati i più ostici.

Nel 2002 è stato costituito a San Marino un Gruppo Interdisciplinare di Esperti in Ingegneria Naturalistica (GIEIN) cui è stato affidato il compito di individuare lo sviluppo progettuale ed esecutivo di tali tecniche su vasta scala, al fine di conseguire una definitiva stabilizzazione e rinaturalizzazione dei calanchi. Il Gruppo ha redatto un primo Piano di Bacino per il Fosso del Re che ha previsto la realizzazione di quaranta interventi, con opere singole o combinate tra loro, la cui attuazione è stata ripartita in stralci esecutivi.



Figura 8 – Panoramica aerea degli interventi di bonifica nel Bacino di Fosso Riva, uno dei più estesi (aprile 1994) - Foto Archivi Dipartimento Territorio e Ambiente RSM



Figura 9 – Vista frontale della bonifica del bacino di Fosso del Re dopo l'idrosemina (ottobre 2002) – Foto Archivi Dipartimento Territorio e Ambiente RSM



Figura 10 – Briglia viva in legname impiegata per il consolidamento di una nicchia smottata (settembre 2003) - Foto Archivi Dipartimento Territorio e Ambiente RSM



Figura 11 – Palizzata per impluvi in erosione (aprile 2003) - Foto Archivi Dipartimento Territorio e Ambiente RSM

IL CASO DI CIVITA DI BAGNOREGIO (Giuliano Sauli e Paolo Cornelini (box in: Giuseppe Gisotti e Gino Vannucchi, *Piano globale*, Acer, n.6 2015)

Per quanto riguarda Civita la cronistoria degli interventi sui versanti calanchivi in erosione sotto il ponte ricostruito su pali (al posto di quello medioevale fatto saltare durante l'ultima guerra) si può così sintetizzare:

- datano agli anni Cinquanta alcuni interventi efficaci con viminate morte, di cui c'è memoria storica, ma non più traccia essendo il legno morto sparito nel tempo;
- successivamente furono fatti interventi con gabbionate, falliti e i cui resti erano

visibili a valle ancora negli anni successivi;

- dopo anni di abbandono, furono fatti alcuni interventi fine anni '80, trasferendo il sistema delle placche di cls tirantate, risultati molto efficaci per consolidare le rocce tufacee delle rocche (Civita ma anche Orvieto), ai versanti argillosi. Questi interventi sono non solo falliti (delle placche non c'è traccia e spunta qua e là qualche testa piegata di micropalo, ma hanno esaltato il fenomeno erosivo in fase di cantiere (sono state incise le argille del versante per fare piste di accesso per

i mezzi sostenute da terre rinforzate per sostenere le piste. Il sovraccarico provocò franamenti già durante il cantiere.

Dalla sequenza degli avvenimenti citati se ne ricavano le seguenti indicazioni:

- il tentativo di realizzare strutture di sostegno fisse su argille (gabbionate, terre rinforzate, placche tirantate) provoca accelerazione del fenomeno erosivo attorno alle strutture stesse ed alla fine crollo;
- i soli interventi di semina e messa a dimora di piante arbustive autoctone non sono di per sé sufficienti a frenare il processo erosivo sulle argille calanchive;

- ancora oggi gli unici interventi che hanno dato buoni risultati in zone calanchive sono:
 - a) drenaggi biotecnici e misti a monte;
 - b) tecniche stabilizzanti di Ingegneria Naturalistica (vimate e gradonate vive con *Salix purpurea*, *Tamarix gallica*) abbinata con semine e messa a dimora di specie pioniere (*Arundo pliniana*).

Nel caso di Civita non è sicuro che si riesca a disinnescare i fenomeni erosivi esaltati dagli interventi sbagliati citati, vanno comunque applicate le tecniche stabilizzanti ed antierosive di IN descritte, prevedendo periodici interventi di manutenzione e ripristino nelle aree erosive, dopo un primo intervento su tutti i versanti in erosione.



Figura 12 – Interventi stabilizzanti con vimate di *Tamerix* su calanchi loc. Ventoso (S. Marino anni '80) in corso d'opera (foto Sauli)

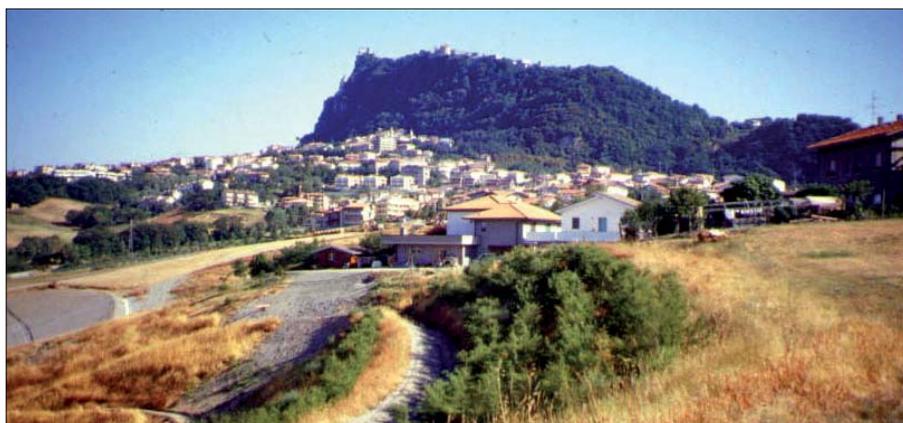


Figura 13 – Dopo 10 anni (Foto Sauli)



Figura 14 – Dopo 25-30 anni (2014) (Foto Sauli)

BIBLIOGRAFIA CITATA NEL TESTO

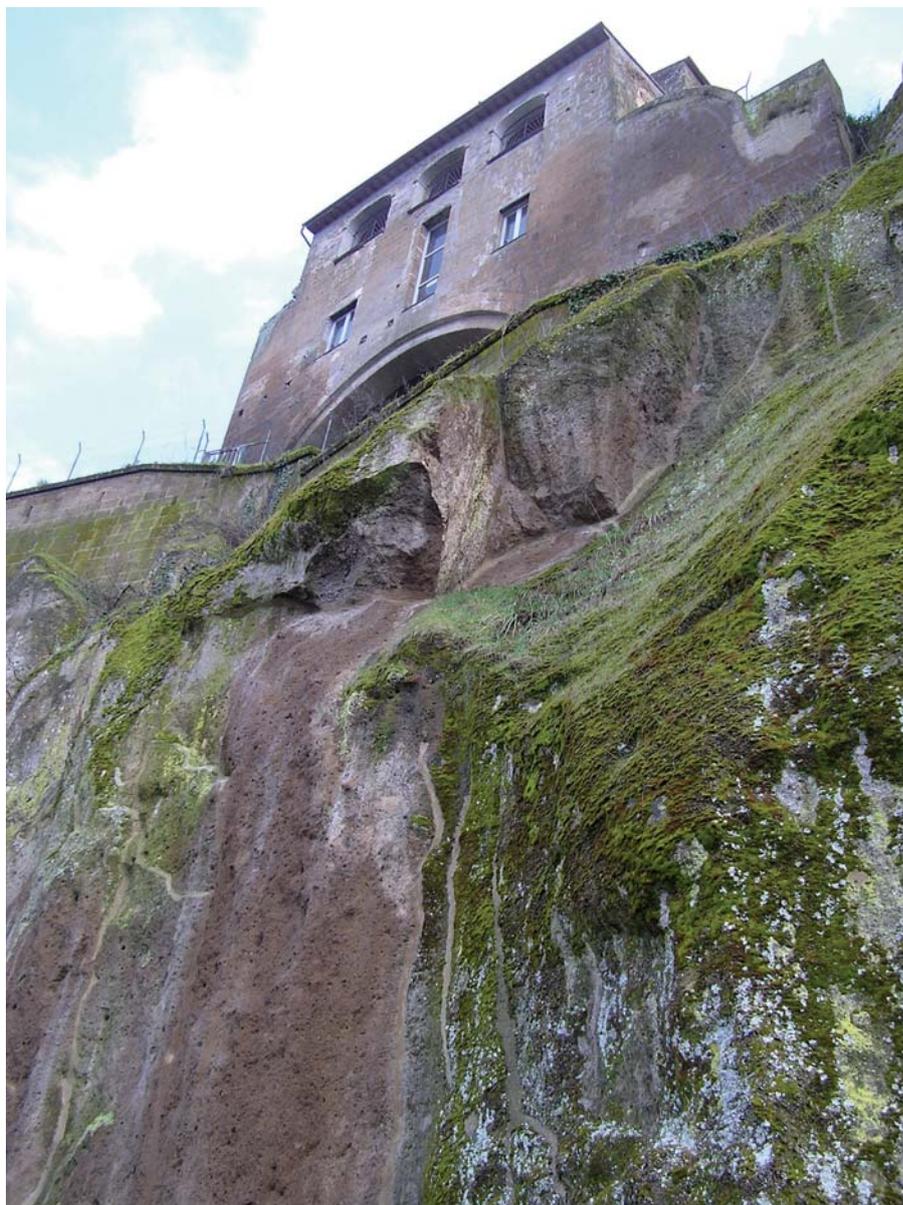
- BIONDI E., GIGANTE D., PIGNATELLI S., RAMPICONI E., VENNANZONI R. (2010), *Le serie di vegetazione della Regione Umbria*. In: BLASI C. ed, *La vegetazione d'Italia*, Palombi editori.
- BISCHETTI G. B., D'AGOSTINO V., FERRO V. GENTILE F. (2012), *La difesa del suolo in ambito montano: le sistemazioni idraulico forestali sono ancora una risposta adeguata?* Quaderni di Idronomia Montana n. 30.
- BLASI C., DI PIETRO R., FILIBECK G., FILESI L., ERCOLE S., ROSATI L. (2010), *Le serie di vegetazione della Regione Lazio*. In: BLASI C. ed, *La vegetazione d'Italia*, Palombi editori.
- CORNELINI P., SAULI G. (2005), *Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di ingegneria naturalistica*. PODIS Ministero dell'Ambiente.
- DE DOMINICIS V., ANGIOLINI C., GABELLINI A. (2010), *Le serie di vegetazione della Regione Toscana*. In: BLASI C. ed, *La vegetazione d'Italia*, Palombi editori.
- FUKUOKA (1980), *La rivoluzione del filo di paglia*, Libreria Editrice Fiorentina.
- GENTILE F. (2012), *Previsione e mitigazione dei fenomeni di dissesto idrogeologico nel territorio appenninico*, Quaderni di Idronomia Montana n.30.
- GENTILE F., PUGLISI S., ATTANASIO C. (2002), *Valutazione dell'efficienza a lungo termine di opere a basso impatto ambientale impiegate nella sistemazione idraulico-forestale del Fosso Scarciolla a Timmari (Matera)*. In: S. PUGLISI (a cura di), *Nuovi temi sistematori*, Quad. di Idronomia Montana n. 18, Ed. BIOS Cosenza.
- GISOTTI G., VANNUCCHI G. (2015), *Piano globale*, Acer n. 6.
- MENGHINI A. (1971), *Flora delle argille e dei tufi di Civita di Bagnoregio (Alto Lazio)*, *Giornale Botanico Italiano* n 105 (6): 319-349.
- MOLLISON B., HOLMGREN D. (1992), *Permacoltura. Un'agricoltura perenne per gli insediamenti umani*, Libreria Editrice Fiorentina.
- PIGNATTI S. (1994), *Ecologia del paesaggio*, UTET, Torino.
- PIGNATTI S., LOCHE P., SQUARTINI V. (1992), *Aspetti floristici e vegetazionali dell'area di Civita di Bagnoregio*. In: OLMI M., ZAPPAROLI M. eds, *L'ambiente della Tuscia laziale*, Stampa Union Printing Viterbo, 335-341.
- POLCI S., LATTANZI F. (1988), *L'ambiente, la memoria, il progetto: testimonianze su Civita di Bagnoregio*. Sugarco, Milano.
- PUGLISI S. (1963), *Esperienze ed orientamenti di tecnica delle sistemazioni calanchive*, Min. Agr. e For., Direz. Gen. Economia Montana e Foreste Collana Verde n. 9, Bari.
- PUGLISI S. (1999), *La sistemazione dei versanti e gli effetti della vegetazione*. In: U. MAIONE e A. BRATH, *Ingegneria naturalistica nella sistemazione dei corsi d'acqua*, Politecnico di Milano.
- PUGLISI S., ARCIOLI E., MILILLO F. (1991), *Il ruolo primario delle sistemazioni idraulico-forestali nella difesa di Bari dalle inondazioni*, *Monti e Boschi*, a. XLII, n. 1.
- PUGLISI S., GENTILE F. (1999), *La sistemazione idraulico-forestale e la conseguente rinaturazione del Fosso Andrisani a Timmari (Matera)*, *Monti e Boschi*, n. 5: 40-50.
- PUGLISI S. (2002), *I calanchi del Materano. Esperienze passate e studi recenti di sistemazione idraulico-forestale con tecniche di ingegneria naturalistica*. In: Repubblica di San Marino e AIPIN, *Atti del Convegno "Interventi di rivegetazione e tecniche di ingegneria naturalistica per la stabilizzazione dei versanti calanchivi"* (San Marino, 21 giugno 2002), Trieste.
- SCHIECHTL H. M., STERN R. (1992), *Ingegneria naturalistica. Manuale delle opere in terra*. Ed Castaldi (Feltre).

Metodologie di studio, criteri di intervento e controllo e tecniche ingegneristiche per la stabilizzazione di placche tufacee applicabili anche al caso di Civita. Il caso di studio di Orvieto

Relazione non pervenuta: se ne riporta una sintesi.

Il consolidamento della Rupe di Orvieto è consistito nelle seguenti fasi.

1. *Impermeabilizzazione delle aree urbane* mediante il rifacimento della rete idrica e fognaria e relativa ripavimentazione, al fine di ridurre se non eliminare la circolazione e l'infiltrazione delle acque all'interno della Rupe.
2. *Consolidamento delle pareti della Rupe* con chiodature diffuse e fasce di ancoraggi profondi, in modo da evitare crolli di porzione di pareti.
3. *Sistema di monitoraggio e controllo* per la raccolta dei dati relativi ai vari fattori influenzanti il comportamento della piastra tufacea e delle pendici, in associazione di un centro di vigilanza e manutenzione permanente.
4. *Sistemazione idraulica forestale dei fossi e stabilizzazione delle pendici*: al fine di evitare l'erosione delle sponde e delle testate dei fossi si è effettuato il controllo del deflusso delle acque con nuove opere e sistemazione delle briglie esistenti, mentre per evitare il progredire dei fenomeni franosi in essere lungo le pendici sono state realizzate opere di drenaggio profondo e la regimazione delle acque superficiali.
5. *Restauro delle murature* insistenti sul ciglio della rupe.
6. *Rilievo delle cavità* presenti nel sottosuolo della città.
7. *Consolidamento delle cavità* a rischio elevato.



Il “Museo Geologico e delle Frane” di Civita di Bagnoregio

GIOVANNI MARIA DI BUDUO
Geologo libero professionista, responsabile scientifico del “Museo Geologico e delle Frane”
E-mail: info@museogeologicoedellefrane.it

Definizione di un modello di presidio territoriale, analisi dei fenomeni di instabilità e degli interventi nel periodo 2012-2015 e presentazione del Manifesto “Come salvare Civita”

The “Geological and Landslides Museum” in Civita di Bagnoregio: definition of a territorial protection model, analysis of instability phenomena and of stabilization works in the period 2012-2015, presentation of Manifesto “How to save Civita”

Parole chiave (*key words*): Civita di Bagnoregio, frane (*landslides*), presidio territoriale (*territorial protection*), Museo Geologico e delle Frane (*Geological and Landslides Museum*), prevenzione dei rischi naturali (*prevention of natural hazards*)

RIASSUNTO

Il “Museo Geologico e delle Frane”, ospitato nel rinascimentale Palazzo Alemanni a Civita di Bagnoregio, è una struttura di studio, ricerca e divulgazione, attiva dal 2012.

Lo staff di gestione del Museo ha come obiettivo generale la costituzione di un presidio territoriale, sviluppando e calibrando nel tempo un modello funzionale, potenzialmente esportabile ad altre zone, in cui il geologo costituisce una figura di riferimento per una gestione attenta e vantaggiosa del territorio, con particolare attenzione ad una costante e virtuosa opera di prevenzione delle frane, molto più efficace ed economicamente vantaggiosa rispetto agli interventi necessari a seguito di eventi calamitosi. Di seguito sono illustrate le attività, gli obiettivi e i principi ispiratori del Museo, e sono descritte alcune aree soggette ad instabilità, in parte oggetto di opere di stabilizzazione.

ABSTRACT

The “Geological and Landslides Museum”, housed in the Renaissance Alemanni building, is active since 2012 in studying, researching and divulgation. The Museum staff has set as his target the establishment of a permanent local presence for territorial protection, developing and calibrating a functional model, potentially exportable to other areas, where the geologist is a reference figure to consult with in order to get a more careful and convenient management of the territory. This can be done only by constantly working on preventive measures against landslides which will turn out to be much more incisive and cost-effective than the measures that will be necessary to take as a result of

natural - but predictable - disasters. In this article are described a brief illustration of the activities, the objectives and the principles of the Museum, the features of some areas subject to instability, in which some stabilization works has been realized.

INTRODUZIONE

Il “Museo Geologico e delle Frane”, ospitato nel rinascimentale Palazzo Alemanni a Civita di Bagnoregio, è stato realizzato grazie all’impegno dell’Amministrazione comunale e del responsabile dell’allestimento Claudio

Margottini, ed è gestito fin dalla sua apertura da una dotazione stabile di personale altamente qualificato, che sotto la guida del direttore Tommaso Ponziani è impegnato in attività volte allo studio, alla salvaguardia e alla promozione del territorio. Il Comune di Bagnoregio ha inoltre dotato recentemente il Museo del “Centro di documentazione territoriale” al primo piano di Palazzo Alemanni, provvisto di una sala conferenze, un archivio-biblioteca, un laboratorio multimediale – sala di consultazione e una sala espositiva per le mostre temporanee (Fig. 3).



Figura 1 – La sede del Museo a Civita di Bagnoregio: Palazzo Alemanni in Piazza S. Donato (foto: Luana Monte)

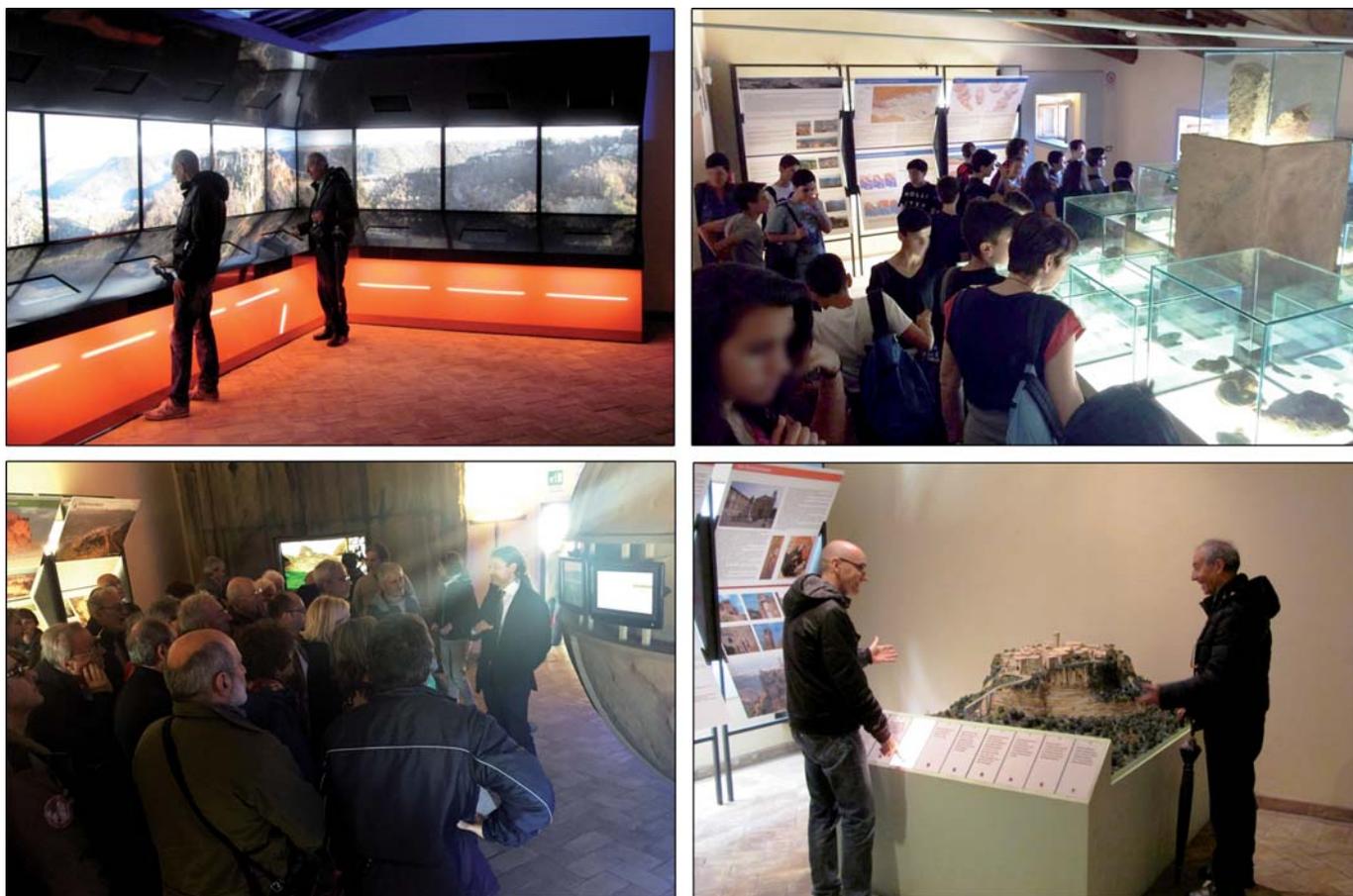


Figura 2 – Le sale dell'area espositiva permanente



Figura 3 – Il "Centro di Documentazione Territoriale", da sinistra a destra: la sala convegni, la sala mostre temporanee, il laboratorio didattico

UN MODELLO DI PRESIDIO TERRITORIALE

Lo Staff del Museo, oltre a curare costantemente l'aggiornamento scientifico, l'implementazione dei contenuti e delle tecniche divulgative nell'area espositiva permanente, si impegna quotidianamente nella conoscenza del territorio, realizzando la pubblicazione divulgativa semestrale "Bollettino Geologico della Teverina" (in distribuzione al Museo e scaricabile in formato pdf sul sito www.museo-geologicoedellefrane.it): la rivista raccoglie e rende fruibili alla comunità le osservazioni sui fenomeni di instabilità che vengono svolte quasi quotidianamente dai geologi "vivendo" il territorio, ed espone, con linguaggio semplice e comprensibile a tutti, le nozioni geologiche che hanno ricaduta pratica nella vita della comunità.

L'iniziativa è finalizzata alla salvaguardia del territorio, alla diffusione della cultura della prevenzione, attraverso la raccolta di dati e con una costante opera di divulgazione

e informazione alla cittadinanza, che viene da un lato dotata dei basilari strumenti conoscitivi per acquisire consapevolezza delle dinamiche e dei problemi del proprio territorio, e dall'altro viene stimolata ad attuare un coinvolgimento attivo con il Museo attraverso la segnalazione dei fenomeni potenzialmente pericolosi.

La strutturale museale è dunque in costante ampliamento non solo da un punto di vista logistico, ma anche e soprattutto per quanto riguarda le attività di studio e divulgazione; un lungo percorso iniziato molto tempo prima dell'inaugurazione dell'area espositiva permanente, così come descritto recentemente sulla rivista "Landslides" dell'International Consortium on Landslides (ICL), la più importante pubblicazione periodica a livello internazionale sul tema delle frane: nel 2009 il Museo fu infatti inserito nell'International Programme on Landslides dell'ICL come progetto dimostrativo, acqui-

sendo una rilevante visibilità internazionale (Margottini & Di Buduo, 2017).

Il Museo organizza convegni, escursioni, seminari e attività didattiche con le scuole: la prevenzione del rischio inizia infatti con la conoscenza, fornire alle nuove generazioni le adeguate nozioni sulle caratteristiche e sulle dinamiche del proprio territorio equivale a formare gli adulti di domani, che sapranno rapportarsi con esso in maniera consapevole e appropriata. Il Museo ha inoltre collaborato recentemente per la realizzazione dell'importante Progetto per lo sviluppo del turismo, promosso dal Comune di Bagnoregio, "Piano di riqualificazione turistica del Sistema Bagnoregio-Civita in un'ottica di sviluppo territoriale della Teverina" del Gruppo di Azione Locale (GAL) in Teverina: impegnarsi e collaborare con le proprie competenze e professionalità per lo sviluppo e la promozione del turismo nel nostro territorio è uno dei compiti istituzionali svolti costantemente dal Museo.

La base imprescindibile per una corretta gestione del territorio risiede nel suo controllo costante e capillare, che si può concretizzare solo con la partecipazione attiva di tutti i cittadini, che devono essere sensibilizzati e correttamente informati (Di Buduo *et al.*, 2012 e 2015).

ANALISI DEI FENOMENI DI INSTABILITÀ E DEGLI INTERVENTI NEL PERIODO 2012-2015

La rupe di Civita è costituita da depositi vulcanici che ricoprono argille limoso-sabbiose massive di origine marina (Fig. 4). I depositi argillosi sono riferibili al Gelasiano – Calabria-

tasi in fasi successive ed il cui sprofondamento è stato controllato da sistemi di faglie a carattere regionale (Acocella *et al.*, 2012).

La parte inferiore della scarpata del borgo è costituita da depositi vulcanici (e in parte vulcano-sedimentari) fittamente stratificati, con intercalazione nella parte inferiore di uno spesso paleosuolo, riferibili al Complesso Vulcanico “Paleovulsini”, sovrastati dallo spesso banco di tufo litoide dell’ “ignimbrite di Orvieto-Bagnoregio” riferibile al Complesso Vulcanico “Bolsena-Orvieto” (Palladino *et al.*, 2010; Nappi *et al.*, 1995; Barberi *et al.*, 1994; Cioni *et al.*, 1989; Cioni *et al.*, 1987).

realizzati oltre dieci anni fa i sette pozzi cavi tirantati per bloccare il ribaltamento di un grande settore di rupe (Margottini, 2013). Tali aree, come molte altre della zona di Civita, sono descritte nel “Bollettino Geologico della Teverina” attraverso una scheda di sintesi divisa in due parti che ne riporta le principali caratteristiche; la scheda è stata elaborata tramite la semplificazione di quelle già esistenti a livello nazionale per il censimento delle frane (APAT, 2001; Amanti *et al.*, 1996). Le schede, derivando da un’analisi speditiva, non sono assolutamente esaustive nella descrizione dei processi di instabilità



Figura 4 – Panoramica aerea della rupe di Civita di Bagnoregio con gli evidenti fenomeni franosi in atto

no iniziale e rappresentano il colmamento del Graben del Paglia-Tevere, bacino estensionale orientato NNO-SSE sviluppatosi a partire dallo Zancleano (Baldanza *et al.* 2011; Mancini *et al.*, 2003-2004), mentre i depositi vulcanici appartengono al Distretto Vulsino, attivo all’incirca tra 0,59 e 0,13 Ma e costituito da 5 complessi vulcanici, i cui prodotti sono distribuiti radialmente rispetto alla conca del lago di Bolsena, ampia depressione vulcano - tettonica forma-

Vengono esposte di seguito le descrizioni dei settori che presentano situazioni di particolare rischio, poiché interessati da fenomeni in rapida evoluzione e in prossimità di elementi a vulnerabilità chiaramente elevata: la zona di Mercatello (ultima, stretta propaggine di vulcaniti prima della sella e passaggio obbligato per raggiungere il ponte), il ponte di accesso a Civita (inaugurato nel 1965), l’area nordovest del borgo dove sono stati

in atto: esse rappresentano una descrizione generica e qualitativa di fenomeni per i quali è necessario un adeguato e approfondito studio a cui devono seguire interventi ben calibrati. Vi sono anche riportati una breve descrizione geologico-stratigrafica e idrogeologica, e una stima approssimativa del livello di rischio (pericolosità x elementi a rischio x vulnerabilità). Oltre all’indicazione delle possibili cause predisponenti e inne-



Figura 5 – Versante nord di Mercatello. La soletta in calcestruzzo armato adiacente al fabbricato (in alto, al centro delle foto dal 2014 in poi), trovandosi sospesa per diversi metri sopra il tufo crollato è stata oggetto di un intervento di messa in sicurezza alla fine del 2015 (pali fondati in profondità nelle argille)

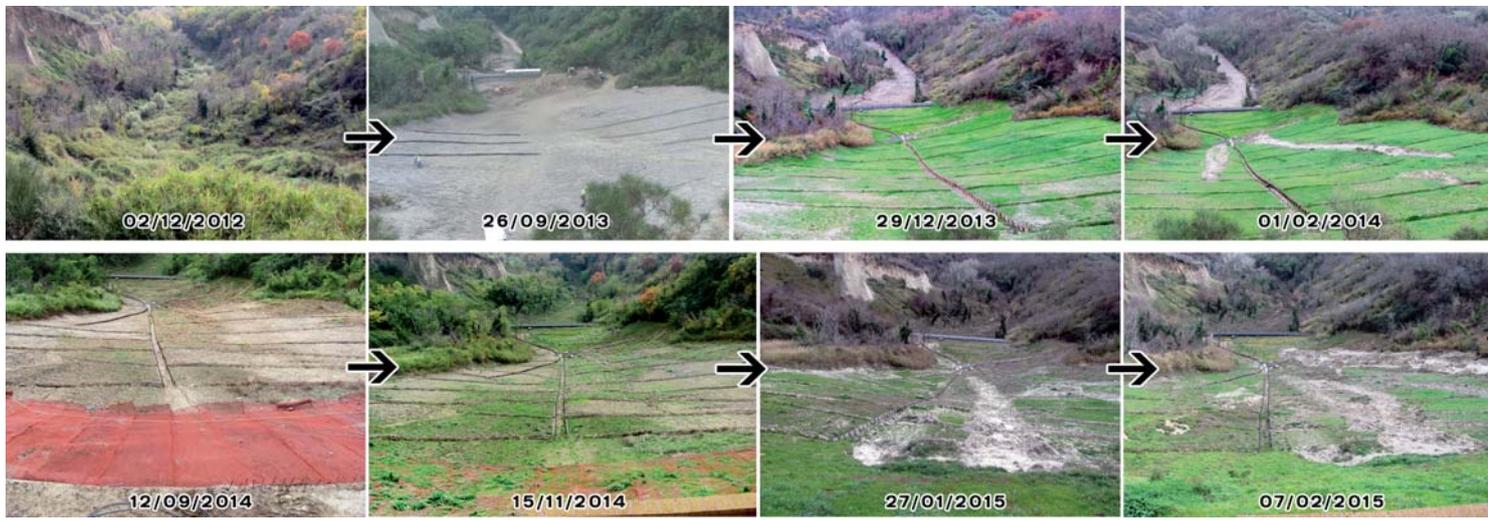


Figura 6 – Il versante meridionale del ponte per Civita tra la fine del 2012 e il 2015

scanti dei fenomeni sono anche riportate le caratteristiche incognite che maggiormente influiscono sulla valutazione dell'instabilità, ed infine quali interventi sarebbe preferibile mettere in atto. Ciascuna scheda relativa ad

argillosa del versante e ancoraggi con reti contenitive sulla scarpata: quest'ultima si trova da aprile del 2015 in smantellamento progressivo per una profondità variabile fino a 3,5 m (allo stato attuale delle conoscenze). Il

corrispondenza dell'estremità occidentale della terza e quarta palificata è stato inoltre riscontrato lo scorrimento di acque reflue che si spandono più in basso sul versante con ovvie conseguenze sulla sua stabilità (scheda



Figura 7 – Panoramica del settore nordovest della rupe, da sinistra a destra: il "cavon grande", il "nuovo cavon grande", la spalla orientale del ponte (foto: Enrico Diviziani)

un particolare sito viene aggiornata nel tempo verificando l'evoluzione in atto dei fenomeni. Le schede sono consultabili all'interno del "Bollettino Geologico della Teverina" sul sito del Museo.

Sul versante settentrionale della località Mercatello (Fig. 5), tra il 2013 e 2014 sono state realizzate 5 palificate nella parte

versante è soggetto da tempo da una diffusa e intensa erosione superficiale (le estremità di alcuni cordoli sono sospese sopra il terreno a causa del suo cedimento); la deformazione delle argille è stata particolarmente ingente alla base della scarpata, dove è presente una piccola sorgente intermittente e dove si concentrano acque mal regimentate. In

Ba00016 del "Bollettino Geologico della Teverina"). L'area è oggetto di intervento da parte del Genio Civile della Regione Lazio.

Il versante meridionale del ponte è stato oggetto di recenti interventi: tra la fine del 2013 e l'inizio del 2014 nella parte bassa sono state realizzate due o più palificate (profondità non nota) per stabilizzare i movimenti

profondi, opere di drenaggio superficiale (protette da viminate poco profonde) e nella parte alta una paratia di pali a quinconce (profondità 12 metri – dato incerto), e una rete contenitiva inerbita posta in opera con ancoraggi.

Il versante è attualmente soggetto ad intensa erosione per dilavamento superficiale (con innesco di soliflusso e colate in costante ampliamento nei mesi più piovosi) che ha completamente dissestato le opere di drenaggio superficiale, comportando lo scalzamento alla base dell'opera realizzata sulla sua sommità (scheda Ba00003 del "Bollettino Geologico della Teverina").

Il settore nordovest del borgo è soggetto a fenomeni di instabilità molto estesi ed evidenti in tre aree adiacenti (Fig. 7, 8 e 9): l'area del cosiddetto "cavon grande" (scheda Ba00008 del "Bollettino Geologico della Teverina"), quella del "nuovo cavon grande" (scheda Ba00019), e la spalla orientale del ponte (scheda Ba00018).

base della scarpata hanno ovviamente effetti molto negativi per la stabilità del sovrastante ammasso roccioso.

L'area del cosiddetto "cavon grande" è costituita da un grande canale esteso a tutto il versante, da molto tempo soggetto a importanti movimenti franosi (Fig. 8): negli ultimi anni sono attivi crolli in roccia nella parte bassa della scarpata in depositi vulcanici, colate di fango e scorrimenti traslativi della coltre superficiale lungo i fianchi del canale e colate di detrito nella sua parte centrale.

Nell'area del "nuovo cavon grande" sono avvenuti recentemente due importanti movimenti franosi: il primo è stato un crollo in roccia verificatosi nella notte tra il 4 e il 5 novembre 2014 (cui sono seguiti ulteriori piccoli crolli nei mesi successivi), a cui ha fatto seguito il 22/03/2015 uno scorrimento traslativo a metà del versante argilloso, indotto dal peso del corpo di frana e dalle ingenti piogge. L'intensa erosione per dilavamento

masso roccioso fratturato: la propagazione e l'allargamento delle discontinuità, le cui superfici vengono continuamente alterate dalle acque di infiltrazione, sono causati dal termoclastismo, dal crioclastismo, dallo scarico tensionale dovuto all'approfondimento delle valli, dal detensionamento laterale indotto dalla deformazione delle argille alla base, e dalla presenza di apparati radicali; lo stato di poca coerenza o incoerenza di alcuni livelli nell'intervallo di tufi stratificati costituisce inoltre un'aggravante dell'instabilità.

Gli interventi vanno quindi opportunamente progettati per essere realizzati su tutto il versante, con una adeguata programmazione temporale che permetta di ottimizzare gli investimenti operando al meglio. Gli interventi da realizzare sono diversi a seconda del settore di versante e delle sue condizioni di instabilità: ovunque va creata una perfetta regimazione delle acque (aspetto non sempre finora adeguatamente affrontato).

Sul versante argilloso:



Figura 8 – Il "cavon grande": evoluzione dell'area e indicazione dei fenomeni in atto (nel riquadro al centro il settore in cui oltre 10 anni fa sono stati realizzati 7 pozzi strutturali per stabilizzare il ribaltamento di un grande prisma di roccia)

La scarpata in tufi è costituita da un ammasso roccioso fratturato, con tendenza al crollo, in cui le discontinuità sono soggette ad alterazione chimico-fisica da parte delle acque di infiltrazione; sono inoltre presenti alcuni livelli di piroclastiti da caduta e di epiclastiti caratterizzati da uno stato di poca coerenza o incoerenza e molti di apparati radicali che contribuiscono a propagare ed allargare le fratture.

Il sottostante versante argilloso è soggetto a deformazione, dilavamento ed intensa erosione, con innesco di soliflusso, colate di fango e di detriti (la cui parte grossolana è costituita dai corpi di frana per crollo rimobilizzati), e scorrimenti traslativi della coltre superficiale: i movimenti delle argille lungo la

superficiale in atto sulla nicchia di frana e lo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso possono condurre all'ampliamento e all'approfondimento dei fenomeni.

I diversi fenomeni di instabilità su terreni argillosi e tufi sono intimamente correlati tra loro, dalla base del versante, dove la dinamica torrentizia dei corsi d'acqua già comporta aggravii alla sua stabilità, fino alla sommità, in corrispondenza delle scarpate. I depositi argillosi sono soggetti ad alterazione chimico-fisica, a variazioni di volume (ritiro nei periodi secchi, rigonfiamento in quelli umidi), con conseguente decadimento delle proprietà meccaniche, al dilavamento e all'erosione della coltre superficiale. La scarpata sovrastante le argille è costituita da un am-

- deve essere evitata la concentrazione e lo scorrimento d'acqua in superficie;
- deve essere impedita la deformazione delle argille al di sotto delle vulcaniti, quindi la palificata che deve essere prioritariamente realizzata in corrispondenza della base della scarpata, consentendo di dover intervenire meno invasivamente sull'ammasso roccioso;
- sono indispensabili opere di ingegneria naturalistica (adeguatamente progettate a seguito di opportune indagini geognostiche), finalizzate alla protezione dall'erosione e alla stabilizzazione superficiale (e profonda dove necessario) come geostuoie, rivestimenti vegetativi, terre rinforzate, e palificate.

Sulla rupe costituita da depositi vulcanici:

- deve essere evitata l'infiltrazione d'acqua nell'ammasso roccioso;
- deve essere rimossa la vegetazione (le cui radici contribuiscono alla propagazione e all'allargamento delle discontinuità nell'ammasso roccioso);
- devono essere cementate le fratture e realizzati ancoraggi attivi e/o passivi dove necessario.

A fondovalle vanno realizzate opere di regimazione fluviale e di protezione dall'erosione sulle sponde.

IL MANIFESTO DEL MUSEO "COME SALVARE CIVITA"

L'area di Civita di Bagnoregio è da decenni oggetto di studi ed interventi di stabilizzazione (Garbin *et al.*, 2013; Margottini, 2013; Delmonaco *et al.*, 2009; ENEA, 2001; Margottini & Serafini, 1990), ma dopo tanti anni la situazione è purtroppo tale da rendersi necessario reiterare l'appello «salviamo Civita». Negli ultimi anni, oltre ad alcune frane attive da lungo tempo che si sono ampliate, si sono aggiunti nuovi movimenti in massa, soggetti ad una rapida evoluzione, in parte anche laddove sono stati effettuati interventi di stabilizzazione. I fenomeni di instabilità, se non adeguatamente indagati, monitorati e stabilizzati, possono continuare ad evolversi più o meno rapidamente; inoltre il trascorrere del tempo, in assenza di interventi o in presenza di opere non propriamente adeguate alla complessità dei versanti, rende sempre più problematico e dispendioso mettere in sicurezza le aree instabili.

Appare quindi ormai indispensabile e urgente porre in essere una nuova strategia di intervento per il salvataggio del borgo, attraverso una progettazione che si adatti costantemente alla veloce e complessa dinamica del territorio e che preveda interventi a cadenza continua, realizzati a partire dal fondo valle fino alla sommità dei rilievi.

In pratica è necessario passare dall'intervento in emergenza alla prevenzione delle frane. La priorità e le caratteristiche di tali interventi devono essere costantemente aggiornate da una regia accorta e competente, sulla base di un monitoraggio continuo realizzato su tutta l'area. Solo l'analisi e l'interpretazione costante dei dati strumentali può infatti permettere di realizzare una progettazione finalmente adeguata alla rapida e difficile dinamica del territorio. Serve una progettazione "dinamica", proprio perché il territorio è estremamente dinamico: oltre agli interventi di stabilizzazione delle aree in frana è fondamentale realizzare costantemente interventi di manutenzione del territorio, opportunamente progettati e programmati nel tempo per essere realizzati su tutto il versan-

te. Intervenire in tal modo permette di ottimizzare gli investimenti, operando al meglio, con benefici a lungo termine.

Il salvataggio di Civita è attuabile quindi solo attraverso: la sinergia di tutti coloro che studiano e lavorano sul territorio e il monitoraggio continuo dei versanti.

Il museo ha quindi elaborato il manifesto 'Come salvare Civita', articolato in 5 punti:

1. Costituzione di un comitato tecnico-scientifico permanente con il ruolo di monitorare ed analizzare costantemente il territorio, realizzando e aggiornando ininterrottamente l'elenco degli interventi da realizzare, definendone caratteristiche e priorità, nell'ottica di una progettualità conforme alla dinamica del territorio.
2. Studio geomorfologico e idrogeologico finalizzato alla stima del livello di rischio (pericolosità x elementi a rischio x vulnerabilità) associato ai fenomeni di instabilità in atto.
3. Definizione del piano di monitoraggio dei versanti.
4. Prima stesura del piano di interventi (ubicazione, caratteristiche e priorità).
5. Aggiornamento costante dello stato conoscitivo del territorio sulla base dei dati strumentali derivanti dal monitoraggio, e relativo adeguamento del piano degli interventi.

Il Museo, per la sua posizione centrale nel territorio, per l'esperienza e la professionalità del suo staff, per le caratteristiche della struttura, e per il lavoro di controllo del territorio iniziato del 2012 e portato avanti attraverso la pubblicazione del "Bollettino Geologico della Teverina", si pone come centro di riferimento per lo studio e l'analisi dell'area, per la raccolta dei dati e per la divulgazione del piano di salvaguardia di Civita di Bagnoregio.

L'impegno e il coinvolgimento di tutti quindi non solo è auspicabile ma è sicuramente necessario affinché Civita non diventi veramente il "paese che muore" ma, come ci piace chiamarlo, "il paese che lotta per vivere".

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ACOCCELLA V., PALLADINO D.M., CIONI R., RUSSO P., SIMEI S. (2012), *Caldera structure, amount of collapse and erupted volumes: the case of Bolsena Caldera, Italy*. Geological Society of America Bulletin, 124, pp. 1562-1576.

AMANTI M., CASAGLI N., CATANI F., D'OREFICE M., MOTTERAN G. (1996), *Guida al censimento dei fenomeni franosi ed alla loro archiviazione. Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali*, Servizio Geologico, Miscellanea VII, Istituto Poligrafico dello Stato.

APAT (ora ISPRA) (2001), *Guida alla compilazione della scheda frane. Progetto I.F.F.I. (Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia)*, Presidenza Del Consiglio Dei Ministri, Dipartimento Per I Servizi Tecnici Nazionali, Servizio Geologico.

BALDANZA A., BIZZARRI R., HEPACH H. (2011), *New biostratigraphic data from the Early Pleistocene Tyrrhenian paleocoast (western Umbria, central Italy)*, Geologia Croatica, 64/2, pp. 133-142.

BARBERI F., BUONASORTE G., CIONI R., FIORELISI A., FORESI L., IACCARINO S., LAURENZI M.A., SBRANA A., VERNIA L., VILLA I.M. (1994), *Plio-Pleistocene geological evolution of the geothermal area of Tuscany and Latium*, Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, XLIX, pp. 77-134.

CIONI R., LAURENZI M.A., SBRANA A., VILLA I.M. (1989), *Geochronology and stratigraphy of basal pyroclastites of the Vulsini Volcanic District*, Plinius, 1, pp. 46-47.

CIONI R., SBRANA A., BERTAGNINI A., BUONASORTE G., LANDI P., ROSSI U., SALVATI L. (1987), *Tephrostratigraphic correlations in the Vulsini, Vico and Sabatini volcanic successions*, Periodico di Mineralogia, 56, pp. 137-155.

DELMONACO G., MARGOTTINI C., SPIZZICHINO D. (2009), *Low-impact interventions for the preservation of Cultural Heritage: the dying town of Civita di Bagnoregio (Central Italy) and the killer landslide*. In: Prohitech, Roma 21-24 giugno 2009.

DI BUDUO G.M., COSTANTINI L., DI CENCIO A. (2012), *Il Museo Geologico e delle Frane di Civita di Bagnoregio*, Professione Geologo, n. 33, pp. 10-14.

DI BUDUO G.M., COSTANTINI L., PONZIANI T. (2015), *L'impegno del "Museo Geologico e delle Frane" per salvare Civita Di Bagnoregio*, Professione Geologo, n. 44, pp. 22-27.

ENEA (2001), *Il consolidamento della rupe e delle pendici di Civita di Bagnoregio: indagini pregresse e proposte di intervento*, Linee guida per la salvaguardia dei beni culturali dai rischi naturali.

GARBIN F., MARGOTTINI C., BRANCALEONI R., SONNESSA A. (2013), *Softening and swelling mechanism affecting the south slope of Civita di Bagnoregio (Italy)*. In: BILOTTA E., FLORA A., LIRER S., VIGGIANI C., *Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites*. Taylor & Francis Group, London.

MANCINI M., GIROTTI O., CAVINATO G.P. (2003-2004), *Il Pliocene e il Quaternario della media valle del Tevere (Appennino centrale)*, Geologica Romana, 37, pp. 175-236.

MARGOTTINI C. (2013), *Low environmental impact consolidation works in the rock cliff of Civita di Bagnoregio (Central Italy)*. In: MARGOTTINI C., CANUTI P., SASSA K., *Landslide science in practice: risk assessment and mitigation*. Heidelberg, Berlin, New York.

MARGOTTINI C., SERAFINI S. (1990), *Civita di Bagnoregio. Osservazioni geologiche e monitoraggio storico dell'ambiente, una ricerca ENEA*. ENEA e Associazione Progetto Civita. Roma.

MARGOTTINI C., DI BUDUO G. M. (2017), *The landslides and Geological Museum of Civita di Bagnoregio*, in: Landslides, ICL.

NAPPI, G., RENZULLI, A., SANTI, P., GILLOT, Y. (1995), *Geological evolution and geochronology of the Vulsini Volcanic District (central Italy)*, Bollettino della Società Geologica Italiana, 114, pp. 599-613.

PALLADINO D.M., SIMEI S., SOTTILI G., TRIGILA R. (2010), *Integrated approach for the reconstruction of stratigraphy and geology of Quaternary volcanic terrains: an application to the Vulsini Volcanoes (central Italy)*, The Geological Society of America, Special Paper 464, pp. 63-84.

La stabilità degli abitati su placche rigide poggianti su argille plio-pleistoceniche

Esperienze dai centri storici della Basilicata e della Puglia

The stability of ancient settlements on rigid plates lying on Plio-Pleistocene clays. Experiences from some historical centres of Basilicata and Puglia.

Parole chiave (*key words*): Salvaguardia (*Safeguard*), Instabilità del Territorio (*Land instability*), Argilla (*Clay*), Acqua (*Water*), Mitigazione del rischio (*Risk Mitigation*)

GIUSEPPE SPILOTRO⁽¹⁾

MARIA DOLORES FIDELIBUS⁽²⁾

ROBERTA PELLICANI⁽¹⁾

ILENIA ARGENTIERO⁽¹⁾

ALESSANDRO PARISI⁽²⁾

⁽¹⁾ Dipartimento delle Culture Europee e del Mediterraneo – Università degli Studi della Basilicata, Matera, Italia

⁽²⁾ Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica – Politecnico di Bari, Bari, Italia

RIASSUNTO

I problemi di instabilità di Civita di Bagnoregio rientrano in ben definiti contesti geomorfologici di aree soggette ad urbanizzazione per esigenze difensive e di altro tipo, che oggi richiedono azioni concrete per la salvaguardia del territorio e dell'ambiente antropizzato. Ci si riferisce alle placche vulcaniche e piroclastiche depositatesi tra Pliocene e Pleistocene sul preesistente basamento argilloso marino nella valle del Tevere, ridotte dai processi erosivi a larghi piastroni fessurati e occupati nel tardo Antropocene da abitati di grandissimo pregio storico ed artistico. La loro salvaguardia e restituzione a vita attiva, e quindi non museale, è pertanto obiettivo prioritario, che necessita di avvalersi non solo della best available technology, ma anche dell'esperienza maturata in contesti sostanzialmente simili.

Nell'area pugliese e lucana della fossa Bradanica esistono contesti che hanno numerosi elementi di similitudine, ugualmente occupati da antichi centri storici, su placche arenitiche e conglomeratiche, a loro volta poggianti su basamenti argillosi plio-pleistocenici, il tutto afflitto non solo marginalmente da processi di instabilità. La sopravvivenza di tali centri storici è fondamentale per una regione qual è la Basilicata, che soffre, a causa della sua morfologia e delle difficoltà logistiche conseguenti, di progressivo abbandono di tali centri e di migrazioni verso le aree di pianura o i centri più ricchi.

Nel lavoro si analizzano le similitudini in termini di contrasti di resistenza, rigidità e di permeabilità nelle configurazioni stratigrafiche di studio e i fenomeni associati di interazioni fisiche e chimiche, in parte documentati da sperimentazione sui materiali argillosi; tale analisi introduce, sulla base delle esperienze maturate, l'opportunità e la necessità di studi idrogeologici e gestione delle acque sotterranee come metodologia prioritaria (ed a basso

costo) per la mitigazione dei processi di instabilità e del rischio sui centri storici minacciati.

1. INTRODUZIONE

Le problematiche di salvaguardia di Civita di Bagnoregio afferiscono a ben definiti contesti geomorfologici, cui sono associati altrettanto tipici problemi di stabilità. Ci si riferisce alle placche vulcaniche e piroclastiche depositatesi tra Pliocene e Pleistocene sul preesistente basamento argilloso marino nella valle del Tevere (*Fig. 1.a*), ridotte dai processi erosivi a larghi piastroni fessurati, occupati nel tardo Antropocene da abitati di grandissimo pregio storico ed artistico. La loro salvaguardia e restituzione a vita attiva, e quindi non museale, è pertanto obiettivo

prioritario, che necessita di avvalersi non solo della "best available technology", ma anche dell'esperienza maturata in contesti sostanzialmente simili.

Gli scriventi portano un contributo di conoscenza maturato nell'area della fossa Bradanica, che si estende dal sub appennino Dauno al sub appennino Lucano, in contesti che hanno numerosi elementi di similitudine con quello di Civita di Bagnoregio, essendo ugualmente occupati da antichi centri storici, e afflitti non marginalmente dai processi di instabilità e inevitabilmente segnati dalla migrazione delle popolazioni verso valle, dove anche le comunicazioni sono più semplici e dirette.

L'esperienza dice che tali migrazioni hanno di fatto solo cambiato la tipologia della



Figura 1 – Similitudini geomorfologiche dei rilievi calanchivi nella media valle del Tevere (a) ed in prossimità di Aliano, Mt (b)

vulnerabilità, passata da idrogeologica a idraulica, mentre il miglioramento delle conoscenze sulle condizioni geologiche e geotecniche dei siti permette di guardare con maggiore ottimismo a tecniche di mitigazione tradizionali ed innovative.

La similitudine delle situazioni deriva più in particolare dalla comune presenza di spesse placche conglomeratiche e sabbiose, che in questa parte delle regioni Pugliese e

Aliano (Fig. 1.b), Senise e Montescaglioso in Basilicata.

Nel caso del centro storico di Pisticci si dispone di accurate ricostruzioni storiche e di cronaca che riportano indietro fino al 1505, con un quadro della successione degli eventi che permetterebbe, circostanza piuttosto rara per gli eventi franosi, di ricavare un tempo di ritorno medio degli eventi di instabilità in assenza di azioni di stabilizzazione (Tab. 1).

Tali depositi, permeabili, affioranti e quindi acquiferi, successivamente sono stati variamente cementati dalle precipitazioni saline delle acque in evapotraspirazione. Posteriori processi tettonici hanno smembrato questi terrazzi, che in alcuni casi hanno mantenuto l'orizzontalità (Carlantino, Lucera, Spinazzola, Pisticci, Montalbano, Montescaglioso NE, ecc.) o acquisito assetti monoclinali (Aliano, Senise, Montescaglioso SW). Le due differenti configurazioni comportano differenti processi tipici, con scoscendimenti interessanti coperture ed argille nel caso degli assetti suborizzontali e scivolamenti di placche sabbiose arenacee nel caso degli assetti monoclinali.

In entrambi i casi si considera determinante il ruolo dell'acqua, che si posiziona all'interfaccia tra le coperture permeabili e il basamento argilloso impermeabile e che agisce con meccanismi fisici e chimici, alcuni dei quali poco considerati, per quanto noti da sempre. Nel seguito tali meccanismi verranno evidenziati ed associati ad eventi di instabilità anche molto importanti e in alcuni casi a interventi di mitigazione e stabilizzazione rivelatesi risolutivi.

3. LE AZIONI DELL'ACQUA

È opportuno richiamare le cause dei fenomeni franosi, che secondo Terzaghi (1950), Brunson (1979) e Sowers & Sowers (1970), con alcune integrazioni o modifiche, sono esplicitate nella Tab. 2.

Tabella 1 – Cronologia storica delle frane sui versanti dell'abitato di Pisticci

DATA	LUOGO	DANNI
1505	Rione Casalnuovo (Fosso La Salsa)	-
13/06/1555	-	80 case
1661	-	-
09/02/1668	Rione Dirupo	400 morti
1954	-	-
1959	-	-
1965	Rione Croci	-
15/03/1972	-	-
21/08/1972	-	-
21/11/1976	Rione Croci (Fig. 2)	155 case

Lucana poggiano sulle argille grigio azzurre plio-pleistoceniche e che l'attacco erosivo, anche in questo caso, ritaglia con bordi quasi circolari, coincidenti di fatto con l'estensione degli antichi centri storici. Le casistiche di cui si dispone sono ormai numerose, riferendoci, fra i tanti casi esistenti, a quelli meglio noti e studiati: Carlantino, Lucera e Spinazzola in Puglia e Pisticci, Montalbano,

2. LE FRANE STORICHE NELLE PLACCHE RIGIDE SU BASAMENTI ARGILLOSI IN PUGLIA E BASILICATA: SINTESI GEOSTRATIGRAFICA

A partire dal Pliocene fino al tardo Pleistocene, le numerose regressioni ed ingressioni marine hanno depositato e modellato, nella porzione pugliese e lucana della fossa Bradanica, potenti depositi sabbioso conglomeratici sostenuti dalle sottostanti argille.



Figura 2 – La frana del 1976 del Rione Croci a Pisticci

Tabella 2 – Cause dei movimenti di massa

Variazioni esterne delle condizioni di stabilità (≈ variazioni delle forze)	
Variazione delle geometrie delle masse	erosioni, incisioni da correnti fluviali, sottoescavazioni, scavi antropici determinanti variazioni dell'altezza, della lunghezza o della pendenza di un versante
Riduzione di carichi	asportazione di terreno per processi erosivi, incisioni, scavi artificiali
Incremento di carichi	riporto di materiali, costruzione di manufatti, aumento dell'altezza e della lunghezza di un pendio, caricamento non drenato (Hutchinson, 1970)
Scosse, vibrazioni, trasferimenti impulsivi di energia	terremoti, esplosioni, terremoti artificiali, moto ondoso
Processi associati a vibrazioni da processi naturali (terremoti, onde) o artificiali	liquefazione, indebolimento da sollecitazioni cicliche, fluidificazione, flusso di terreni incoerenti
Svuotamento rapido di acqua in laghi e serbatoi artificiali	
Variazioni del regime dell'acqua	precipitazioni, aumento di peso, variazione nella pressione interstiziale
Variazioni delle condizioni interne di stabilità (≈ variazioni delle resistenze)	
Weathering (processi di alterazione della natura e struttura dei terreni per processi climatici di breve o lungo periodo); formazione e scioglimento di lenti di ghiaccio	variazione della coesione, rimozione dei cementi, variazione della struttura del terreno
Processi di erosione interna per filtrazione; formazione e/o propagazione di fratture in terreni coesivi o cementati	
Rigonfiamento osmotico di terreni argillosi	
Riduzione o annullamento delle pressioni capillari per infiltrazione o sommersione	
Acqua in pressione o ghiaccio nelle fratture, stratificazioni e discontinuità in genere	

In buona parte dei processi elencati compare direttamente o indirettamente l'acqua, per cui è opportuno tentare di classificare

i processi di interazione acqua terreno nei fenomeni di instabilità come processi fisici, fisico-chimici e processi associati.

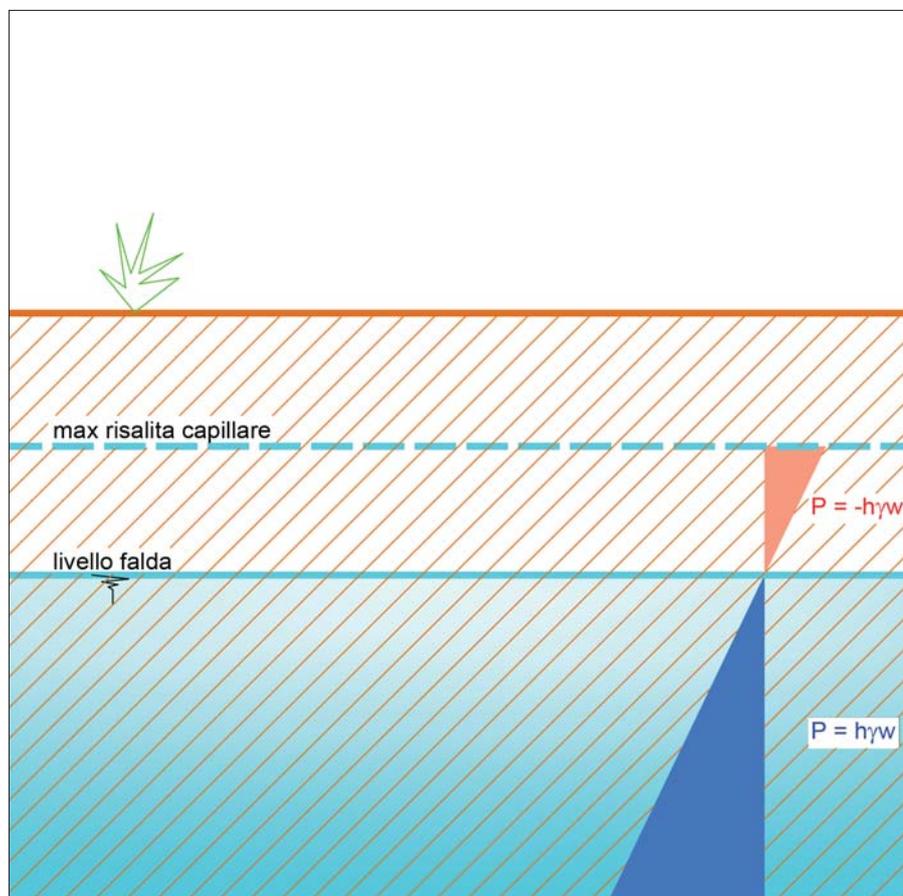


Figura 3 – Inversione del segno della pressione dell'acqua tra la zona freatica e quella capillare

3.1 PROCESSI FISICI

Le variazioni del contenuto d'acqua nei terreni sono dovute principalmente ai processi di infiltrazione dalla superficie a seguito di eventi meteorici, alluvionamenti, allagamenti, ovvero a processi di evapotraspirazione ed essiccamento.

In funzione del tipo e della struttura del terreno, dell'alimentazione e del tempo, si possono avere variazioni del grado di saturazione a livello locale, per strati o generalizzati nell'ammasso.

Gli effetti fisici significativi sono:

- variazione del peso specifico del terreno per variazione del contenuto d'acqua e conseguente grado di saturazione nel punto e nella massa (variazione della saturazione locale e dell'immagazzinamento). La variazione del contenuto d'acqua avviene per successivo incremento e passaggio dell'acqua pellicolare a acqua capillare e infine ad acqua gravifica, fino a completa saturazione. Importante è notare che questo processo è accompagnato da variazioni delle pressioni dell'acqua (v. punto successivo) e può essere associato a variazioni di volume del terreno.
- variazione della pressione dell'acqua: negativa (capillare) nel non saturo al variare del grado di saturazione; delle pressioni positive nel saturo al variare dell'estensione e del collegamento delle zone sature (Fig. 3).

In entrambi i casi si ha diretto interessamento sulla resistenza a taglio, se la stessa è rappresentabile con legge tipo:

$$\tau = (\sigma_n - u) \tan \varphi' + c'$$

Nel caso di variazione positiva, se le pressioni o le sovrappressioni indotte sono differenti da punto a punto ed il mezzo è un continuo a conduttività idraulica finita, nel mezzo si genera filtrazione. Se la conduttività idraulica è bassa, le condizioni di flusso stazionario possono raggiungersi in tempi molto lunghi (anche migliaia di anni). Nelle argille dure fessurate è normale che le pressioni idriche rilevate in profondità siano quelle agenti nelle fratture; la penetrazione dell'acqua dolce meteorica in tali terreni per fenomeni di diffusione ionica è infatti stato rilevato essere al massimo dell'ordine di qualche decina di metri in condizioni di lunga stabilità geologica. L'equalizzazione della pressione interstiziale all'interno delle zolle di argilla delimitate da fratture con quella presente lungo le fratture al contorno dipende dalle dimensioni della zolla, dalla permeabilità del terreno costituente e dal gradiente di pressione tra l'esterno e l'interno. Più tipici, in questi casi, sono processi di interazione dei fluidi interstiziali con le acque di circolazione per diffusione ionica.

Se nel terreno si instaurano processi di filtrazione, il terreno è soggetto alle forze di filtrazione che agiscono nella direzione di flusso con valore per unità di volume pari a:

$$F_f = i * \gamma_w$$

con i = gradiente della filtrazione e γ_w = peso specifico dell'acqua.

In condizioni di saturazione e di energia dell'acqua costante nella massa, cioè condizione idrostatica, $i = 0$ e le azioni sul terreno sono di alleggerimento (galleggiamento), con riduzione del peso specifico effettivo γ' :

$$\gamma' = \gamma_t - \gamma_w \pm i * \gamma_w$$

$$\gamma' = \gamma_t - \gamma_w \quad (\text{peso specifico sommerso})$$

3.1.1 Dilavamento delle frazioni fini

La prolungata e stabile filtrazione in un terreno può produrre il dilavamento delle frazioni granulometricamente fini, con conseguente arricchimento granulometrico nelle altre frazioni presenti. Tale processo è tipico al contatto sabbia-argilla (permeabile / impermeabile), ove si evidenzia una ricorrente lacuna granulometrica dei fini, ben rilevabile nei profili di radioattività naturale (Fig. 4); esso si rinviene anche nelle fasce circostanti le fratture tettoniche nelle argille plio-pleistoceniche. Quest'ultima circostanza è stata più volte messa in luce dagli scavi di gallerie nelle argille pleistoceniche subappenniniche, nelle quali la presenza di acque a basso con-

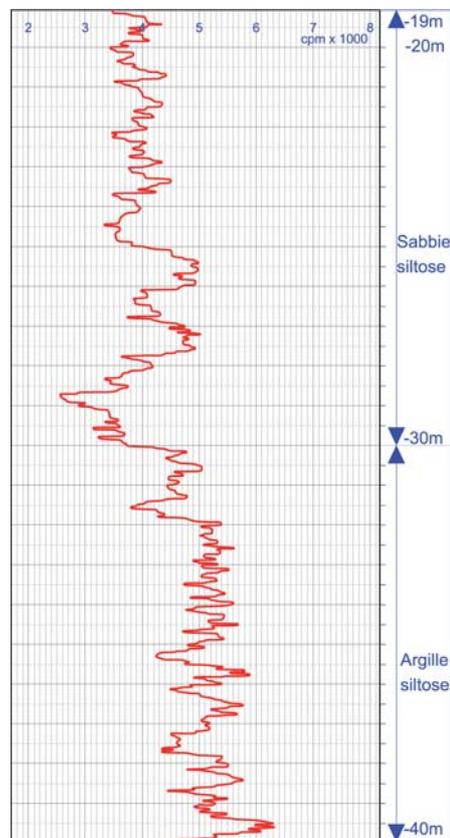


Figura 4 – Aliano: profilo di radioattività naturale (γ -log) con lacuna granulometrica di fini intorno ai 30 m di profondità, ove si realizza un incremento di permeabilità

tenuto salino (di evidente provenienza meteorica) si associava al rinvenimento di terreni non coesivi, arricchiti percentualmente in silt, scarsamente addensati, e per di più pressurizzati (Fig. 5).

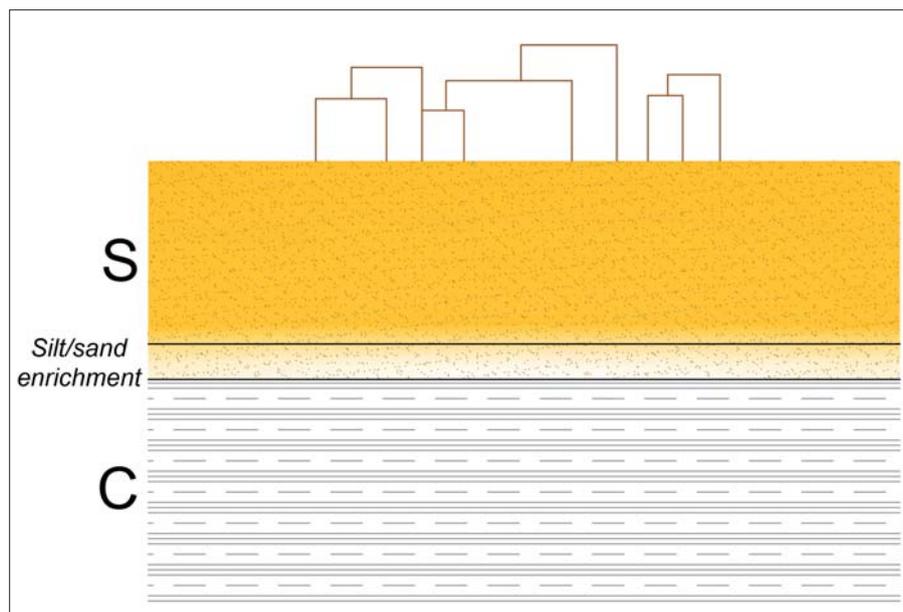


Figura 5 – Fascia di arricchimento granulometrico in silt per asportazione delle particelle argillose

3.2 PROCESSI FISICO-CHIMICI

Sia che si muova in superficie, sia nei suoi talvolta lunghi percorsi sotterranei, al flusso è associato un trasporto di massa: calore, sali disciolti, particelle di terreno in sospensione ed oggi, sempre più spesso, inquinanti di vario

3.2.1 Terreni argillosi

Nei terreni argillosi, la variazione delle concentrazioni saline nelle soluzioni interstiziali provoca variazioni delle caratteristiche dielettriche a livello delle microstrutture, con

variazioni dimensionali del doppio strato che si risentono al finito come processi di ritiro o di rigonfiamento (Fig. 6).

La Fig. 6.a evidenzia in termini qualitativi l'andamento dell'intensità di campo elettrostatico al variare della distanza dalla

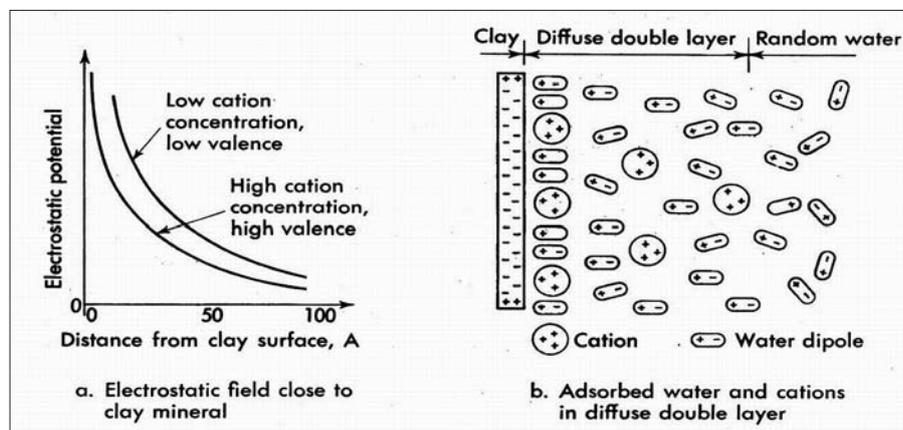


Figura 6 – a. Intensità del campo elettrostatico al variare della distanza dalla superficie del cristallo di argilla; b. Acqua adsorbita e cationi nel doppio strato elettrico (da Sowers & Sowers, 1970, modif.)

tipo. Inoltre, l'acqua interagisce con i terreni e con i gas presenti e molto raramente tale interazione è priva di effetti. Più comunemente, e per quelli che sono i nostri interessi, le condizioni tipiche di interazione determinano:

- variazione delle concentrazioni saline nelle soluzioni interstiziali dei terreni;
- precipitazione di sali (processo di cementazione nel non saturo) o scioglimento di sali (processo di soluzione di solidi nella roccia costituente i granuli, nella matrice o in precedenti depositi cementati nel saturo in condizioni di flusso).

superficie di un cristallo di argilla, nel caso di liquidi interstiziali con alta concentrazione di cationi o con cationi ad alta valenza (curva più a sinistra), rispetto a quello che si genera a parità di cariche del cristallo in presenza di liquido interstiziale a bassa concentrazione o con cationi di bassa valenza (curva esterna a destra).

Il processo di diffusione ionico generato da acque meteoriche (assimilabili ad un liquido con bassa concentrazione ionica) su argille marine (quindi con liquido interstiziale ad alta concentrazione ionica) si associa quindi ad

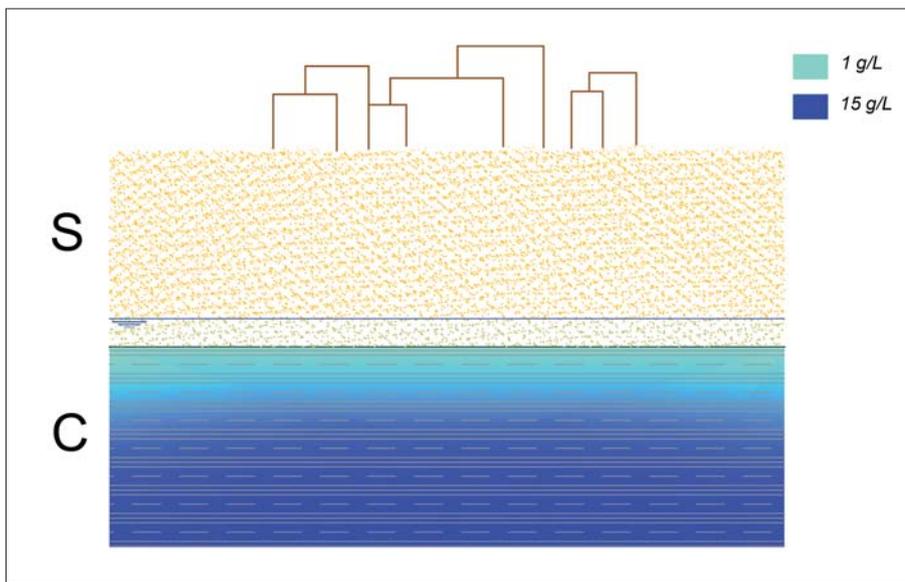


Figura 7 – Variazioni della concentrazione salina al tetto della formazione delle argille marine a contatto perenne con falda di acqua dolce

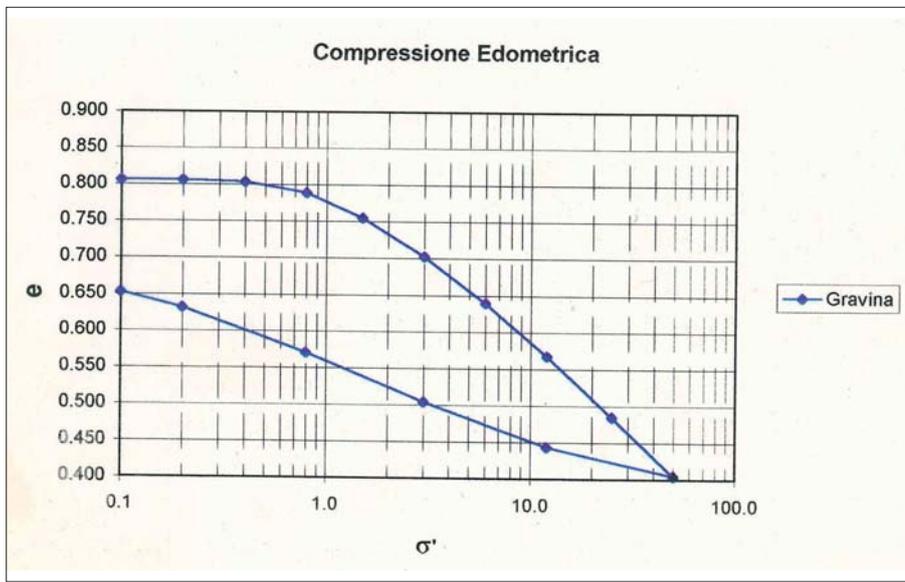


Figura 8 – Curva di compressione edometrica in argilla non rigonfiante

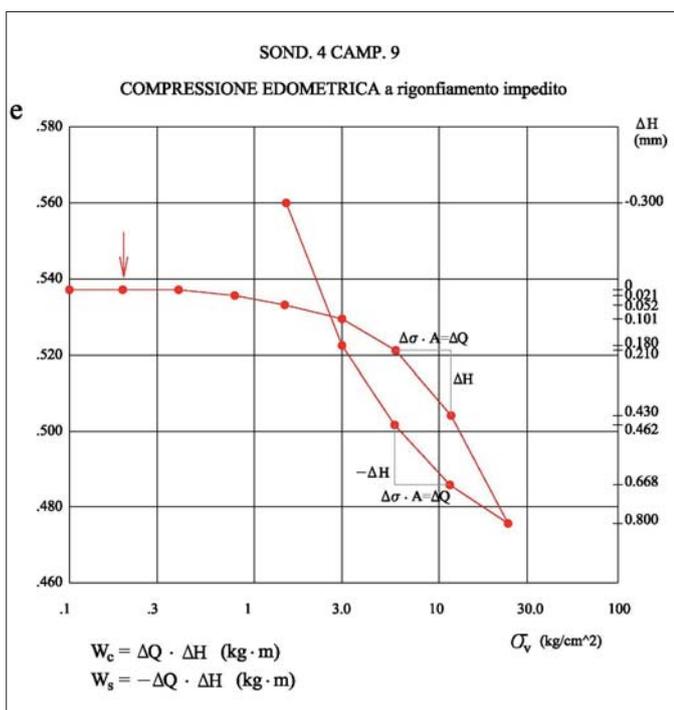


Figura 9 – Curva di compressione edometrica a rigonfiamento impedito

un incremento dell'intensità del campo elettrostatico a parità di distanza dalla superficie del cristallo di argilla, rispetto alla situazione antecedente l'interazione (Fig. 7).

I fluidi interstiziali all'interno delle argille, quindi, in ragione del loro contenuto salino (tipi e concentrazione) concorrono a determinare una condizione di equilibrio volumetrico in rapporto allo stato tensionale agente. La sola variazione della salinità dei fluidi interstiziali, secondaria a processi di diffusione, è quindi in grado di produrre variazioni volumetriche o di stato tensionale in caso di confinamento rigido, richiamando una straordinaria similitudine con l'equazione comportamentale di gas perfetti.

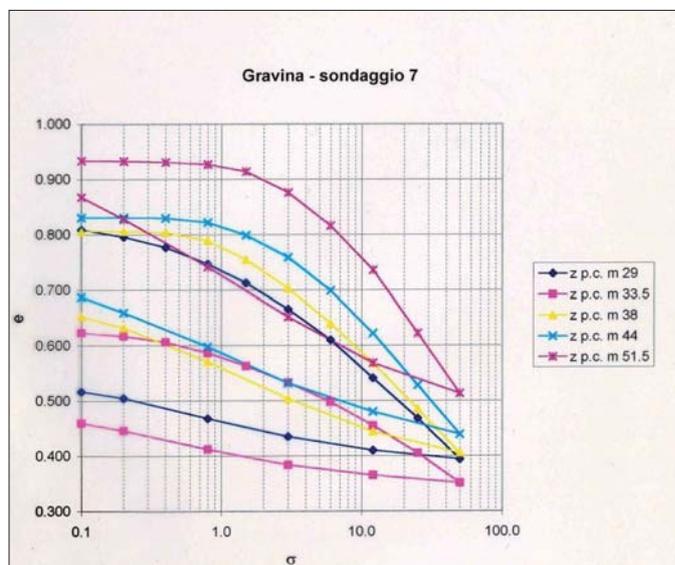
Variazioni volumetriche, cioè del peso specifico (dell'indice dei vuoti), nella fascia di terreno che risente della diffusione ionica, conseguentemente si associano a variazioni della resistenza e della deformabilità dei terreni.

Il comportamento è ben descritto dalle prove edometriche in acqua distillata, che forzano il processo nelle fasi di carico o di scarico a basse pressioni, evidenziando comportamenti espansivi o, se contrastati, elevate pressioni di rigonfiamento (Figg. 8, 9). Nelle argille azzurre pleistoceniche della Fossa Bradanica è facile misurare pressioni di rigonfiamento fino a 500 kPa (Fig. 10).

Il diverso comportamento è ascrivibile alla diversa penetrazione del processo di diffusione ionica.

È opportuno puntualizzare che il fenomeno del rigonfiamento, se non contrastato, è un processo entropico che comporta contestualmente riduzione dell'addensamento, della resistenza e della rigidità dei materiali. Tali processi sono grammaticalmente presenti al piede dei pendii in argille, lambiti da corsi d'acqua o laghi o da scavi recenti.

Figura 10 – Variazione del rigonfiamento in fase di scarico con la profondità del campione dalla superficie



3.2.2 Fluidi interstiziali: estrazione ed analisi

Per quanto detto al paragrafo precedente, risulta di fondamentale importanza studiare le correlazioni tra il comportamento tenso-deformativo delle argille e le proprietà dei fluidi interstiziali in esse contenute. Questo è possibile attraverso il prelievo e l'analisi dei fluidi con una specifica attrezzatura (Fig. 11) che consente il drenaggio dell'acqua interstiziale sottoponendo un provino cilindrico di argilla (diametro 8 cm e altezza 15 cm) a compressione (almeno fino a 200 Bar). Con questa procedura è possibile estrarre qualche centimetro cubo a 15000 kPa, in funzione di "e" iniziale, metodologia preferibile a quella di analisi di acqua distillata in cui si stempera un campione di argilla, per i notevoli errori che tale procedura genera inserendo sali non partecipanti al processo.

Con tale metodologia sono stati analizzati numerosi campioni di argille subappennine in diverse zone dell'area bradanica, correlando i risultati con le condizioni di esposizione geomorfologica ed idrogeologica dell'area di campionamento e con le caratteristiche geotecniche dei campioni, dedotte da prove di laboratorio (Fig. 12).

Nel sito di studio, una galleria sul bordo della fossa Bradanica presso Gravina, a partire dal piano campagna e per una profondità di circa 20 m, sono presenti sabbie passanti alle sottostanti argille. In Fig. 12 a e b sono riportate rispettivamente le sezioni verticali della temperatura e della salinità risultanti



Figura 11 – Cella per estrazione di fluidi interstiziali ad elevata pressione (fino a 200 Bar). (Laboratorio Idrogeologia Applicata, UniBas)

dall'interpolazione dei profili termo-salinometrici condotti in alcuni sondaggi attrezzati a piezometri e interessanti le quote galleria. L'andamento della temperatura individua un nucleo "freddo" nell'ammasso, che mantiene temperature inferiori ai 15°C alla profondità di circa 20 m dal p.c..

L'effetto di raffreddamento nell'ammasso argilloso si manifesta attraverso la curvatura delle isoterme verso il basso e deriva da profonda penetrazione di acque dolci provenienti dalla formazione sabbiosa: il nucleo freddo è infatti sostanzialmente sovrapponibile al nucleo caratterizzato da contenuto salino inferiore a 0.6 g/l.

In Fig. 12 sono riportati, in relazione allo sviluppo della progressiva in galleria, anche i dati relativi all'analisi delle acque ottenute dallo squeezing di campioni prelevati nella galleria stessa. Come indicato dal TDS (Fig. 12f) delle stesse acque, le concentrazioni degli anioni (Fig. 12c) e dei cationi (Fig. 12d) sono riferibili ad acque lievemente salmastre, manifestando le minori concentrazioni in corrispondenza del nucleo termico "freddo". Nella Fig. 12e sono riportate le facies idrochimiche calcolate attraverso le percentuali ioniche. Le facies sono di tipo Fb, (fresh-brackish, defini-

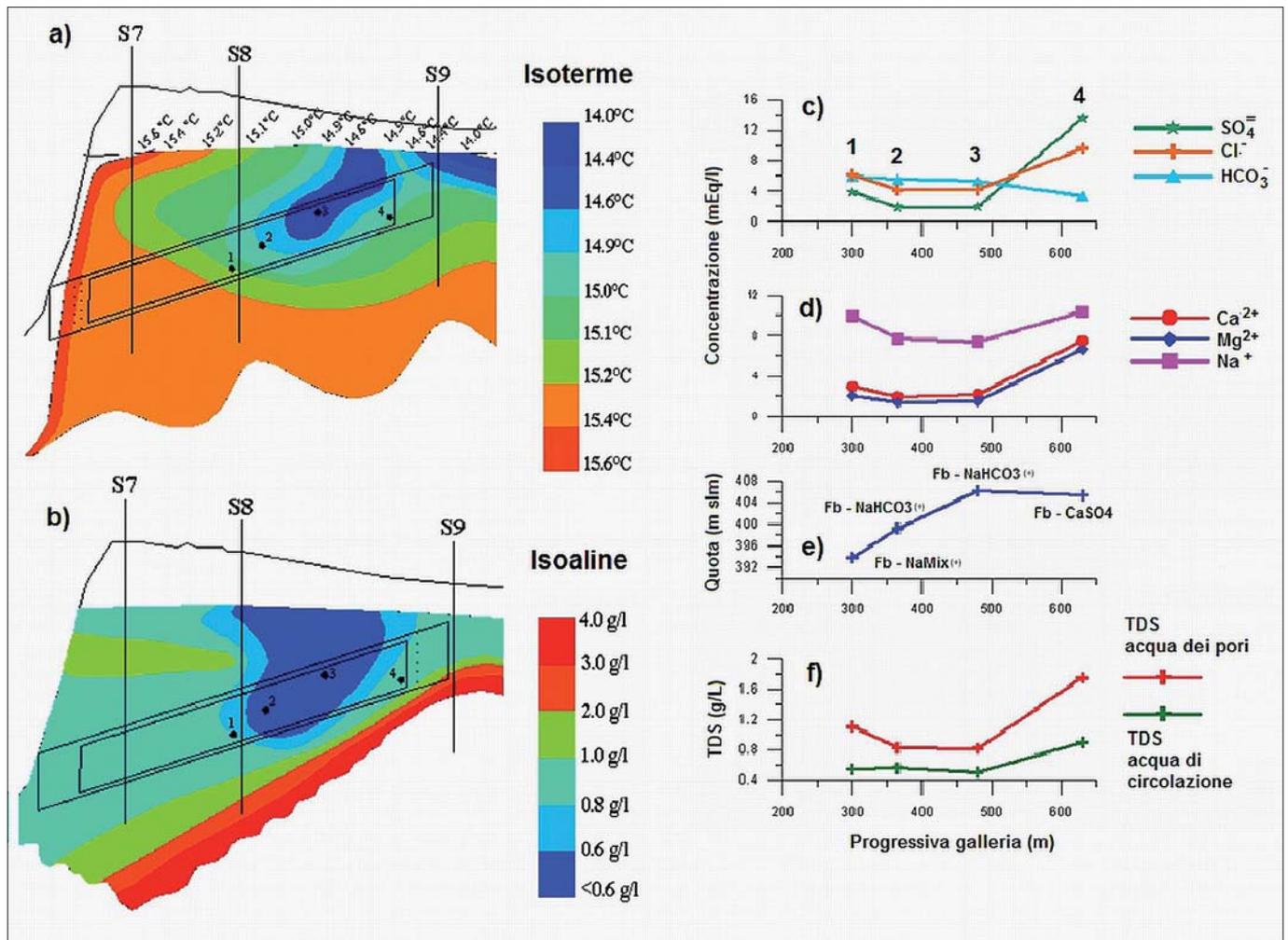


Figura 12 – Galleria di Gravina in Puglia, SS96. Ricostruzioni di sezioni termiche e saline (a, b); concentrazioni degli anioni (c), dei cationi (d) e delle facies idrochimiche (e) delle acque interstiziali estratte con tecniche di squeezing; confronto tra il TDS delle acque di circolazione locale e quello delle acque interstiziali; sezioni e dati chimici sono riferiti a campioni ubicati lungo la progressiva galleria (f)

te tali per cloruri superiori a 300 mg/l ed inferiori a 1000 mg/l), e variano dal tipo NaMix, al tipo NaHCO_3 sino a quello CaSO_4 . I primi due acronimi indicano facies che si originano per dilavamento da parte di acque dolci di sedimenti precedentemente in equilibrio con acque saline (refreshing) (Gimenez *et al.*, 1995; Fidelibus, 2014). Quando, infatti, acque dolci (con presenza percentuale prevalente di calcio) dilavano sedimenti salini, il disequilibrio tra l'acqua interstiziale diluita e il complesso di scambio attiva lo scambio ionico diretto Ca/Na, cioè il calcio spiazza il sodio sino a che un nuovo equilibrio viene raggiunto. Come risultato della concomitanza della diluizione

di scambio occupati da calcio). Il suffisso Mix indica che nessuno degli anioni maggiori supera il 50% del loro totale. Le acque analizzate indicano quindi uno stadio molto avanzato di dilavamento della formazione argillosa. La facies CaSO_4 , comunque molto diluita rispetto alle acque salate originariamente presenti nelle argille marine, deriva dalla importante presenza nelle argille di solfuri metallici facilmente ossidati a solfati.

Nella Fig. 12f è riportato l'andamento del TDS dei campioni di acqua interstiziale e, per confronto, è riportato l'andamento del TDS delle acque di libera circolazione rilevato dai profili della salinità condotti nei sondaggi

dei liquidi interstiziali e delle loro variazioni, hanno goduto della lunga stabilità tettonica dell'area, poggiante a breve profondità sul basamento roccioso delle Murge, che ha assegnato condizioni di lunga stazionarietà alla condizione di falda idrica in testa alle argille. La circolazione d'acqua dolce nelle sabbie, come rivelato dalla salinità delle acque ottenute da squeezing, ha portato alla diluizione delle acque dei pori, con annessi processi di scambio ionico diretto, fino all'equilibrio, con perdita di addensamento ed ammorbidimento delle argille.

3.2.3 Terreni cementati

Una ampia categoria di terreni presenti nelle formazioni geologiche appenniniche o sub appenniniche è riconducibile a rocce debolmente cementate o rocce tenere, molto spesso a componente carbonatica. In molti di questi terreni è riconoscibile una complessità costitutiva della fase solida, che ha tre componenti distinte, riconducibili a scheletro, matrice e cemento, in rapporti quantitativi non fissi.

L'aspetto principale di questi terreni (o rocce tenere) è che le condizioni puntuali e di massa, che ne determinano il comportamento tecnico, resistenza, deformabilità e permeabilità, sono facilmente modificabili e presentano uno dei componenti, il cemento, particolarmente reattivo con l'ambiente al contorno, definito ancora una volta dalle acque di libera circolazione, capaci localmente di produrre nuovi equilibri chimici e il trasporto di particelle fini e di soluto. Per tali terreni, ogni condizione di formazione, trasporto, sedimentazione, sovraccarico e chimismo delle acque interstiziali ha o ha avuto quindi conseguenze sui componenti del terreno e sui fenomeni diagenetici post-sedimentari (Fig. 13, 14).



Figura 13 – Sabbie cementate della formazione delle sabbie di Aliano in prossimità del piede della frana di Senise del 1986

e dello scambio ionico, le acque interstiziali sono più ricche in sodio e più povere in calcio rispetto al miscelamento conservativo. Tale fatto è segnalato dal segno (+) che identifica le facies. Una continua diluizione da parte di acque dolci porta ad acque interstiziali sempre più dolci con facies idrochimiche tipiche quali $\text{NaCl}(+)$, $\text{NaClHCO}_3(+)$ and $\text{NaHCO}_3(+)$, che infine evolvono a CaHCO_3 quando il processo di dilavamento è completo (tutti i siti

disponibili alla stessa profondità del campionamento dei campioni per lo squeezing).

La quasi parità di TDS indica che l'equilibrio tra l'acqua interstiziale e acqua di circolazione nell'ammasso è praticamente raggiunto, contestualmente realizzando gli equilibri energetici pressione/volume. Non ci si aspettano ulteriori rigonfiamenti e reazioni da parte del sistema acqua-argilla. Infatti, nel caso in esame, i processi a carico

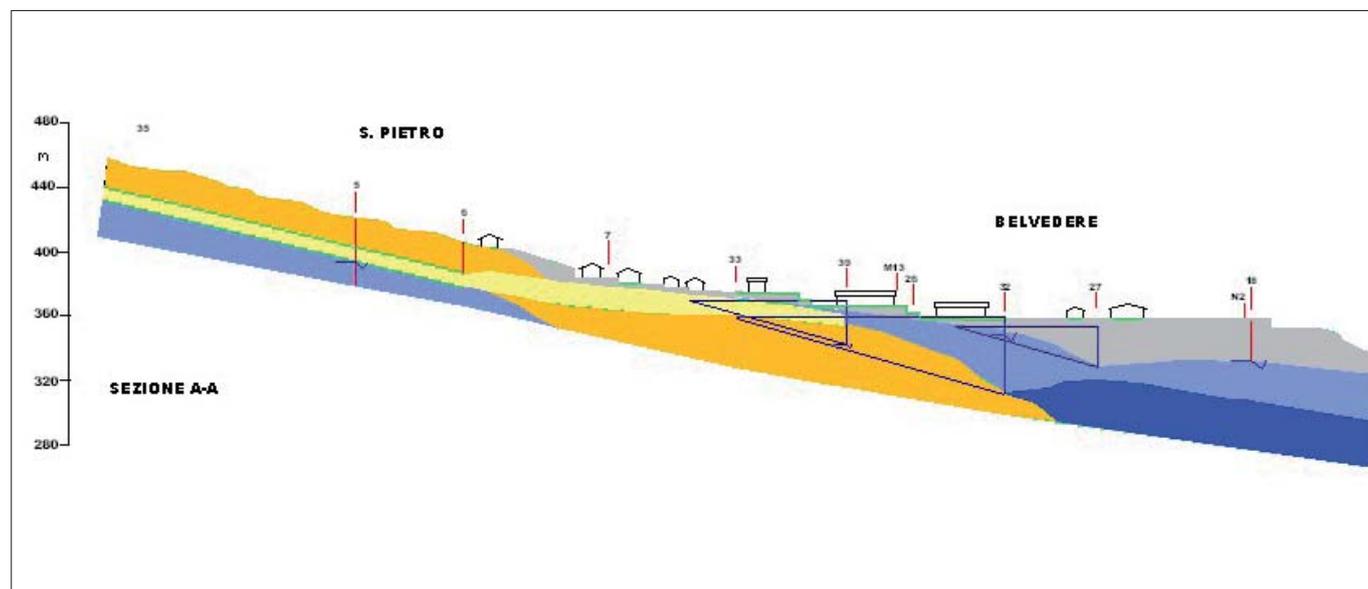


Figura 14 – Frana di Senise. Sabbie in assetto monoclinale a franapoggio con intercalazioni di livelli centimetrici impermeabili che determinano sandwich saturi con acqua in pressione. In alcuni sondaggi l'acqua è risalita fino a circa 34 m



Figura 15 – Versante occidentale dell'abitato di Spinazzola

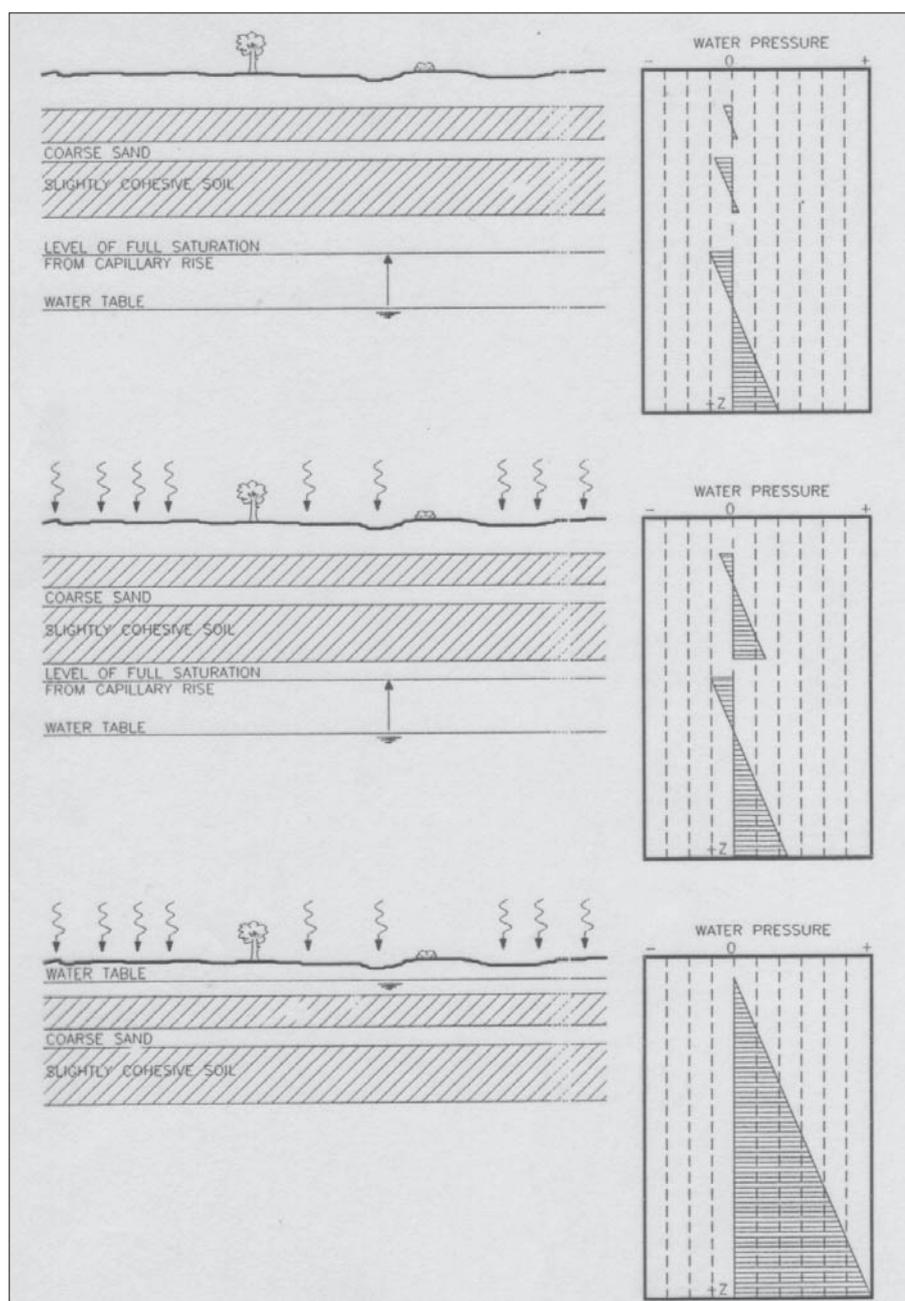


Figura 16 – Evoluzione del processo di saturazione per alimentazione meteorica con progressivo annullamento delle fasce capillari ed incremento delle pressioni idriche positive. NB: L'incremento di spinta è quadratico rispetto all'incremento lineare di saturazione

Si possono osservare le sottili partizioni limose incrostate che determinano sandwich impermeabili entro cui le acque possono accumularsi e, in virtù dell'assetto monoclinale a franapoggio, raggiungere pressioni molto elevate. Nei sondaggi effettuati a Senise sono state misurate altezze di risalita dell'acqua di 34 m (Fig. 14).

Il versante occidentale dell'abitato di Spinazzola di Fig. 15 è modellato in sabbie cementate con sottili partizioni limose che determinano la presenza di piccole falde sospese e il periodico arretramento del versante. Agli inizi del 1900 almeno due isolati antecedevano la parte di abitato visibile sulla destra in alto della foto.

Effetti associati

Dopo aver elencato i processi fisici e fisico-chimici elementari nell'interazione tra acqua e terreni, significativi per i fenomeni di instabilità, è possibile elencare una gran quantità di processi che si generano per la presenza di acqua nei terreni, basati sui processi precedentemente descritti variamente associati:

- variazione del livello di falda (falde libere) o del livello piezometrico (falde confinate).
- annullamento di carichi idraulici negativi (Fig. 16), instaurazione di carichi idraulici positivi non omogeneamente distribuiti e innesco di movimenti di filtrazione.
- variazione della filtrazione a seguito della variazione della distribuzione dei carichi idraulici.
- incremento delle forze di filtrazione e variazione della loro direzione.
- fenomeni di ritiro (addensamento secondario a regime capillare) o di rigonfiamento per riduzione delle pressioni idrauliche positive.
- rigonfiamento osmotico (se non contrastato); pressioni di rigonfiamento (deformazione contrastata).
- variazioni della resistenza sulla superficie di rottura; variazioni di resistenza e di rigidità nella massa.

3.3 INNESCO ED EVOLUZIONE DEL PROCESSO DI INSTABILITÀ - ROTTURA PROGRESSIVA

Una rottura progressiva si genera quando il processo tenso-deformativo interessa un ammasso con stratificazioni di terreni dotati di rigidità molto differenti. In tali condizioni, la congruenza deformativa genera distribuzione disomogenea delle tensioni, con sovraccarico dei livelli dotati di maggiore rigidità.

Sabbie e calcareniti di depositi quaternari marini terrazzati o costieri, compresi quelli più rigorosamente calcarei, tipicamente poggiano su formazioni argillose o marnose, dando luogo a situazioni del tutto particolari, caratterizzate da:

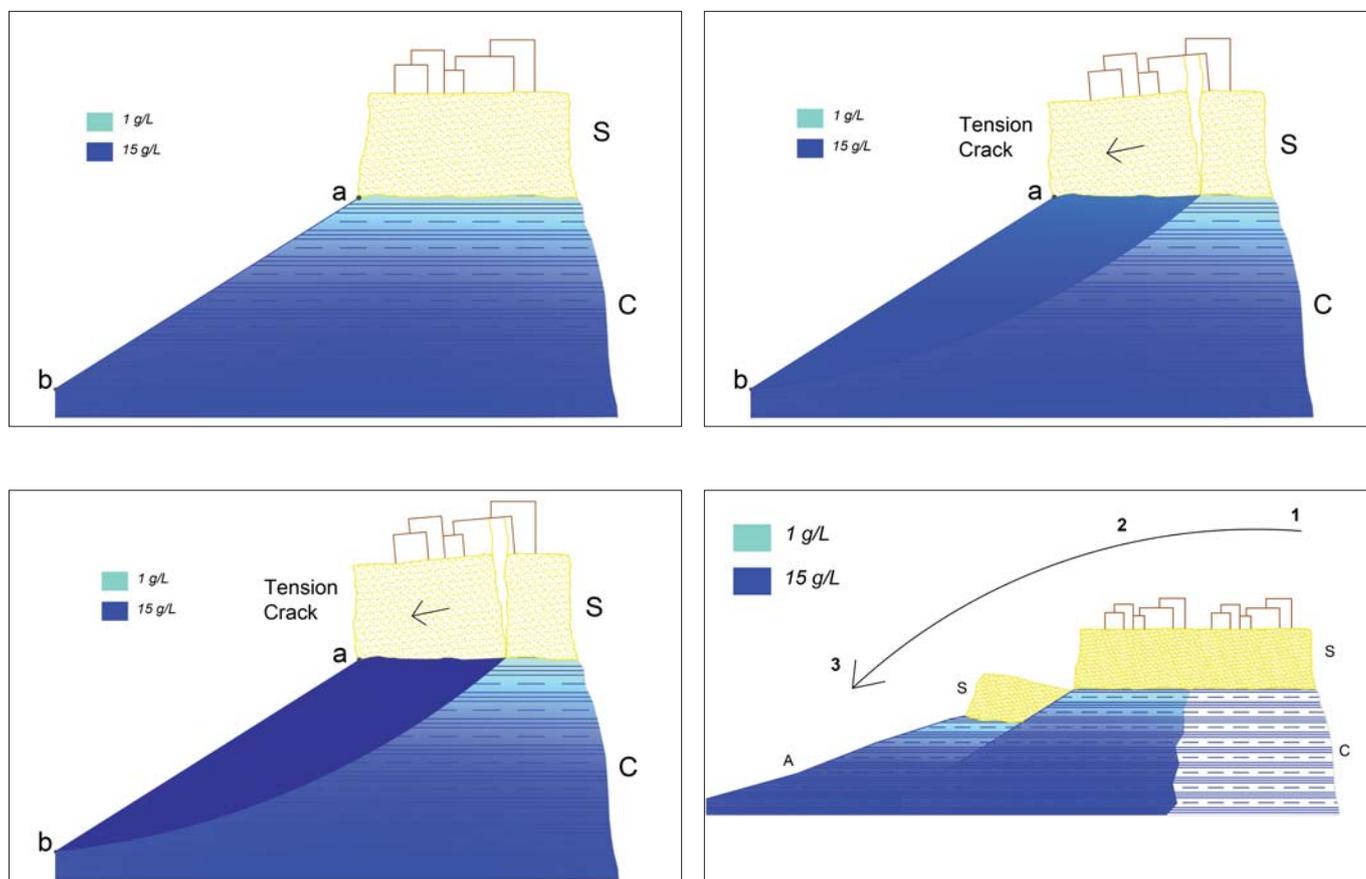


Figura 17 – Scorrimento rotazionale associato a rottura progressiva in placche rigide su argille marine in assetto orizzontale. a) stratificazione salina al contatto placca acquifera su argilla di base; b) deformazione del basamento e frattura della placca; c) trasmissione del carico alle argille ed inizio del processo deformativo; d) fase finale, scorrimento

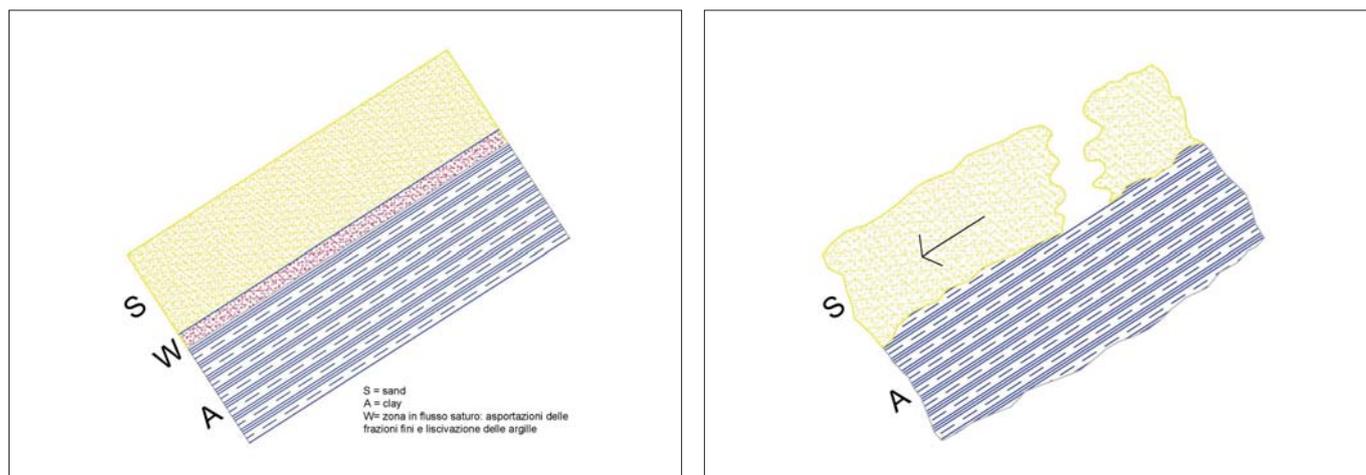


Figura 18 – Scorrimento traslativo di placche rigide su letto di argille marine in assetto monoclinico. a) indebolimento strutturale alla transizione placca-argilla; b) fessurazione e scorrimento traslativo della placca

- profilo delle sabbie subverticale per altezze di diverse decine di m (se lo spessore complessivo delle sabbie è tale) a causa della leggera cementazione
- costituzione di una falda idrica al contatto tra il deposito sabbioso e le sottostanti argille
- ammorbidimento delle argille in prossimità del bordo di tali contatti per effetto combinato della riduzione di contenimento ed interazione chimico-fisica con l'acqua dolce, che come già descritto in precedenza, può provocare variazioni volumetriche con distribuzione spaziale non omogenea, capaci di generare ridi-

stribuzioni tensionali negli strati rigidi sovrastanti.

A tali considerazioni si deve aggiungere che i terreni di cui si parla esibiscono rottura di tipo fragile con bassi valori della deformazione che precede la rottura. Infatti la componente della resistenza dovuta alla cementazione si annulla totalmente ed irreversibilmente con le deformazioni sotto sforzi taglianti. Da ciò deriva una ulteriore conseguenza: nei meccanismi di rottura più complessi, che coinvolgono le argille sottostanti, la differenza nei valori di deformazione associabili alle rotture di picco conduce ad una rottura di tipo progressiva.

Le Figg. 17 (a, b, c, d) e 18 (a, b) mostrano l'innescò e l'evoluzione di processi di instabilità dovuti a rottura progressiva.

4. MITIGAZIONE E STABILIZZAZIONE DEI PROCESSI DI INSTABILITÀ

In primo luogo è necessario premettere che le frane costituiscono un elemento vitale nel sistema ambientale. Esse infatti alimentano il trasporto solido dei corsi d'acqua, che a sua volta è elemento fondamentale della stabilità delle coste basse. Per questo motivo, la stabilizzazione delle frane e la difesa del suolo su ampia scala devono essere intraprese solo a fronte di evidenti valide motivazioni.

La salvaguardia di un antico centro storico non solo è una valida motivazione, ma per evidenze socio-ambientali ed antropologiche, obbligatoria, quando possibile.

In termini generali e per quanto visto, i processi di interazione tra acqua e terreni nei processi di instabilità sono molteplici, e possono definire condizioni dinamiche, la cui direzione teoricamente può essere invertita a favore dei processi utili alla stabilizzazione.

Molto spesso, il controllo e contrasto a tali processi può essere realizzato con interventi

cessariamente preceduta dalla riduzione del carico idrico.

Prima di ridurre la quantità di acqua nel terreno, è sicuramente utile contrastarne l'ingresso. Questo statement introduce ad un'altra categoria di interventi, che si localizzano alla superficie topografica, con lo scopo di realizzare il più veloce allontanamento delle acque zenitali, la minore penetrazione e imbibizione superficiale, la maggiore traspirazione ed evapotraspirazione possibile. A questo proposito, è utile ricordare che la quantità di

depauperamento delle falde idriche e quindi lo svuotamento preventivo dell'acqua dai versanti. E' molto importante evidenziare che a seguito dell'esecuzione dei drenaggi si modificano le direzioni di flusso e quindi è possibile correggere, almeno parzialmente, quelle sfavorevoli alla stabilità, modificando quindi le forze di filtrazione. In particolare, queste ultime possono essere deviate in direzione e verso tali da divergere dalle direzioni di movimento della frana e nella direzione più favorevole alla stabilità di un terreno attritivo



Figura 19 – Sistemazione con drenaggi profondi e tecniche di ingegneria naturalistica (b) della scarpata principale di frana del versante sotto l'abitato di Carlantino (Fg) affetto da intensa franosità regressiva (a)

innovativi o tradizionali a basso costo, che devono sempre precedere interventi di stabilizzazione strutturale, costosi e talvolta di breve vita operativa.

I processi associati o associabili all'aumento del carico idraulico negli acquiferi bordieri e del contenuto d'acqua nei terreni di un versante, alla loro saturazione e all'instaurarsi di moti di filtrazione, difficilmente lavorano a favore della stabilità. Per tal motivo, contrastare l'incremento del contenuto d'acqua dei terreni, cioè ridurlo possibilmente al di sotto del livello di saturazione, soglia intorno alla quale si inverte il segno della pressione dell'acqua nel terreno, è azione meritoria, ne-

acqua annualmente traspirante da un terreno anche incolto è enormemente maggiore di quella che può infiltrarsi a seguito di una pioggia intensa. Si deve evitare quindi l'impermeabilizzazione bidirezionale, utilizzando tecniche che consentano l'EVT.

I principi enunciati conducono a macro categorie di interventi sull'elemento acqua, classicamente già noti, ma richiedenti particolare esperienza per ottenere efficacia e durabilità. Ci si riferisce al controllo dei flussi di superficie, di quelli sotterranei, dell'evapotraspirazione e del chimismo delle soluzioni interstiziali.

Dreni superficiali o ampie tipologie di drenaggi profondi (Fig. 19) conseguono il

(Fig. 20). Per lo stesso motivo, sono quindi da evitare drenaggi superficiali orientati secondo le isoipse, facilmente sostituibili con percorsi ad Y, mentre possono rivelarsi molto utili drenaggi suborizzontali da fori o da gallerie drenanti o da pozzi.

Infine, il tentativo di restituzione ai terreni argillosi dei loro primitivi ambienti idrogeochimici interstiziali, generalmente marini e quindi salati, è importante, perché abbiamo visto come tale risultato conseguirebbe un lavoro in direzione anti-entropica e di guadagno in termini di resistenze e rigidità dei materiali. Sperimentazioni devono essere condotte per ottenere il risultato in termini di omogenea

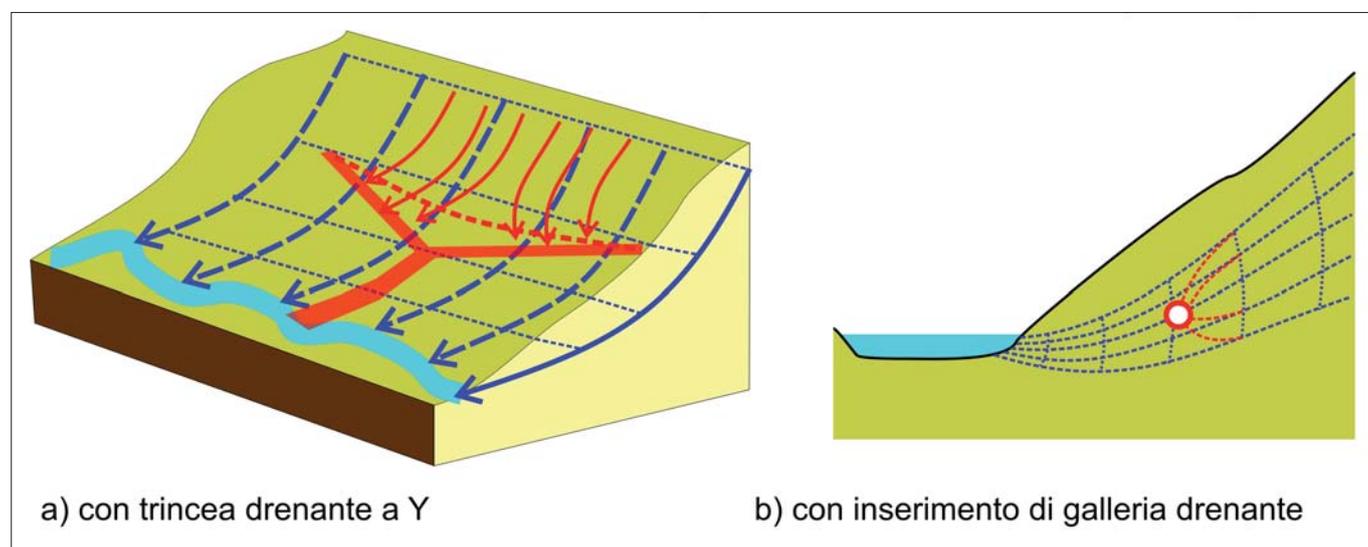


Figura 20 – Variazione della direzione di filtrazione (e delle forze di filtrazione) in un pendio

ridistribuzione delle salinità e in fasce di profondità utili e in tempi accettabili.

In conclusione, le esperienze che si presentano evidenziano l'importanza del controllo delle acque superficiali e profonde con tecniche tradizionali ed innovative e delle interazioni in saturazione e non saturazione del chimismo dei fluidi di circolazione ed interstiziali. Il tutto, basato su accurati studi idrogeologici, dovrebbe precedere qualsiasi intervento di consolidamento strutturale.

Deve tuttavia essere evidenziato come l'aspetto più rilevante delle esperienze di salvaguardia degli antichi centri storici della Basilicata e della Puglia risieda nella valutazione (prevedibile) che oltre all'investimento in opere e lavori è necessaria la manutenzione periodica programmata (quindi non casuale), delle opere e del territorio.

BIBLIOGRAFIA

- ALMAGIÀ R. (1913), *Forme e fenomeni di erosione nei dintorni di Bagnoregio*, Bollettino della Società Geografica Italiana, a. II VII, voi. I e 2., 12-13.
- BARBOUR S. L., FREDLUND D. G. (1989), *Mechanisms of osmotic flow and volume change in clay soils*, Canadian Geotechnical Journal, 26, 551-562.
- BOLT G. H. (1956), *Physico-chemical analysis of the compressibility of pure clays*, Geotechnique, 6, No. 2, 86-93.
- CANORA F., PELLICANI R., SPILOTRO G. (2011), *Water-soil interactions and landslides in blue marine clays of Southern Italy*, Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, EGU2011-8849, EGU General Assembly 2011.
- CANORA F., PELLICANI R., SPILOTRO G., FIDELIBUS M.D., GALLICCHIO S. (2012), *Kinematics and Evolution of Carlantino large landslide (Apulia, Southern Italy)*, International Symposium on Landslides 2012 Banff, Canada. Landslides and Engineered slopes: Protecting Society through improved understanding. Eberhardt et Al. eds., Taylor & Francis Group, London.
- CASAGLI N., DELMONACO G., FOCARDI P., MARGOTTINI C., SERAFINI S. (2000), *Analisi dei fenomeni di dissesto a Civita di Bagnoregio ed interventi di stabilizzazione*, International Conference GeoBen 2000, Torino, 7-9 giugno 2000.
- CONVERSINI P., PANE V., PIALLI G., FABRIZI O. (1997), *The preservation of historical towns of Umbria: the Todi case and its observatory*, Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites, Viggiani (ed.), Balkema, Rotterdam.
- DI MAIO C. (1994), *Variazioni di volume in provini di bentonite per interazioni con soluzioni saline. Il ruolo dei fluidi nei problemi di Ingegneria Geotecnica*, Mondovì, Italy, vol. I, 29-43.
- FIDELIBUS M.D., *Chemical features of blue clay interstitial waters*, 1st SCORE@POLIBA Workshop, December 3rd-5th 2014.
- GIMENEZ E., FIDELIBUS M.D., MORELLI I. (1995), *Una metodología de análisis de facies hidroquímica aplicada al estudio de la intrusión marina en acuíferos detríticos costeros: aplicación a la Plana de Oropesa (Castellón)*. Hidrogeología, vol. 11, p. 55-72, ISSN: 0214-1248.
- GLISCI C., SPILOTRO G. (2005), *La grande frana di Aliano (Mt) del 1998 nel contesto dell'evoluzione tettonica locale*, Atti Dipartimento Strutture, Geotecnica, Geologia Applicata, UNIBAS, n. 1, 2005, pp. 1-19.
- HASENPATT R. (1988), *Bodenmechanische Veränderungen reiner Tone durch Adsorption chemischer Verbindungen*, Batch- und Diffusionsversuche. Mitteilungen des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik ETH, Zürich, Vol. 134.
- KRUYKOV P.A., KOMAROVA N.A. (1954), *Concerning squeezing out of water from clays at very high pressures*, Dokl. Akad. Nauk. S.S.S.R., 99, 617-619.
- LACURTO O., PRIORI A. (1995), *Caratterizzazione geomecanica delle ignimbriti compatte di Civita di Bagnoregio (VT) in situazione di dissesto idrogeologico*, Geologia Tecnica e ambientale 2, 35-51.
- MANHEIM F. T. (1966), *A hydraulic squeezer for obtaining interstitial water from consolidated and unconsolidated sediments*, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 550-C, 256-261.
- MARGOTTINI C. (1990), *Evoluzione morfologica dell'area di Civita Bagnoregio in tempi storici. Estratto da Civita di Bagnoregio*, ENEA, Associazione Progetto Civita, pag. 23-28, 57-70.
- MARGOTTINI C. ET ALII (1990), *Civita di Bagnoregio: osservazioni geologiche e monitoraggio storico dell'ambiente: una ricerca ENEA*, Associazione Progetto Civita, Roma.
- MARGOTTINI C. ET ALII (1997), *Proposta di intervento per il consolidamento del versante settentrionale e della sella di accesso a Civita di Bagnoregio*.
- MITCHELL J. K., WITHERSPOON P.A., GREENBERG J.A. (1973), *Chemico-Osmotic Effects in Fine-Grained Soils*, J. Soil Mech. Found. Div., Am. Soc. Civ. Eng.; (United States) 99:SM4 (April). United States.
- MITCHELL J. K. (1992), *Fundamentals of Soil Behavior*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- NAPOLEONI Q. (1991), *Civita di Bagnoregio: un esempio di recupero*, "L'Ingegnere", Ingegneria Ambientale e Territoriale, vol. 5-8, pp. 99-111.
- NAPPI G., CAPACCIONI B., RENZULLI A., SANTI P., VALENTINI L. (1994), *Stratigraphy of the Orvieto-Bagnoregio Ignimbrite eruption (Eastern Vulsini District, Central Italy)*, Memorie Descrittive Della Carta Geologica D'Italia, vol. 49, 41-254.
- NAPPI G., VALENTINI L., MATTIOLI M. (2004), *Ignimbritic deposits in central Italy: pyroclastic products of the quaternary age and Etruscan footpaths*, Field Trip Guide Book, P09 32° IGC, Florence (Italy), 20-28 August 2004, pp. 32.
- PELLICANI R., FRATTINI P., SPILOTRO G. (2013), *Landslide susceptibility assessment in Apulian Southern Apennine: heuristic vs statistical methods*, Environmental Earth Sciences Journal, 72(4), pp 1097-1108.
- PELLICANI R., SPILOTRO G. (2013), *Landslide susceptibility mapping in Apulian Apennine (Italy)*, Rend. On Line SGI, Eds. Calcaterra & Fabbrocino, vol. 24, 238-240.
- PELLICANI R., SPILOTRO G. (2015), *Evaluating the quality of landslide inventory maps: comparison between archive and surveyed inventories for Daunia region (Apulia, Southern Italy)*, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 74 (2): 357-367. DOI: 10.1007/s10064-014-0639-z.
- PELLICANI R., SPILOTRO G., ERMINI R., SDAO F. (2015), *The large Montescaglioso landslide of december 2013 after prolonged and severe seasonal climate conditions*, ISL 2016 Naples.
- PELLICANI R., SPILOTRO G., VAN WESTEN C. (2015), *Rockfall trajectory modelling combined with heuristic analysis for assessing the rockfall hazard along the Maratea SS 18 coastal road (Basilicata, Southern Italy)*, Springer, Landslides, December 2015.
- PELLICANI R., VAN WESTEN C., SPILOTRO G. (2013), *Assessing landslide exposure in areas with limited landslide information*, Landslides Journal, Springer Verlag, vol. 11, issue 3, pp 463-480.
- QERAXHIU L., PELLICANI R., ARGENTIERO I., SPILOTRO G. (2016), *Risk evaluation focused on the valorization and management of cultural underground heritages*, Geophysical Research Abstracts, Vol. 18, EGU2016-15094, EGU General Assembly 2016.
- ROSENQUIST, I. TH (1955), *Investigations into the clay-electrolyte-water system*, Norwegian Geotechnical Institute, Publ. No. 9, 125.
- SPILOTRO G., CANORA F., D'ANGELLA A., FIDELIBUS M.D., PELLICANI R. (2013), *Il dissesto idrogeologico e la sua mitigazione: complessità a livello di scala*, Atti Convegno Dottori Agronomi e Forestali: Il dissesto idrogeologico tra passato presente e futuro. Matera, 20 aprile 2013; Tipografia Zaccara, Lagonegro, luglio 2013.
- SPILOTRO G., COVIELLO L., TRIZZINO R. (2000) *Post Failure Behaviour of Landslide Bodies*, VIII Int. Symp on Landslides, Cardiff, June 2000.
- SPILOTRO G., CANORA F., D'ANGELLA A., PELLICANI R. (2012), *Measuring in land instability*, Proc. First Int. Workshop on methods and technologies for environmental monitoring and modelling: landslides and groundwater dynamics. Università della Basilicata, Potenza, ott. 2011. RC ed, maggio 2012 (sd1).
- SPILOTRO G., COVIELLO L., TRIZZINO R. (2000), *Post Failure Behaviour of Landslide Bodies*, VIII Int. Symp on Landslides, Cardiff, June 2000.
- SPILOTRO G., DI BELLO G., LEANDRO G., PELLICANI R. (2010), *Analysis of acoustic emissions for unstable areas monitoring*, Int. Conference Triggering of Rapid Mass Movements in Steep Terrains - Mechanisms and Risk. ETH, Monte Verità, Ascona, Swiss, April 2010
- SPILOTRO G., FIDELIBUS D. (1995), *Sea level changes and salt content in the pore water of the Taranto blue clays*, Proceed. XI ECSMF, Copenhagen, Vol. 1, 259-264.
- SPILOTRO G., FIDELIBUS C., LENTI V. (1992), *A model for evaluating progressive failure in earth slopes*, Proc. of 6th Int. Symp. on Landslides, Christchurch (N.Z.), Feb. 1992, D.H. Bell (Ed.), Balkema, Rotterdam, pp. 565-571.
- SPILOTRO G., FIDELIBUS M.D., PELLICANI R., QERAXHIU L., ARGENTIERO I., PERGOLA G. (2015), *La salvaguardia del patrimonio architettonico di Matera: i materiali naturali da costruzione, nel tufo e col tufo. Caratterizzazione tecnica delle calcareniti e variazioni per condizioni ambientali*, Atti Convegno OdG Basilicata: Matera, la prima Smart City fondata sulla Geologia, 6 febbraio 2015, Casa Cava, Matera. Geologia, Territorio, Ambiente, n. 25/2016.
- SPILOTRO G., FIDELIBUS M. D., QERAXHIU L., ARGENTIERO I., PELLICANI R. (2016), *Stiff clay masses: big storages of fossil and renewable energy*, Geophysical Research Abstracts, Vol. 18, EGU2016-15858, 2016EGU General Assembly 2016.
- SPILOTRO G., QERAXHIU L., PELLICANI R., ARGENTIERO I. (2015), *Caratteristiche tecniche delle rocce calcarenitiche e loro variabilità in relazione all'ambiente di esposizione*, Laboratorio di pratiche della conoscenza nei Sassi di Matera pp.81-84. Ediz. ARCHIVIA.



Società Italiana di Geologia Ambientale

Tel. 06 5943344

Web: www.sigeaweb.it

Email: info@sigeaweb.it

DOMANDA DI AMMISSIONE ALLA SIGEA da inviare tramite **e-mail**

..l.sottoscritt...(cognome).....(nome).....

nat...a.....il.....

laurea/diploma in.....

professione.....

ente di appartenenza.....

indirizzo d'ufficio (1).....

.....tel.....fax.....

indirizzo privato (1).....

.....tel.....fax.....

E-mail.....

chiede di essere ammesso in qualità di socio (2).....alla SIGEA.

Le sue esperienze principali nel campo della Geologia Ambientale sono (indicare parole chiave):

.....

I suoi interessi principali nel campo della Geologia Ambientale sono :

.....

.....

(data)

.....

(firma)

(1) Indicare Via/Piazza, numero civico, CAP, città, sigla Provincia. **Segnare con un asterisco l'indirizzo al quale deve essere inviata la rivista *Geologia dell'Ambiente*.**

(2) La qualità di socio si acquisisce su domanda del candidato e per approvazione del Consiglio Direttivo.

Possono diventare soci **ordinari** solo le persone che hanno almeno tre anni effettivi di esperienza nel campo della Geologia Ambientale, documentati mediante curriculum da allegare. Possono diventare soci **aderenti** le persone che hanno interesse per la Geologia Ambientale. La *quota associativa annuale* è unica, ai sensi del nuovo Statuto adottato nel 2013; **per il 2017 è di 30,00 euro.**

I versamenti a favore della SIGEA possono essere effettuati mediante:

- Banco Posta, Codice IBAN: IT 87 N 07601 03200 000086235009 (anche on line); intestati a Società Italiana di Geologia Ambientale, Roma.

Secondo lo statuto della SIGEA il rinnovo della quota va effettuato entro il 31 marzo di ogni anno. Per i nuovi soci, la quota di iscrizione pagata dal 1° novembre in poi è valida per l'anno successivo.

Informativa ai sensi dell'art. 13 del D. Lgs. 196/2003 (Codice in materia di trattamento dei dati personali). I dati da lei forniti verranno utilizzati da SIGEA nel pieno rispetto della normativa citata. I dati saranno oggetto di trattamento in forma scritta e/o supporto cartaceo, elettronico e telematico. I dati, previo Suo consenso, verranno utilizzati per l'iscrizione alla SIGEA e per informarla delle attività della SIGEA tramite supporti cartacei e/o elettronici. L'eventuale diniego a fornire tali dati comporterà l'impossibilità di ottenere il servizio richiesto; i dati non saranno soggetti a diffusione presso terzi. L'interessato potrà godere dei diritti assicurati dall'art. 7 (Diritto di accesso ai dati personali ed altri diritti) e dall' art. 8 (Esercizio dei diritti) del D.lgs. 196/2003. Titolare del trattamento è SIGEA.

FORMULA DI ACQUISIZIONE DEL CONSENSO DELL'INTERESSATO

Io sottoscritto/a, acquisite le informazioni fornite dal titolare del trattamento, ai sensi dell'art.13 del D.Lgs. 196/2003, dichiaro di prestare il mio consenso al trattamento dei dati personali per i fini indicati nella suddetta normativa.

Luogo e data _____

Firma _____

**CONCORSO FOTOGRAFICO
SCOPRI E FOTOGRAFA
IL PATRIMONIO GEOLOGICO**

Edizione studenti 2016/2017

> Le Sezioni della SIGEA Lazio, Puglia e Sicilia, al fine di promuovere la conoscenza e la valorizzazione dei siti di interesse geologico (geositi) e i paesaggi geologici delle regioni, bandiscono un concorso fotografico rivolto agli studenti delle scuole medie superiori del Lazio, della Puglia e della Sicilia.

> La partecipazione al concorso è **totalmente gratuita**. Possono partecipare tutti studenti delle scuole medie superiori del Lazio, della Puglia e della Sicilia che sono interessati a condividere le emozioni ricevute attraverso la rappresentazione di uno degli aspetti dei "paesaggi geologici" delle regioni di appartenenza; riprese a volte estemporanee e inattese, spesso realizzate durante passeggiate o lavori di rilevamento, quando si prova un forte desiderio di non perdere quella forma, quel cromatismo, quel bel gioco bizzarro ed irripetibile di forme ed ombre che solo la natura riesce a creare.

> Saranno premiate 15 foto e agli autori delle tre foto più rappresentative dello spirito del concorso sarà offerto un buono acquisto di euro 100 (cento/00).

> Le foto dovranno essere inviate entro il **30 aprile 2017** seguendo le istruzioni disponibili su www.sigeaweb.it ed ogni partecipante potrà presentare un numero massimo di 5 foto.

Tutte le informazioni, regolamento del concorso e modalità di partecipazione sul sito web www.sigeaweb.it



Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA) - Sezione Puglia

Con il Patrocinio

MIUR ISPRA

Ufficio Scolastico Regionale per la Puglia - Direzione Generale Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

**3° CONCORSO FOTOGRAFICO
SCOPRI E FOTOGRAFA
IL PATRIMONIO GEOLOGICO
DELLA PUGLIA**



> La SIGEA Sezione Puglia, al fine di promuovere la conoscenza e la valorizzazione dei siti di interesse geologico (geositi) e i paesaggi geologici della Regione Puglia, bandisce la terza edizione del concorso fotografico rivolto agli studenti delle scuole medie superiori della Puglia.

> La partecipazione al concorso è **totalmente gratuita**. Possono partecipare tutti studenti delle scuole medie superiori della Puglia che sono interessati a condividere le emozioni ricevute attraverso la rappresentazione di uno degli aspetti dei "paesaggi geologici" della regione; riprese a volte estemporanee e inattese, spesso realizzate durante passeggiate o lavori di rilevamento, quando si prova un forte desiderio di non perdere quella forma, quel cromatismo, quel bel gioco bizzarro ed irripetibile di forme ed ombre che solo la natura riesce a creare.

> Saranno premiate 15 foto e agli autori delle tre foto più rappresentative dello spirito del concorso sarà offerto un buono acquisto di euro 100 (cento/00).

> Le foto dovranno essere inviate entro il **30 aprile 2017** seguendo le istruzioni disponibili su www.sigeaweb.it ed ogni partecipante potrà presentare un numero massimo di 5 foto.

Regolamento e modalità di partecipazione: www.sigeaweb.it
Segreteria organizzativa del concorso: Antonello Fiore, Magda Gallo Maresca - foto.paesaggi.puglia@gmail.com

Con la collaborazione di **ZANICHELLI**



Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA) - Sezione Sicilia



REGIONE SICILIANA
Assessorato Territorio ed Ambiente

Con il Patrocinio

ISPRA
Istituto Superiore per la
Protezione e la Ricerca Ambientale

**1° CONCORSO FOTOGRAFICO
SCOPRI E FOTOGRAFA
IL PATRIMONIO GEOLOGICO
DELLA SICILIA**



> La SIGEA Sezione Sicilia, al fine di promuovere la conoscenza e la valorizzazione dei siti di interesse geologico (geositi) e i paesaggi geologici della Regione Sicilia, bandisce la prima edizione del concorso fotografico rivolto agli studenti delle scuole medie superiori della Sicilia.

> La partecipazione al concorso è **totalmente gratuita**. Possono partecipare tutti studenti delle scuole medie superiori della Sicilia che sono interessati a condividere le emozioni ricevute attraverso la rappresentazione di uno degli aspetti dei "paesaggi geologici" della regione; riprese a volte estemporanee e inattese, spesso realizzate durante passeggiate o lavori di rilevamento, quando si prova un forte desiderio di non perdere quella forma, quel cromatismo, quel bel gioco bizzarro ed irripetibile di forme ed ombre che solo la natura riesce a creare.

> Saranno premiate 15 foto e agli autori delle tre foto più rappresentative dello spirito del concorso sarà offerto un buono acquisto di euro 100 (cento/00).

> Le foto dovranno essere inviate entro il **30 aprile 2017** seguendo le istruzioni disponibili su www.sigeaweb.it ed ogni partecipante potrà presentare un numero massimo di 5 foto.

Regolamento e modalità di partecipazione: www.sigeaweb.it
Segreteria organizzativa del concorso: Emanuele Doria, Roberto Feo, Ignazio Giuffrè - foto.paesaggi.sicilia@gmail.com

Con la collaborazione di **ZANICHELLI**



Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA) - Sezione Lazio

Con il Patrocinio

MIUR ISPRA

Ufficio Scolastico Regionale per il Lazio - Direzione Generale Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

**1° CONCORSO FOTOGRAFICO
SCOPRI E FOTOGRAFA
IL PATRIMONIO GEOLOGICO
DEL LAZIO**



> La SIGEA Sezione Lazio, al fine di promuovere la conoscenza e la valorizzazione dei siti di interesse geologico (geositi) e i paesaggi geologici della Regione Lazio, bandisce la prima edizione del concorso fotografico rivolto agli studenti delle scuole medie superiori del Lazio.

> La partecipazione al concorso è **totalmente gratuita**. Possono partecipare tutti studenti delle scuole medie superiori del Lazio che sono interessati a condividere le emozioni ricevute attraverso la rappresentazione di uno degli aspetti dei "paesaggi geologici" della regione; riprese a volte estemporanee e inattese, spesso realizzate durante passeggiate o lavori di rilevamento, quando si prova un forte desiderio di non perdere quella forma, quel cromatismo, quel bel gioco bizzarro ed irripetibile di forme ed ombre che solo la natura riesce a creare.

> Saranno premiate 15 foto e agli autori delle tre foto più rappresentative dello spirito del concorso sarà offerto un buono acquisto di euro 100 (cento/00).

> Le foto dovranno essere inviate entro il **30 aprile 2017** seguendo le istruzioni disponibili su www.sigeaweb.it ed ogni partecipante potrà presentare un numero massimo di 5 foto.

Regolamento e modalità di partecipazione: www.sigeaweb.it
Segreteria organizzativa del concorso: Marina Fabbri, Maurizio Lanzini - lazio@sigeaweb.it

Con la collaborazione di **ZANICHELLI**

La SIGEA si occupa dello studio e della diffusione della geologia ambientale, materia che può essere definita come: “applicazione delle informazioni geologiche alla soluzione dei problemi ambientali”.

È un’associazione culturale senza fini di lucro, riconosciuta dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare come “associazione di protezione ambientale a carattere nazionale” con decreto 24 maggio 2007 (G.U. n. 127 del 4/6/2007).

Agisce per la promozione del ruolo delle Scienze della Terra nella protezione della salute e nella sicurezza dell’uomo, nella salvaguardia della qualità dell’ambiente naturale ed antropizzato e nell’utilizzazione più responsabile del territorio e delle sue risorse.

È aperta non solo ai geologi, bensì a tutte le persone e gli Enti (persone giuridiche) che hanno interesse alla migliore conoscenza e tutela dell’ambiente.

Cosa fa SIGEA

- **favorisce** il progresso, la valorizzazione e la diffusione della Geologia Ambientale, mediante gli “eventi” sotto riportati, diffondendoli attraverso la rivista trimestrale “Geologia dell’Ambiente”, il sito web e la newsletter;
 - **promuove** il coordinamento e la collaborazione interdisciplinare nelle attività conoscitive ed applicative rivolte alla conoscenza e tutela ambientale. Per questo scopo ha costituito le Aree Tematiche “Patrimonio Geologico”, “Dissesto Idrogeologico”, “Geoarcheologia”, “Educazione Ambientale”, “Caratterizzazione e bonifica di siti inquinati”;
 - **opera** sull’intero territorio nazionale nei settori dell’educazione e divulgazione, della formazione professionale, della ricerca applicata, della protezione civile e in altri settori correlati con le suddette finalità, attivandosi anche mediante le sue Sezioni regionali;
 - **organizza** corsi, convegni, escursioni di studio, interventi sui mezzi di comunicazione di massa;
 - **svolge attività di divulgazione scientifica** fra cui la conservazione del Patrimonio Geologico: ad esempio, in collaborazione con ProGEO (European association for conservation of geological heritage), ha organizzato il 2° Symposium internazionale sui geositi tenutosi a Roma nel maggio 1996 e il 7° Symposium sullo stesso argomento a Bari nel settembre 2012; inoltre è attiva per svolgere studi, censimenti e valorizzazione dei geositi;
 - **svolge attività di formazione**, organizza corsi e convegni di aggiornamento professionale o di divulgazione su tematiche ambientali, quali previsione, prevenzione e riduzione dei rischi geologici, gestione dei rifiuti, bonifica siti contaminati, studi d’impatto ambientale, tutela delle risorse geologiche e del patrimonio geologico, geologia urbana, pianificazione territoriale, pianificazione del paesaggio ecc.; inoltre rende disponibili per i soci pubblicazioni degli Atti dei convegni SIGEA;
 - **informa** attraverso il periodico trimestrale “Geologia dell’Ambiente”, che approfondisce e diffonde argomenti di carattere tecnico-scientifico su tematiche geoambientali di rilevanza nazionale e internazionale; la rivista è distribuita in abbonamento postale ai soci e a Enti pubblici e privati;
 - **interviene** sui mezzi di comunicazione di massa, attraverso propri comunicati stampa, sui problemi attuali che coinvolgono l’ambiente geologico;
 - **collabora** con gli Ordini professionali, con il mondo universitario e con altre Associazioni per lo sviluppo delle citate attività, in particolare nella educazione, informazione e formazione ambientale: con CATAP (Coordinamento delle associazioni tecnico-scientifiche per l’ambiente e il paesaggio) cui SIGEA aderisce, Associazione Idrotecnica Italiana, Federazione Italiana Dottori in Agraria e Forestali, Italia Nostra, Legambiente, WWF, ProGEO (International Association for Geological Heritage), Alta Scuola ecc.
-

Servizi offerti ai soci SIGEA

- ricevere la rivista trimestrale “Geologia dell’Ambiente” ed altre eventuali pubblicazioni dell’Associazione;
- ricevere, mediante posta elettronica, informazioni di prima mano sulle attività della SIGEA e di altre Associazioni collegate;
- ricevere, dietro richiesta, copia in formato pdf di numeri arretrati della rivista “Geologia dell’Ambiente” (nel sito web è presente un elenco degli articoli usciti sulla rivista);
- partecipare ai convegni, ai corsi e alle escursioni di studio organizzati dall’Associazione;
- disporre di condizioni vantaggiose per l’acquisto dei volumi della “Collana SIGEA di Geologia Ambientale” (sconto del 30% sul prezzo di copertina, più spese di spedizione di euro 5 forfettarie) dell’Editore Dario Flaccovio di Palermo: info@darioflaccovio.it, www.darioflaccovio.it.

È fondamentale che nell’ordine che il socio effettuerà dal sito internet dell’Editore, nella sezione NOTE, venga riportata la frase: “SOCIO SIGEA convenzione con Dario Flaccovio Editore sconto 30%; spese di spedizione 5 euro”.

Volumi finora pubblicati: 1. *Difesa del territorio e ingegneria naturalistica*; 2. *Ambiente urbano. Introduzione all’ecologia urbana*; 3. *Le cave. Recupero e pianificazione ambientale*; 4. *Geotermia. Nuove frontiere delle energie rinnovabili*; 5. *Geologia e geotecnica stradale. I materiali e la loro caratterizzazione*; 6. *Contratti di fiume. Pianificazione strategica e partecipata dei bacini idrografici*; 7. *Le unità di paesaggio. Analisi geomorfologica per la pianificazione territoriale e urbanistica*; 8. *Difesa delle coste e ingegneria naturalistica. Manuale di ripristino degli habitat lagunari, dunari, litoranei e marini*; 9. *Il paesaggio nella pianificazione territoriale. Ricerche, esperienze e linee guida per il controllo delle trasformazioni*; 10. *Il dissesto idrogeologico. Previsione, prevenzione e mitigazione del rischio*; 11. *Calamità naturali e coperture assicurative*.