"INGREDIENTI ESSENZIALI" DI UN SISTEMA EARLY WARNING PER L'INNESCO DI COLATE DI FANGO IN COLTRI DI NATURA PIROCLASTICA: RESISTENZA A TAGLIO IN CONDIZIONI DI PARZIALE SATURAZIONE E CURVE DI RITENZIONE IDRICA.

Capparelli G.*, Damiano E.**, Greco R.**, Netti N.***, Olivares L.**

* Università della Calabria
** Università degli studi di Napoli
*** Università di Napoli "Federico II"

SOMMARIO

Sistemi Early Warning possono essere introdotti a protezione dei centri abitati colpiti da colate di fango indotte da precipitazioni eccezionali in pendii ricoperti da depositi di natura piroclastica. Tali sistemi possono contenere modelli della risposta dei pendii semplificati basati su soglie d'innesco pluviometriche o contenere modelli più o meno complessi di comportamento dei pendii in grado di seguire i fenomeni fisici alla base tanto dell'innesco (processi di infiltrazione) quanto della loro evoluzione post-rottura (evoluzione in colata di fango). Nell'articolo vengono presentati i risultati sperimentali ottenuti per due siti campione presenti in Campania (Cervinara e Sarno). Sulla base di indagini in sito e di laboratorio, di prove di infiltrazione su modelli fisici di pendio in piccola scala e di dati provenienti dai sistemi di monitoraggio, vengono definite le relazioni tra suzione e resistenza al taglio, le curve di ritenzione idrica e le funzioni di permeabilità. Tali elementi costituiscono "ingredienti essenziali" per la definizione di modelli idrogeotecnici che tengano conto della reale natura dei terreni piroclastici e degli effetti che le condizioni di parziale saturazione hanno sulla risposta dei pendii all'infiltrazione delle acque meteoriche. Tali ingredienti consentirebbero l'adeguamento degli attuali sistemi Early Warning soglia-sensitivi in capacità previsionale con un evidente vantaggio interms di contenimento del rischio di frane e conseguenti allarmi, ciò a fronte di costi per lo più già sostenuti.

Parole chiave: fragilità dei pendii, depositi piroclastici, monitoraggio, terreni parzialmente saturi, aspetti socio economici

1 INTRODUZIONE

Gran parte dei rilievi montuosi Campani (Sud-Italia) sono ricoperti da depositi piroclastici da caduta in posizione primaria di elevata pericolosità e, generalmente, in condizioni di parziale saturazione. Particolarmente questi depositi vengono ad essere interessati da flussi superficiali indotte da precipitazioni meteoriche. In particolari condizioni, all'innesco di frane seguono evoluzioni post-rottura in colate di fango con conseguenze anche catastrofiche (Cascini e Ferlisi 2003; Olivares e Picarelli 2003; Cascini 2004, Picarelli et al 2006).

A protezione dei centri abitati colpiti da tali tipologie di flusso, possono essere introdotti sistemi Early Warning per la previsione dell'innesco. I sistemi attualmente impiegati in buona misura/aziamo su soglie pluviometriche (Cascini et. Al., 2013) (definite sulla base di analisi storiche di dati di monitoraggio). Quando, poi, i sistemi EW contengono modelli di comportamento dei pendii notevolmente semplificati, essi non sono in grado di seguire correttamente i fenomeni fisici alla base dell'innesco di colate di fango (Olivares et al. 2009).

Un miglioramento dell'affidabilità di tali sistemi dipende, dunque, dalla possibilità di implementare modelli completi in grado di simulare correttamente i fenomeni fisici alla base dell'innesco (processi di infiltrazione in condizioni di parziale saturazione, effetto delle condizioni di pressioni negative sulla resistenza al taglio; Damiano et al. 2012) e della loro evoluzione post-rottura (liquefazione e fluidificazione). Tali modelli vanno opportunamente calibrati su osservazioni sperimentali (sistemi di monitoraggio, indagini in sito e di laboratorio, prove su modelli fisici).

In tale ottica nell'articolo vengono analizzati, per due siti campione presenti in Campania, i risultati di indagini in sito e di laboratorio, di prove di infiltrazione su modelli fisici di pendio in piccola scala ed i dati provenienti dai sistemi di monitoraggio. Particolare attenzione è posta sulla definizione della relazione tra la suzione e la resistenza al taglio; vengono confrontate le curve di ritenzione idrica ottenute con diverse tecniche; vengono proposti modelli idro-geotecnici da implementare all'interno di sistemi EW. L'assieme di tali elementi costituiscono gli "ingredienti essenziali" per l'adeguamento degli attuali sistemi EW.

Valutazioni di tipo socio-economico mostrano come investimenti di tal tipo sono destinati ad applicare elevati rendimenti su di un orizzonte temporale illimitato; resi come illimitato è l'orizzonte in cui si applicherebbero gli investimenti ed sovvenghiti costi subiti dalla comunità in assenza di adeguati sistemi di EW o protezione del rischio di disastro idrogeologico. Nè la comunità scientifica, nè la politica possono permettersi di rimandali ulteriormente; è giunto la crescita economica locale.

2 I SISTEMI DI EARLY WARNING E LA LORO VALENZA SOCIO-ECONOMICA

E verificarsi di eventi catastrofici quali le colate di fango indotte da pioggia ma, anche, i fatti allarmi relativi a tali eventi, producono shock tecnologici e di produttività negativi (di varia intensità e frequenza) che si riflettono sul valore presente a prospettico degli investimenti localizzati nelle aree coinvolte. Si pensi, ad esempio, all'impatto di improvvise ed imprevisti interruzioni della attività sul valore dei progetti.

In tali condizioni di incertezza, la valutazione degli investimenti nelle aree a rischio condotta nell'ambito dell'approccio della opzioni reali e' la Dixit e Pindyck (1993), da un lato, suggerisce l'opportunità di post-porre indefinitamente l'attivazione di nuove attività economiche (ed "opzione di differimento"), dall'altro, evidenzia la valenza socio-economica di efficaci sistemi di Early Warning (EWS) atti a conferire possibili' prospettive "opzioni di abbandono" temporanee delle attività preesistenti.

Il seguito interpretivo offerto da un efficace sistema di warning sulla(stabilita', infatti, l'impatto negativo dei verificarsi di disastri naturali, accrescendo notevolmente il valore iniziale del progetto in virtù della possibilità di esercitare una tale opzione.

Inoltre, il sistema di monitoraggio del rischio assicurerà offerto da un efficace EWS, sarebbe in grado di segnalare effettivamente lungo "tempi di pace", in tal caso il valore iniziale dei progetti di investimento sarebbe accresciuto dalle incrementate "opzioni di espansione". Un management liberisiasi da errate avversione dell'effettiva esposizione delle attività al rischio di disastro naturale, potrebbe opportunamente decidere di disturi di maggiore capacità produttiva.

Al contrario, un efficace EWS potrebbe correggere errate sottostime del valore a rischio, accrescendo il valore dei progetti di investimento di "opzioni di contrazione", un management correttamente informato è in grado, infatti, di ridurre tempestivamente la scala delle operazioni previste nei progetti (per un'adeguata valutazione delle opzioni reali incorporate nei progetti di investimento (Bodi, 2012).

Dunque, è facile capire come, in assenza di efficaci sistemi di warning temporative la crescita economica delle aree a rischio sarebbe compromessa. Risenti ancoltero gli investimenti così commessi al mancheterno di gravi disastri naturali (ed poverty trapp). Inoltre, la decisione del management sarebbero esposte da possibili sottostime o sovrastime dell'effettivo valore a rischio. Al contrario, la predisposizione di efficaci EWS accrescerebbe il valore presente e prospettivo delle attività a rischio presente nei periodi di quiete; si pensi, ad esempio alla costruzione dei presti antisismici ed in generale alla possibilità di effettuare momenti di scelta.

Con riferimento, poi, all'utilizzazione di efficaci EWS e/ di due siti, a livello dei soggetti benefici per le aree esposte al rischio, i costi maggiormente di implementazione a carico della collettività pubblica; meno in quanto particolarmente gli investimenti, si pensi ad esempio ai costi relativi al monitoraggio meteorologico.

Il punto è tuttavia che, allo stato attuale, gli EWS esistenti non paiono efficaci in virtù di problematiche ideologiche e gnoseologiche insolvibili. Assistiamo, così non pendente in considerazione la vera natura dei terreni che appare, piuttosto, confinata in una 'black-box'. Inoltre, le soglie di innesco (triggering thresholds) sono definite sulla base di analisi storiche delle soglie pioggia – e di analisi statisticamente semplificate dei processi di infiltrazione e della condizioni di stabilità dei pendii (analisi condotte esclusivamente in condizioni di saturazione). Per di più, in tali circostanze, il rischio che sistemi di warning inefficienti producano essi stessi shock tecnologici e di produttività negativi geometrie falsi allarmi è elevatissimo.

Lo studio della risposta dei terreni non saturi, ad esempio, consentirebbe una migliore caratterizzazione dei meccanismi di innesco di colate di fango indotte da eventi meteorici estremi. I risultanti sarebbero offerti di fronte ad un ambiente meno incerto[1] rispetto al quale poter formulare e contestualmente aggiornare le loro aspettative (prima, beliefs) a confermare opportune calibrazioni.

Nell'ambito della modellistica e' la Dixit e Pyndyck la valutazione degli investimenti è condotta tenendo in considerazione l'incertezza dinamica modellando costi e benefici dei progetti con processi stocastici.

In tale analisi, la valutazione di progetti esposti, seppur rarissimi, ad eventi meteorici estremi può essere condotta utilizzando processi stocastici del tipo jump-diffusion e di Poisson con i quali tener conto dei possibili salti (jump) indotti nel rapporto costi/benefici per effetto di shock negativi connessi all'effettivo innesco di frane e di eventuale warning dello stesso.

L'affidabilità di un EWS dipende ovviamente dall'adeguatezza di realistici modelli idro-geotecnici (ed esempio quelli per i terreni non saturi) che consentano al ricercatori di individuare opportune soglie d'innesco. L'obiettivo è quello di minimizzare il rischio di falsi e mancati allarmi. Contestualo, così, la frequenza e la dimensione dei salti subiti dal valore dell'investimento esposto al rischio di disastro naturale or un rilascio i

[1] In termini probabilistici, un ambiente meno incerto è caratterizzato da una specie di probabilità completa rispetto il fenomeno completo e/ probabilità / processi stocastici (quali ad esempio l'evoluzione della colata di fango) che governano il fenomeno stesso. Tale probabilità completa è caratterizzata da distribuzioni di frequenza) al fine di consentire ogni le definizione di specie di probabilità. Ottenzione, processi stocastici e incertezze si vede Cervinara, Aniello recentino 2013

3 I TERRENI PROCLASTICI UTILIZZATI NELLA SPERIMENTAZIONE

L'analisi delle caratteristiche meccaniche di alcuni depositi piroclastici da caduta oggetto di frane con evoluzione in colate di fango è stata condotta con un programma sperimentale svolto presso il laboratorio di geotecnica della Seconda Università di Napoli. I depositi oggetto della sperimentazione sono localizzati in aree distanti dei vulcani di origine (circa 30km di distanza) e sono essenzialmente terreni di riporto costituiti da alternanze di livelli pomicei (ambito ghiaioso) e cineritici (sabbie limose) poggianti su formazioni lapidee calcaree immediatamente fratturate. Nella sequenza stratigrafica i livelli cineritici sono considerati responsabili dell'evoluzione in colata (Olivares e Damiano 2007) e su di essi è stata concentrata l'attenzione.

Tabella 1. Progetti fisiche dei terreni costituenti: d_{max} diametro massimo delle particelle, c' peso unità di volume, w contenuto d'acqua, s_r grado di saturazione.

Sito	d_{max} [mm]	γ_s [kN/m³]	w [%]	s_r [%]
Cervinara	10	2.6	10	40 - 80
Sarno	25	2.6	12	45 - 60

e tal fi, cimenti dei campioni prelevati al termine di una stagione piovosa.

Nella Tabella 1 sono riportati i valori medi delle caratteristiche fisiche dei terreni cineritici tipici della sperimentazione. In particolare vengono analizzati i livelli cineritici presenti ai margini di due aree coinvolte da colate di fango (Sarno, 1998; Cervinara, 1999). Entrambi i terreni sono caratterizzati da porosità incredibilmente elevata (circa il 70%) e da valori del peso specifico relativamente bassi (Gs=2.6). Questi elementi conservano nella definizione di una struttura metastabile generalmente considerata responsabile del fenomeno di collasso volumetrico e di liquefazione conseguenti all'applicazione di percorsi di wetting ed all'applicazione di sollecitazioni di taglio monotone e cicliche. Nella figura 1 i fusi granulometrici dei due terreni cineritici vengono confrontati con i fusi indicati da Hunter e Fell (2003) e da Tsuncida (1970) per depositi assimilabili alla liquefazione notto sollecitazioni sia monotone che cicliche o dinamiche.

3.1 Programma sperimentale

La sperimentazione di laboratorio è stata condotta utilizzando campioni naturali indisturbati. Il prelievo è stato effettuato utilizzando custe campionatori fissnde a pareti sottili dello stesso diametro dei provini utilizzati all'interno delle apparecchiature. In tale maniera è stata possibile minimizzare il disturbo arrecabile, nel caso di terreni incoerenti e parzialmente saturi, con successive operazioni di campionamento, sfustellamento a rifustellamento (per la riduzione di diametro). Nel caso delle prove triassiali saturo i provini sono stati saturati all'interno delle apparecchiature triassiali applicando percorsi di imbibizione con tensioni nette, mantenu a tensioni efficaci sempre minori di quelle agenti in sito. Tale elemento è essenziale qualora si vogliano utilizzare i risultati delle prove triassiali per condurre una verifica del potenziale di liquefazione dei depositi naturali.

Figure 1 – Curve di distribuzione granulometrica delle zone coinvolte di Sarno e Cervinara confrontate con quelle di altri materiali liquefacibili (modificato da Hunter & Fell, 2003)

Per i due siti campione di Cervinara e di Sarno il programma sperimentale ha previsto, oltre alle classiche prove di identificazione e di determinazione delle proprietà indici e di stato, l'esecuzione di prove di compressione triassiale su terreni saturati in laboratorio e di prove di compressione triassiale in cella a suzione controllata su terreni parzialmente saturi. Dalle prove a suzione controllata è stato possibile definire le caratteristiche di resistenza a taglio in condizioni di parziale saturazione, le funzioni di permeabilità e le curve di ritenzione idrica.

Nel solo caso di Cervinara le curve di ritenzione idrica sono state definite a parte utilizzando prove convenzionali di infiltrazione e di essiccamento su provini di piccolo diametro (50cm²). L'assieme dei dati raccolti è stato poi confrontato con i dati desunti da prove di infiltrazione condotte su un modello fisico su cassetta ricostituito di grosse dimensioni di cineriti e con i dati di un monitoraggio in sito della suzione e del contenuto d'acqua.

4 RESISTENZA A TAGLIO IN CONDIZIONI DI SATURAZIONE

La resistenza a taglio in condizioni di saturazione è stata ottenuta in prove triassiali consolidate isotropicamente drenate (CID) e non drenate (CIU) su campioni naturali di Sarno e di Cervinara.

Sia i cineriti delle piroclastiti di Cervinara che quelle di Sarno mostrano discrete caratteristiche di resistenza al taglio. In prove drenate triassiali i materiali (prove CID in Figura 2 (a e b) sono caratterizzati da un angolo di attrito ottenuti (37-38°) e da un'intercetta di coesione nulla. Valori così elevati dell'angolo di attrito trovano una giustificazione nella forma sub-angolare a spigoli vivi tipica dei depositi da caduta e nella scarsa influenza della componente fine a causa dell'assenza di plasticità (Picarelli et al 2006).

Nello stesso piano delle tensioni di Figura 2 viene riportata anche la risposta non drenata dei due terreni confermando i percorsi di sollecitazione non drenati (prove CIU) con il corrispondente inviluppo di resistenza drenato. Si può osservare una risposta del tutto omogenea a conferma della uniformità delle proprietà indici e di stato dei differenti materiali analizzati. All'avvicinarsi alle condizioni di rottura (inviluppo drenato) si riscontra un'instabilità non drenata con una progressiva riduzione della sollecitazione deviatorica e percorsi che, nella parte finale, si muovono lungo la linea di Stato Stazionario (o CSL) verso l'origine degli assi (liquefazione statica). Tale instabilità non drenata è riscontrata anche per stati tensionali confrontabili con quelli agenti in sito confermando un elevato indice di suscettibilità alla liquefazione dei due depositi.

Con questa prima parte del programma sperimentale sono stati individuati i primi "ingredienti" ritenuti "essenziali":

- le proprietà indici e di stato di questi due materiali (elevata porosità e basso peso specifico) sono tipiche di terreni suscettibili alla liquefazione;
- i fusi granulometrici di questi due terreni ricadono esattamente al centro dei fusi granulometrici per terreni potenzialmente liquefacibili;
- la risposta non drenata dimostra da prove su campioni indisturbati conferma l'elevata suscettibilità alla liquefazione.

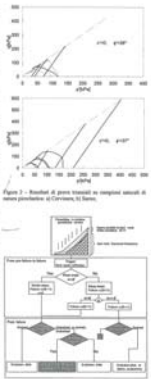

Figure 2 – Risultati di prove triassiali su campioni saturati di suzione piroclastiche: a) Cervinara; b) Sarno;

Figure 3 Framework per l'analisi di frane indotte da pioggia in terreni inizialmente non saturi (pendio indefinito)

Nel Framework proposto da Olivares e Damiano (2007) (Figura 3) tali materiali, in condizioni di suzione,

hanno un'alta probabilità di evolvere in una colata di fango se le seguenti condizioni si innescano:

1. raggiungimento delle condizioni di saturazione in corrispondenza della condizione di colmata;
2. buona capacità di drenaggio accompagnata assenza in relazione alla elevata velocità di deformazione di taglio indotta dai movimenti del pendio ed alla conseguente capacità di sviluppare sovrapressioni interstiziali.

Pertanto risulta fondamentale analizzare correttamente i processi di infiltrazione che condizionano alle condizioni di colmata e la conoscenza di relazioni costitutive che contemplino gli effetti della parziale saturazione sulla resistenza al taglio e sulla conducibilità idraulica. Particolare attenzione deve essere data alla definizione della curve di ritenzione idrica ed alle funzioni di permeabilità.

5 RESISTENZA A TAGLIO IN CONDIZIONI DI PARZIALE SATURAZIONE

Per i due siti la resistenza a taglio in condizioni di parziale saturazione è stata definita in prove triassiali a suzione controllata (SCTX) su campioni naturali di Sarno di diametro di 38mm di ripendenti stati tensionali caratterizzati da differenti valori di suzione. Nella figura 4 sono riportati i risultati per differenti valori di suzione: 0 80 kPa 160 caso di Cervinara alcune prove sono state spinte a stati tensionali raggiunti considerando tensioni sotto anche di 200 kPa.

I risultati ottenuti per differenti valori di suzione nel piano della tensioni (Figura 4). Per confronto sono riportati i dati ricavati da prove triassiali in condizioni di parziale saturazione tutti i punti rappresentativi di condizioni di rottura sono localizzati nel piano della tensioni lungo gli stessi dell'inviluppo di resistenza saturo, confermando il ruolo non trascurabile della suzione nella resistenza al taglio nelle coltri vulcaniche. Nella figura 4 per i due terreni è riportata l'intensità di coesione in funzione della suzione. ("coesione apparente"). Tale diagramma è stato ottenuto ipotizzando un inviluppo di resistenza parzialmente saturo parallelo a quello saturo e passante per le condizioni di rottura. Si osservato i casi in relazione tra intensità di coesione e suzione è numerica crescente e fortemente non lineare. Nel caso di Cervinara si ottengono valori di picco maggiore di 10kPa a partire da suzioni di 70 kPa e valori di 2-4 kPa già per suzione di 6-8kPa. Nel caso di Sarno, come per la resistenza saturo, si registrano valori leggermente minori. In ogni caso per suzioni di 50 kPa l'intensità di coesione diventa alla parziale saturazione assume già valori di 7 kPa. Con tali valori della "coesione apparente" si ottengono resistenze di taglio in grado di giustificare la stabilità di depositi superficiali quali quelli in questione anche per suzioni prossime alla zero. Relazione non lineari di tipo possono facilmente essere implementate all'interno di modelli (Impagliazzo in grado di descrivere l'evoluzione della condizioni di stabilità nel corso di un processo di infiltrazione.

Figure 4 Resistenza al taglio in condizioni di parziale saturazione; a) prove della tensioni; b)intensità di coesione in funzione della suzione

6 CURVE DI RITENZIONE IDRICA E FUNZIONI DI CONDUCIBILITÀ IDRAULICA

In Figura 5 è riportata per la due curve di Cervinara e Sarno la relazione tra suzione e grado di saturazione in prove triassiali a suzione controllata. Nel diagramma vengono considerati, per ciascun provino, i valori di fine equilibrazione per effetto di successivi ingressi della suzione. Nonostante una discreta dispersione, in parte collegabile all'omogeneità derivante dall'utilizzo di campioni differenti, i due materiali mostrano risultati confrontabili. I punti sperimentali con descrizione quantitativa della relazione funzionale sulo per suzioni maggiori di 5-10 Kpa.

Piantanza ad analizzare l'ultimo "ingrediente", la funzione di conducibilità idraulica delle coltri di Cervinara e Sarno (Figura 6). La conducibilità idraulica è stata determinata nelle stesse prove triassiali a suzione controllata interpretando il transitorio indotto per ciascun incremento di suzione con l'espressione proposta da Esrom et al. (1988). Nello stesso grafico per confronto sono riportati i valori ottenuti utilizzando la relazione funzionale proposta da Brooks nel Corey (1964) in funzione dei dati di ritenzione ottenuti in precedenza e dei valori di permeabilità a saturo (Tabella 1). Partendo dalla condizioni di saturazione (conducibilità pari a circa 10^{-6}m/s), si osserva una drastica riduzione fino a valori di 10^{-9}m/s per suzioni di 30-40kPa. Anche in questo caso i risultati per Cervinara e Sarno sono del tutto confrontabili.

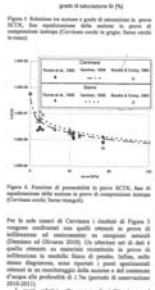

Figure 5 Funzione di permeabilità in prove SCTX; fasi di equilibrazione della suzione in prove di compressione isotropa (Cervinara cerchi; Sarno triangoli)

Per le sole coltri di Cervinara i risultati di Figura 5 vengono confrontati con quelli ottenuti in prove di infiltrazione ed essiccamento su campioni naturali (Damiano ed Olivares 2010). Un ulteriore set di dati è quello ottenuto su materiale ricostituito in prove di infiltrazione in modello fisico di pendio. Infine, nello stesso diagramma, sono riportati i punti sperimentali ottenuti in un monitoraggio della suzione e del contenuto d'acqua alla profondità di 1.7m (periodo di osservazione 2010-2011).

I punti relativi alle prove di infiltrazione ed essiccamento si basano su misure del contenuto d'acqua tramite pesata del provino e misure di suzione tramite sistematicamente tipo "small tip". I provini (dv=dz=dr=10cm) vengono sottoposti prima ad incrementi pre-determinati del contenuto d'acqua e successivamente ad evaporazione libera.

Le prove in modello fisico di pendio sono state realizzate su depositi artificiali di 11 cm di spessore ricostituiti a porosità variabili tra il 69% ed il 76% e sottoposti a pioggia artificiale di intensità compresa tra 40 mm/h ed 80 mm/h. I punti riportati in diagramma sono stati ottenuti accoppiando la misura di contenuto d'acqua (tramite sonde TDR) con la corrispondenti misure della suzione (con strumentazioni tipo "small tip").

I dati così ottenuti vengono aggruppati in due set separati descritti mentre l'espressione di van Genuchten (1980).

- 1° set di dati da prove triassiali (SCTX) e prove di infiltrazione ed evaporazione;
- 2° set di dati provenienti da modello fisico di pendio e risultati del monitoraggio.

Figure 6 – Funzione di conducibilità idraulica delle coltri di Cervinara e Sarno

Entrambe le curve derivate dall'espressione di van Genuchten descrivono la risposta di un terreno granulare caratterizzato da un buon valore della pressione di ingresso d'aria ed una grossa pendenza nella zona di transizione. Anche l'influenza della funzione fine non gioca è evidente determinando un contenuto d'acqua diverso da zero anche per alti valori della suzione.

La prove su modello fisico di pendio consentono di disporre di una base a parte della curva di ritenzione piuttosto ampia (vedi Figura 7) e non investigabile con le prove convenzionali. Inoltre i risultati del monitoraggio (Comegna et al. 2011) si riconoscono perfettamente con tali dati. Differenziamente le prove triassiali e quelle di infiltrazione ed essiccamento mostrano una maggiore dispersione e, per contenuti d'acqua maggiori di 0.38, assumi sempre maggiori (van Genuchten 2).

Queste differenze sono probabilmente legate alle differenti velocità dei due processi di imbibizione. Tuttavia come dalla sperimentazione delle particelle piroclastiche, si può investigarare su processo di imbibizione, tal caso delle prove triassiali e della prove di infiltrazione a contenuto d'acqua imposto, i

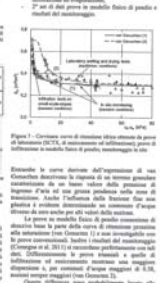

Figure 7 – Cervinara: curve di ritenzione idrica ottenute da prove di laboratorio (SCTX, di essiccamento ed infiltrazione); prove di infiltrazione in modello fisico di pendio; monitoraggio in sito

cosi' ed accresce il valore netto presente e prospettico (altri alla contrazione dei premi assicurativi e prima ad esempio ai benefici connessi alla maggiore trasparenza di tempo di messa in sicurezza).

Garantire l'affidabilità degli EWS di cui si discute, come si è detto, non comporta il sostenimento di alti costi per la collettività, bensì evitandilo alla stessa di subire gli assetti irreversibili tutti connessi all'intervenire non previsto degli eventi catastrofici che può compromettere definitivamente lo sviluppo economico delle aree esposte. I pacoffi attesi dalla realizzazione di affidabili EWS appaiono, quindi, estremamente alti, e che suggeriscono quanto sia inopportuno per la società rinunciare ad tale investimento.

7 CONCLUSIONI

E verificarsi di eventi catastrofici quali le colate di fango indotte da pioggia ma, anche, i falsi allarmi relativi a tali eventi, producono shock tecnologici e di produttività negativi (di varia intensità e frequenza) che si riflettono sul valore presente a prospettico degli investimenti localizzati nelle aree coinvolte. L'assieme, seguendo nel presente lavoro, di "ingredienti essenziali" per la definizione di modelli idro-geotecnici che tengano conto della reale natura dei terreni piroclastici e degli effetti che le condizioni di parziale saturazione hanno sulla risposta dei pendi all'infiltrazione delle acque meteoriche, consentirà l'adeguamento degli attuali sistemi Early Warning soglia-sensitivi in capacità previsionale con un evidente vantaggio interms di contenimento del rischio di frane e conseguenti allarmi, ciò a fronte di costi per lo più già sostenuti.

BIBLIOGRAFIA

Brooks RH, Corey AT. 1964. *Hydraulic properties of porous media*. Hydrology Paper N.3, Colorado State Univ, Fort Collins, Colorado

Cascini, L., 2004. *The flowslides of May 1998 in the Campania region, Italy: the scientific emergency management*. Italian Geotechnical Journal, 3, 11-44

Cascini, L., Ferlisi, S. 2003. *Occurrence and consequences of flowslides at a case study*. Proc. of Int. Conf. On Fast Slope Movements, Naples. May 13-15, 2003.

Comegna L, Guida A, Damiano E, Olivares L, Greco R, Picarelli L. 2011. *Monitoraggio di un pendio naturale in depositi piroclastici sciolti*. Proc.14th Convegno Nazionale di Geotecnica, Naples, Italy, Patron, Bologna 3:681-686

Damiano E, Olivares L 2010. *The role of infiltration processes in steep slope stability of pyroclastic granular soils: laboratory and numerical investigation*. Natural Hazards, 52 (2), pp.329-350

Damiano E, Meccariello F, Netti N, Olivares L 2012. *A "simulation chain" to define a multidisciplinary Decision Support System for landslide risk management in pyroclastic soils*. Natural Hazards and Earth Science System, 12 (4), pp. 989-1004

Dixit A. K., Pindyck R. S., 1994. *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press

Greco R, Giorgio M, Capparelli G, Versace P 2013. *Early warning of rainfall-induced landslides based on empirical mobility function prediction*. ENGINEERING GEOLOGY 153: 68-79

Hall J.C., 2011 *Options, Futures, and Other Derivatives and DerivaGem CD Package*. Prentice HALL, 8th edition

Hunter, G., Fell., R. 2003. *Mechanics of failure of soil slopes leading to "rapid" failure*. Proc. Int. Conf. on Fast Slope Movements. Prediction and Prevention for Risk Mitigation, Napoli 2003, pp. 283-290

Kunze R. J., Uehara G., Graham K. (1968). *Factors important in the calculation of hydraulic conductivity*. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 32: 760-765.

Olivares L., Damiano E. 2007. Postfailure mechanics of landslides: laboratory investigation of flowslides in pyroclastic soils. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133 (1):51-62

Olivares L., Damiano E., Greco R., Zeni L., Picarelli L., Minardo A., Guida A., Bernini R. 2009. *An instrumented Flume to Investigate the Mechanics of Rainfall-Induced Landslides in Unsaturated Granular Soils*. GEOTECHNICAL TESTING JOURNAL 32: 1-11

Olivares L., Picarelli L. 2003. *Shallow flowslides triggered by intense rainfalls on natural slopes covered by loose unsaturated pyroclastic soils*. Géotechnique, 53(2): 283-288

Picarelli L., Evangelista A., Rolandi G., Paone A., Nicotera M.V., Olivares L., Scotto di Santolo A., Lampitiello ,S.,.. Rolandi M. 2006. *Mechanical properties of pyroclastic soils in Campania Region*. 2Proc. 2nd Int. Work.on Characterization and Engineering Properties of Natural Soils, Singapore, 1: 2331-2383

Tsuchida, H. 1970. *Prediction and Countermeasure against Liquefaction in Sand Deposits*. Abstract of the Seminar of the Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport, Yokosuka, Japan, pp. 3.1-3.33

van Genuchten, M Th. 1980. *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil* Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 615-628

Yamaguchi, T. 1983. *Shear Behaviour of Saturated Soil and Soil-Water-Mixture Model with Its Application to Various Problems*. Proc. 8th Asian Regional Conf. on SMFE, Kyoto, Japan, 1: 257-264.

ABSTRACT

INGREDIENTS FOR FLOWSLIDE EARLY WARNING SYSTEM: SHEAR STRENGTH AND SOIL WATER RETENTION CURVE OF LOOSE UNSATURATED PYROCLASTIC DEPOSITS.

Keywords: slope stability, pyroclastic soil, monitoring, unsaturated soil, socio-economic framework

Most of the mountains of Campania are covered by shallow pyroclastic deposits in primary deposition generally in unsaturated conditions. These deposits are periodically subjected to rainfall induced landslides that may evolve into catastrophic flowslides (Cascini e Ferlisi 2003; Olivares e Picarelli 2003; Cascini 2004, Picarelli et al 2006).

To protect towns EWS can be implemented in order to correctly and promptly predict the trigger.

In the paper we detect some 'essential ingredients' for effective EWSs which are new with respect to those already employed and essentially based on pluviometric thresholds (Greco et. Al., 2013) and extremely simplified models not able to correctly follow the physical phenomena which are responsible of flowslides generation (Olivares et al. 2009).

Complex models, able to correctly simulate those physical phenomena such as infiltration processes and the effects of partial saturated conditions on shear strength contain the 'essential ingredients' that we discuss in the paper. A particular attention is devoted to define the relation between suction and shear strength and the water retention curve obtained from different techniques to assess a reliable hydro-geotechnical model to analyze the slope response of loose unsaturated pyroclastic deposits.

An EWS that contains these elements can provide many advantages. In fact, catastrophic flowslides but even false alarms about such events, produce negative technological and productive shocks that strongly reduce the actual and prospective value added of investment in the areas at risk triggering the opportunity of their shrinking and postponement. Of course this severely compromises the economic development of those areas.

In the paper we propose to examine this subject in the Dixit e Pindyck framework of the Real Option Valuation Approach in order to explain the socio-economic value of effective EWS. In fact, such EWSs will embed valuable new real options in the investments opportunities in the areas at risk increasing their actual and prospective values.

The huge long-lasting payoffs, on one hand, and the irreversibility and unsustainability of the extremely high costs of the catastrophic events, on the other hand, strongly suggest the advisability to invest in the implementation of efficient EWSs. This is even more evident if it is taken into account that the stock of the costs for such an implementation have already been borne by society. According to us, neither the scientific community, nor politics can afford to further postpone such an investment. Local economic growth is at stake.