

SISTEMI INTEGRATI PER IL MONITORAGGIO, L'EARLY WARNING
E LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO
LUNGO LE GRANDI VIE DI COMUNICAZIONE

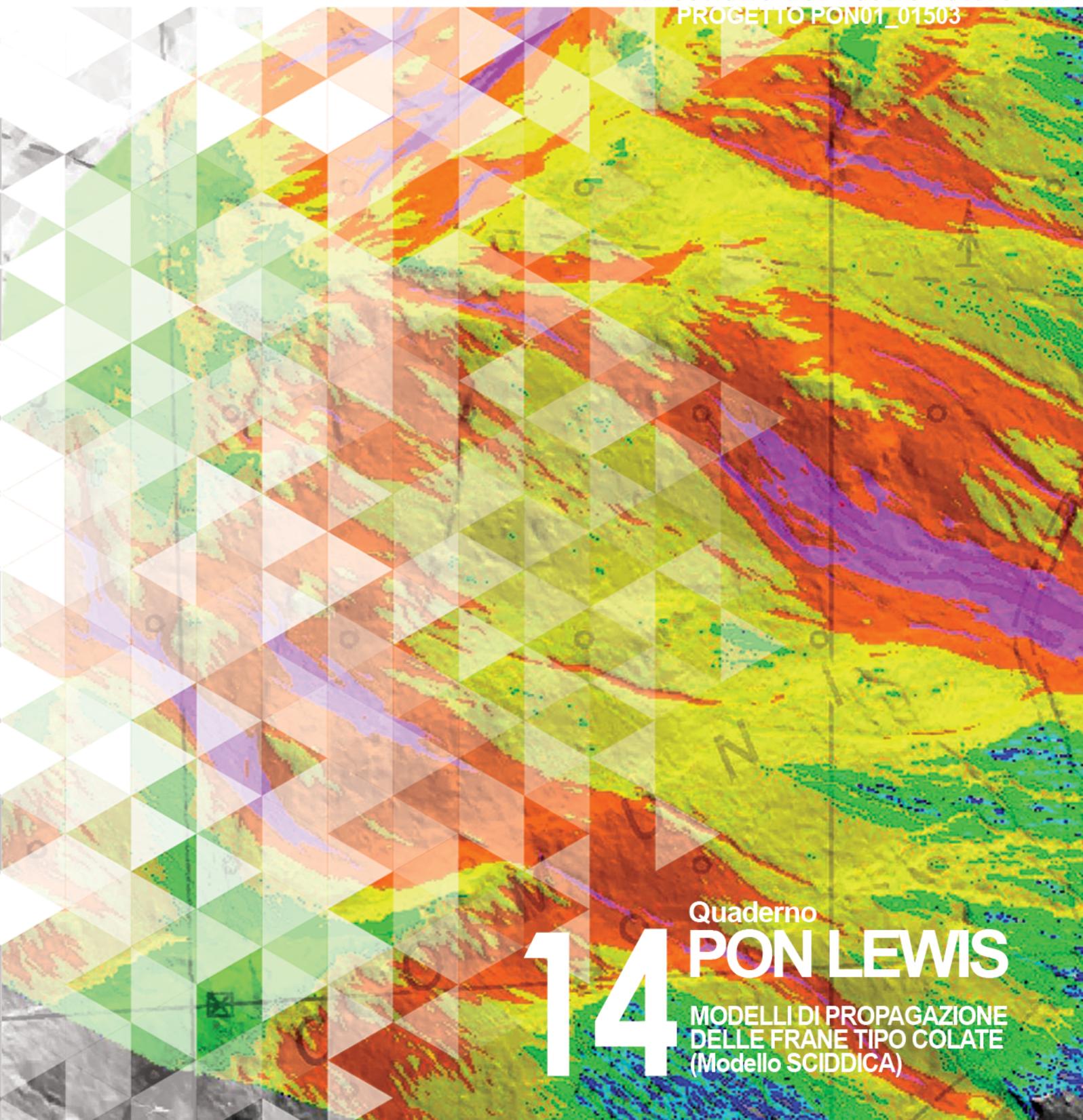


UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale



investiamo nel vostro futuro

PROGETTO PON01_01503



Quaderno
14 PON LEWIS
MODELLI DI PROPAGAZIONE
DELLE FRANE TIPO COLATE
(Modello SCIDDICA)



autostrade//Tech



A cura di Salvatore Di Gregorio | **DELIVERABLE WP 4.3**
Modelli di propagazione delle frane tipo colate
(Modello SCIDDICA)

Sistemi integrati per il monitoraggio, l'early warning e la mitigazione del rischio idrogeologico lungo le grandi vie di comunicazione"

Premessa

Frane e inondazioni sono un problema di grande rilevanza nel nostro Paese. Negli ultimi anni le vittime e i danni dei disastri idrogeologici hanno raggiunto livelli inaccettabili e impongono un grande e immediato impegno della comunità nazionale per cercare di mitigare il livello di rischio, utilizzando strategie articolate ed efficaci capaci di integrare, in una visione organica, interventi strutturali e non strutturali.

Su questi temi l'Università della Calabria è impegnata da anni in attività di studio e di ricerca di rilevanza nazionale e internazionale e nella diffusione e promozione della cultura della previsione e prevenzione del rischio idrogeologico. Nel 2011 insieme ad altri partner, ha promosso un progetto di ricerca triennale, "Sistemi integrati per il monitoraggio, l'early warning e la mitigazione del rischio idrogeologico lungo le grandi vie di comunicazione", finalizzato allo sviluppo di un sistema complesso e articolato di preannuncio delle frane da impiegare per le fasi di previsione/prevenzione del rischio idrogeologico.

Il Progetto, indicato con l'acronimo LEWIS (Landslide Early Warning Integrated System), è stato svolto, nel periodo 2012-2014, nel quadro del Programma Operativo Nazionale 2007-13 "Ricerca e Competitività".

I risultati conseguiti sono descritti in questa collana di Quaderni PON LEWIS.

Il progetto è stato sviluppato dall'Università della Calabria e Autostrade Tech S.p.A. insieme ai partner industriali Strago e TDGroup, alle Università di Catania, di Reggio Calabria e di Firenze e al CINID (Consorzio Interuniversitario per l'Idrologia). Per l'Ateneo calabrese hanno partecipato diversi laboratori e gruppi di ricerca: CAMILab (con funzione di coordinamento), μ Wave, Geomatica, Nems, Geotecnica, Dipartimento di matematica.

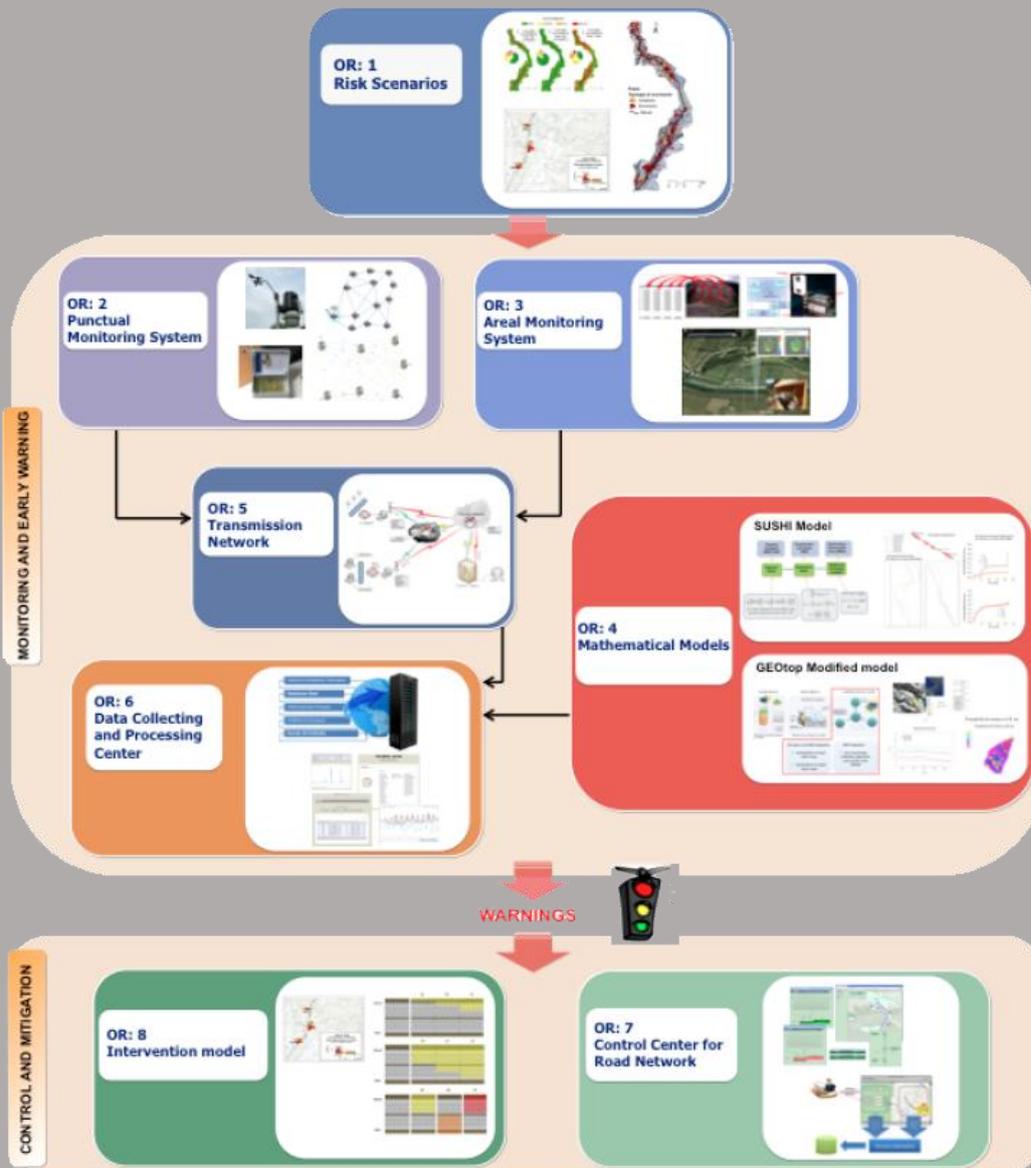


Figura 1 - Articolazione del sistema integrato di monitoraggio dei versanti e di preannuncio dei movimenti franosi

Il progetto è finalizzato allo sviluppo di un sistema di monitoraggio dei versanti e di preannuncio dei movimenti franosi che possono interessare le grandi vie di comunicazione e all'identificazione dei conseguenti interventi non strutturali di mitigazione.

Il sistema è articolato in due sottosistemi (fig. 1):

- ✓ Monitoraggio e preannuncio,
- ✓ Controllo e mitigazione,

che richiedono la preventiva individuazione degli scenari di rischio ossia dei danni che l'eventuale attivazione di una frana può produrre sugli elementi a rischio presenti (infrastruttura viaria, autoveicoli, persone). La procedura originale sviluppata nell'ambito del progetto prevede l'identificazione, lungo il tratto autostradale di interesse, delle aree soggette a movimenti franosi e la conseguente definizione dei relativi scenari di evento e di rischio.

Il sottosistema *Monitoraggio e preannuncio* è formato da diverse componenti: rete di monitoraggio "puntuale" che comprende sensori che misurano localmente l'inizio degli spostamenti superficiali o profondi; rete di monitoraggio "areale" che include sensori che controllano a distanza il fenomeno franoso con tecniche radar; modelli matematici di simulazione dell'innesco e della propagazione dei movimenti franosi. Nel progetto LEWIS sono state sviluppate numerose componenti innovative e sono state modificate e migliorate altre componenti già esistenti. In particolare tra i sensori puntuali sono stati sviluppati i sistemi SMAMID e POIS; tra quelli areali sono stati realizzati un radar in banda L, uno scatterometro, un interferometro; tra i modelli si sono sviluppati e/o migliorati: GEOtop, SUSHI, SCIDDICA.

La raccolta dei dati misurati dai sensori è affidata ad un unico sistema di trasmissione dati che trasmette anche le informazioni necessarie per il funzionamento dei modelli. Il sottosistema è completato da un Centro di acquisizione ed elaborazione dei dati (CAED) che, sulla base dei dati misurati dai sensori e delle indicazioni dei modelli, valuta la situazione di pericolo lungo il tronco autostradale emettendo i relativi livelli di criticità.

I livelli di criticità emessi dal CAED sono l'elemento di collegamento tra il sottosistema *Monitoraggio e preannuncio* e il sottosistema *Controllo e mitigazione*. Gli avvisi di criticità sono acquisiti dal Centro di comando e controllo del traffico (CCCT) che, sulla base di un modello di intervento predefinito, attiva le procedure standardizzate per la mitigazione del rischio, che vanno dalla

sorveglianza diretta del tratto di interesse da parte di squadre tecniche all'interruzione del traffico su entrambe le direzioni di marcia.

Il progetto prevede anche lo sviluppo di attività sperimentali su tre tronchi autostradali lungo la A3, la A16 e la A18, nonché l'erogazione di un Master di secondo livello denominato ESPRI (ESperto in Previsione/Prevenzione Rischio Idrogeologico).

Il progetto di ricerca è stato organizzato in Obiettivi Realizzativi (OR), ciascuno dei quali suddiviso in Work Package (WP), a loro volta articolati in Attività Elementari (AE). In totale erano previste 11 OR, 47 WP e 243 AE. In particolare le OR 1-8 riguardano la ricerca e si articolano in 26 WP e 139 AE. Le OR 9-11 sono dedicate a sperimentazione, governance e trasferimento tecnologico, integrazione e aggiornamento dell'attività di ricerca nella fase di Sviluppo Sperimentale e si articolano complessivamente in 21 WP e 104 AE.

I Quaderni che compongono questa collana sono stati costruiti con riferimento ai singoli WP, per la parte che riguarda la ricerca, e quindi ogni Quaderno contiene la descrizione dei risultati conseguiti nel WP, articolata in base alle AE previste.

Sono, inoltre, previsti altri tre Quaderni:

Quaderno 0 che contiene una descrizione di sintesi, in inglese, dei risultati conseguiti nell'ambito del progetto.

Quaderno 28 che contiene l'informazione relativa alle attività di divulgazione dei risultati scientifici.

Quaderno 29 che contiene la descrizione dei risultati conseguiti con l'attività formativa.

Il Quadro editoriale complessivo è riportato in tabella 1:

QUADERNO	OR	WP	TITOLO
0	-	-	Research outcomes
01 Parte prima	1	1.1	Linee guida per l'identificazione di scenari di rischio
01 Parte seconda	1	1.1	Linee guida per l'identificazione di scenari di rischio
02	2	2.1	Monitoraggio idrogeologico
03 Parte prima	2	2.2	Monitoraggio con unità accelerometriche (Sistema SMAMID)
03 Parte seconda	2	2.2	Monitoraggio con unità accelerometriche (Sistema SMAMID)
04	2	2.3	Circuiti integrati a bassa potenza per sistemi di monitoraggio con unità accelerometriche
05	2	2.4	Monitoraggio con sensori puntuali di posizione e inclinazione (Sistema POIS)
06	3	3.1	Sviluppo di uno scatterometro a risoluzione variabile
07	3	3.2	Elettronica di bordo dello scatterometro ed inclinazione
08	3	3.3	Sviluppo di un radar in banda L
09	3	3.4	Tecniche di analisi e sintesi di segnali radar per la simulazione accurata di scenari complessi
10	3	3.5	Elettronica di bordo del radar in banda L

QUADERNO	OR	WP	TITOLO
11	3	3.6	Sistemi interferometrici radar ad apertura sintetica basati a terra
12	4	4.1	Modello areale per il preannuncio delle frane da innesco pluviale (Modello GEOtop)
13	4	4.2	Modelli completi di versante di tipo puntuale per il preannuncio di movimenti franosi (Modello SUSHI)
14	4	4.3	Modelli di propagazione delle frane tipo colate (Modello SCIDDICA)
15	5	5.1	Rete Wireless di Telecomunicazioni: sviluppo e scelta dei parametri di progetto
16	6	6.1	CAED. Acquisizione dati: architettura del sistema
17	6	6.2	CAED. Elaborazione dei dati
18	7	7.1	CCCT. Progettazione
19	7	7.2	CCCT. Interfaccia verso il centro di acquisizione ed elaborazione dati
20	7	7.3	CCCT. Interfaccia con altre centrali operative e canali di diffusione delle notizie
21	7	7.4	CCCT. Modulo per la presentazione e convalida delle allerte
22	7	7.5	CCCT. Modulo per la gestione delle informazioni di traffico
23	7	7.6	CCCT. Integrazioni con moduli speciali

QUADERNO	OR	WP	TITOLO
24	8	8.1	Definizione del modello di intervento e predisposizione del Piano di Emergenza
25	8	8.2	CCCT. Gestione delivery allerte e attivazione squadre d'intervento
26	8	8.3	CCCT. Gestione percorsi alternativi
27	9	9.1 - 9.11	Sperimentazione
28	10	10.1 - 10.2	Piano di comunicazione e diffusione
29	-	-	Master ESPRI (Esperto in Previsione/Prevenzione Rischio Idrogeologico)

Tabella 1 - Quadro editoriale complessivo della collana di Quaderni PON LEWIS

31 dicembre 2014

Il Responsabile Scientifico del progetto PON LEWIS

Pasquale Versace

INDICE

1 **Sommario**

2 **Premessa**

ATTIVITA' ELEMENTARE 4.3.1

5 **Individuazione e definizione di nuovi processi elementari per lo sviluppo della versione SS3 di SCIDDICA**

6 **4.3.1.A Algoritmo di minimizzazione delle differenze**

7 **4.3.1.B Gestione della quantità di moto**

7 **4.3.1.C Protocolli d'uso e valutazione delle simulazioni**

ATTIVITA' ELEMENTARE 4.3.2

9 **Sviluppo di SCIDDICA SS3 con la introduzione dei nuovi processi elementari**

9 **4.3.2.A Il Modello SCIDDICA $\delta 1$: Generalità**

12 **4.3.2.B Processi elementari di SCIDDICA $\delta 1$**

ATTIVITA' ELEMENTARE 4.3.3

27 **Verifica di SCIDDICA in situazioni ideali**

ATTIVITA' ELEMENTARE 4.3.4

32 **Calibrazione e Validazione di SCIDDICA SS3 su casi di studio noti**

ATTIVITA' ELEMENTARE 4.3.5

39 **Migliorie della funzione di transizione di SCIDDICA SS3**

40 **4.3.5.A AMD in caso di disomogeneità areale a due valori**

ATTIVITA' ELEMENTARE 4.3.6

42 **Ricalibrazione del modello SCIDDICA SS3 su casi noti**

Riferimenti bibliografici

La parte di ricerca progetto PON01_01503 “LANDSLIDES EARLY WARNING” riguardante la modellistica con Automi Cellulari per la simulazione al computer delle dinamiche di propagazione di frane a carattere prevalentemente fluidodinamico (colate di detrito, colate di fango, flussi granulari) è articolata secondo il seguente schema:

- ✓ 4.3.1 Individuazione e definizione di nuovi processi elementari per lo sviluppo della versione δ1 di SCIDDICA;
- ✓ 4.3.2 Sviluppo di SCIDDICAδ1 con l'introduzione dei nuovi processi elementari;
- ✓ 4.3.3 Verifiche di SCIDDICAδ1 in situazioni ideali;
- ✓ 4.3.4 Calibrazione e Validazione di SCIDDICAδ1 su casi di studio noti;
- ✓ 4.3.5 Migliorie della funzione di transizione di SCIDDICAδ1;
- ✓ 4.3.6 Ricalibrazione del modello SCIDDICAδ1 su casi noti.

Ciascuna di queste parti rappresenta nell'ordine un paragrafo del deliverable, a cui si aggiunge a cappello una premessa, che inquadra il lavoro svolto nel contesto delle ricerche di modellizzazione e simulazione con Automi Cellulari di flussi di superficie, fra i quali vi sono le frane di tipo colata.

La metodologia di modellizzazione permessa da un approccio ad Automi Cellulari qui adottata [Di Gregorio & Serra, 1999] per simulare una determinata classe di fenomeni, è di tipo incrementale, permettendo di partire da modelli “semplici” per tipologie base del fenomeno, descrivibili in termini di processi elementari, andando quindi a sviluppare modelli più sofisticati introducendo opportunamente nuovi processi elementari, per render conto di una fenomenologia via via più complessa.

Nello specifico campo della modellizzazione di fenomeni franosi, la classe di modelli ad Automi Cellulari SCIDDICA [Avolio et al., 2010] ha dato, nell'ambito delle simulazioni effettuate su eventi reali, significativi risultati per quanto riguarda la determinazione dell'area interessata alla frana e gli spessori di erosione e di accumulo, talvolta anche su una base non ottimale di dati pre-evento.

Trattandosi di fenomeni di tipo fluidodinamico altamente non lineari, una importanza notevole ha rivestito la determinazione/taratura dei parametri del modello [Iovine et al., 2005].

L'accuratezza dei dati di partenza è anch'esso un punto cruciale: la mancanza di precisione dei dati morfologici pre-evento, non più recuperabili a causa dell'evento stesso o per gli errori determinati dalla presenza di copertura vegetale, ha dato luogo a seri problemi nel momento in cui non erano evidenti questi limiti.

SCIDDICA fu inizialmente sviluppato per verificare la possibilità di trasferire al caso delle frane la metodologia sviluppata per le colate di lava con il modello ad Automi Cellulari SCIARA [Crisci et al., 1986; Barca et al. 1994], applicato con successo per la previsione dei percorsi delle colate laviche etnee del 2001 [Avolio et al., 2006].

Il caso di colate di detrito rapide, i cui dati si trovavano a disposizione, fu quello di Monte Ontake (Giappone, 1984), caratterizzato da velocità decisamente elevata (20-26 m/s) che comportò una gestione più sofisticata dell'energia, dovendo introdurre effetti di risalita [Spezzano et al., 1996; Di Gregorio et al., 1999].

Il successivo impegno fu quello di simulare colate di fango di media velocità (Tessina, Italia, 1992) risultanti meno complessi di quelle veloci [Avolio et al. 2000].

Negli effetti è stata utilizzata una prima versione modellistica di SCIDDICA per monte Ontake che era risultata insufficiente, ma perfettamente adatta per colate di fango caratterizzate da moto puramente gravitazionale come quella di Tessina.

Questo è il motivo per cui si considera come prima versione di SCIDDICA, quella applicata alla frana di Tessina (caratterizzata da velocità non elevata, dell'ordine dei metri al giorno) o versione T, mentre quella più complessa di monte Ontake o versione O è considerata successiva.

I successivi modelli della famiglia SCIDDICA sono stati sviluppati per la simulazione delle colate detritiche di Sarno (Campania, Italia, 1998), in cui il processo di erosione del manto detritico di copertura risulta essere una componente fondamentale per l'evoluzione del fenomeno. Si è quindi inserito nel modello un nuovo processo elementare di erosione del suolo, mutuato dal modello ad Automi Cellulari SCAVATU [D'Ambrosio et al., 2001], sviluppato per lo studio dell'erosione del suolo da acque.

Nel giro di pochi anni si sono succeduti modelli via via più sofisticati a testimonianza di un lavoro continuo di modellistica; dai primi SCIDDICA S1 [D'Ambrosio et al., 2003a] e SCIDDICA S2 [D'Ambrosio et al., 2002], al consolidato SCIDDICA S3hex [D'Ambrosio et al., 2003b] a celle esagonali, applicato oltre che alle frane di Sarno anche alle frane della Valle Caudina (Italia, 1999) [Iovine et al., 2003]. Intanto si incominciava a mettere a punto un metodo standard ad algoritmi genetici [Holland, 1975; Goldberg, 1989] per la ricerca dei valori ottimali dei parametri modellistici [D'Ambrosio, 2007a] e lo si testava con SCIDDICA S4a, [Iovine et al., 2005], quindi con SCIDDICA S4b [D'Ambrosio et al., 2006], ed infine con SCIDDICA S4c [D'Ambrosio et al., 2007], questi ultimi modelli, evoluzione di S3hex, più adeguati a gestire gli effetti inerziali.

La necessità di modellare frane miste subaeree-sottomarine nelle aree costiere ha portato a sviluppare modelli sofisticati con equazioni di moto attribuibili al centro di massa dei flussi da una cella a quelle vicine, dando luogo alle versioni SCIDDICA-ss2 [Avolio et al., 2008] e SCIDDICA-ss2-megablocks [Avolio et al., 2009], quest'ultima contemplante il moto di megablocchi, interagenti con il materiale fine della frana, con accurata gestione degli effetti inerziali per i megablocchi, ma forti semplificazioni per il materiale fine.

Citiamo per doverosa completezza altri modelli significativi ad AC per fenomeni di tipo franoso prodotti dalla comunità scientifica [Segré & Deangeli, 1995; Malamud & Turcotte, 2000; Clerici & Perego, 2000; Salles et al., 2007].

SCIDDICA- $\delta 1$, sviluppato nel PON LANDSLIDES EARLY WARNING, affronta il problema cruciale di assicurare una più che soddisfacente gestione degli effetti inerziali, proponendo significative soluzioni. Inoltre la ricerca ha rivisitato l'algoritmo di minimizzazione delle differenze, che sta al cuore di molti modelli ad AC di flussi di superficie, dimostrando alcune importantissime proprietà, che ne ampliano gli aspetti applicativi.

La produzione scientifica, relativa alle ricerche sviluppate, comprende i seguenti lavori:

- Avolio M.V., Di Gregorio S., Lupiano V., Mazzanti P., Spataro W.,(2012). SCIDDICA-SS3: A New Cellular Automata Model for Simulating Fast Moving Landslides. Proceedings of the International Conference on Scientific Computing, Las Vegas, USA, 2012, pp. 98-104. CSREA Press, USA. ISBN 1-60132-207-0
- Maria V. Avolio, Salvatore Di Gregorio, William Spataro, Giuseppe A. Trunfio - A Theorem about the Algorithm of Minimization of Differences for Multicomponent Cellular Automata - - G.C. Sirakoulis and S. Bandini (Eds.): ACRI 2012, (the Tenth International Conference on Cellular Automata for Research and Industry), LNCS 7495, 24-27 September, Fira, Santorini Island, Greece, pp. 279–288, 2012
- A New Cellular Automata Model for Simulating Landslides pubblicato in SGI Conference 2012 – Rende (Italy)
- Avolio Maria Vittoria, Di Gregorio Salvatore, Lupiano Valeria, Mazzanti Paolo - SCIDDICA-SS3: A New Version of Cellular Automata Model for Simulating Fast Moving Landslides - The Journal of Supercomputing ISSN 0920-8542, DOI 10.1007/s11227-013-0948-1, 2013.
- A. Cancelliere, V. Lupiano, D.J. Peres, L.M. Stancanelli, M.V. Avolio, E. Foti, S. Di Gregorio : Simulation of some 2009 debris flow events in the Peloritani Region by the model SCIDDICA_SS3. AGU 2013 Fall Meeting, San Francisco USA, December 9-13 2013 (session nh017 “landslide triggering and runout: mechanics, physical, hydrological and geotechnical approaches), <http://agu-fm13.abstractcentral.com/viewer>.

Si ricordi che la dizione SCIDDICA-SS3 è utilizzata per quanto riguarda i lavori pubblicati, riservandoci SCIDDICA- $\delta 1$ al modello definitivamente perfezionato.

Individuazione e definizione di nuovi processi elementari per lo sviluppo della versione $\delta 1$ di SCIDDICA

L'attività elementare è consistita nella rivisitazione dei modelli SCIDDICA precedenti (vedi premessa) e nell'individuazione dei punti critici, che avrebbero potuto dar luogo ad imprecisioni in alcuni casi di simulazione di frane. Si è fatto riferimento come punto di partenza al modello SCIDDICA ss2, il più evoluto in quel momento.

Un'analisi approfondita delle precedenti simulazioni ed alcune nuove ha identificato nella gestione della quantità di moto il punto cruciale per un ulteriore miglioramento del modello.

Tale analisi si è focalizzata sull'algoritmo di minimizzazione delle differenze nelle specifiche di alterazione dei flussi minimizzanti in relazione alle peculiarità fenomenologiche. In tale attività si sono ulteriormente approfondite le proprietà formali dell'algoritmo di minimizzazione (Avolio et al., 2012). Ciò che segue illustra la ricerca con alcune premesse di questa.

Molti sistemi complessi evolvono a livello locale verso condizioni di massimo equilibrio possibile: in termini di AC il sistema tende a minimizzare nel vicinato le differenze relative ad una certa grandezza, dando luogo a flussi di certe quantità fra le celle (Di Gregorio & Serra, 1999; Avolio et al., 2012).

Nel contesto degli AC, questo significa che la funzione di transizione τ può variare le quantità "distribuibili" solo per la cella centrale ma non agire sui vicini. Naturalmente, τ viene applicata simultaneamente su ciascuna cella in \mathbf{R} e sono i flussi, potenzialmente da ciascuna cella verso le celle del vicinato, che danno l'evoluzione del sistema.

Un semplice ed intuitivo esempio può essere rappresentato da un fluido (ad esempio, lava, detriti, ecc.) distribuito su una morfologia. Un sottostato "quota" è attribuito a ciascuna cella insieme ad un sottostato "spessore di fluido". La proprietà o quantità da minimizzare è la "altezza" h , il cui valore è dato in questo caso dalla somma di quota e dello spessore di fluido. Il processo di minimizzazione è costituito per ogni cella da deflussi dalla cella centrale agli altri vicini, in modo

che le differenze di quota siano ridotti al minimo fra le celle del vicinato in il seguito ai deflussi.

Si fa presente che, per evitare ripetizioni nel deliverable, il modello presentato qui contiene anche i successivi aggiornamenti.

4.3.1.A ALGORITMO DI MINIMAZIONE DELLE DIFFERENZE

Definizioni:

$n = \#X$;
 q_d = quantità distribuibile nella cella centrale;
 q_0 = quantità non distribuibile nella cella centrale;
 q_i = quantità nella cella i $1 \leq i < n$;
 f_0 ' è la parte of q_d che resta nella cella centrale;
 f_i ' = flusso dalla cella centrale verso la cella i $1 \leq i < n$;
 $q_i' = q_i + f_i' \quad 0 \leq i < n$;

Vincoli:

$q_d = \sum_{0 \leq i < n} f_i'$;

Problema:

f_h' $0 \leq h < n$ debbono essere determinati per minimizzare la somma di tutte le differenze in q fra tutte le coppie di celle nel vicinato:

$$(1) \quad \sum_{\{(i,j) | 0 \leq i < j < n\}} |q_i' - q_j'|$$

Algoritmo:

- (a) tutte le celle del vicinato sono etichettate "ammissibili" a ricevere flussi dalla cella centrale: A è l'insieme delle celle "ammissibili"
- (b) la "media di q " ($media_q$) è trovata per l'insieme A delle celle ammissibili: $media_q = (q_d + \sum_{i \in A} q_i) / \#A$
- (c) ogni cella x con $q_x > media_q$ viene esclusa da A
- (d) finché qualche cella viene esclusa, vai al passo (b).
- (e) calcolo dei flussi minimizzanti: $f_i = media_q - q_i \quad i \in A$; $f_i = 0 \quad i \notin A$

Congruità:

$\sum_{i \in A} f_i' = \sum_{i \in A} (media_q - q_i) = \#A(q_d + \sum_{i \in A} q_i) / \#A - \sum_{i \in A} q_i = q_d$

Proprietà

P1: $q_i' = f_i' + q_i = media_q - q_i + q_i = media_q$ per $i \in A$

P2: $q_i' = q_i$ in quanto $f_i' = 0$ per $i \notin A$

4.3.1.B GESTIONE DELLA QUANTITA' DI MOTO

Il punto di partenza sta nella diversa attualizzazione dello AMD (Di Gregorio & Serra, 1999). Nello AMD nella sua versione base, i flussi da una cella verso i suoi vicini sono calcolati in modo da ottenere un equilibrio idrostatico nel vicinato stesso di una cella. Dopo la distribuzione si ha la composizione dei flussi entranti e della massa che è rimasta nella cella in termini di: quantità di detrito, centro di massa, energia cinetica e quantità di moto (quest' ultima appare per la prima volta in SCIDDICAδ1). I nuovi processi elementari pensati per definire la quantità di moto e modellare gli effetti inerziali, introducono un'alterazione dell'equilibrio idrostatico che è tradotta in termini di AMD con la modifica fittizia delle quote delle celle vicine (fig.3.2). L'altezza della quota è, infatti, opportunamente innalzata o abbassata in relazione al modulo e alla direzione della quantità di moto (fig.3.2 e fig.3.3). Il calcolo procede secondo due fasi successive:

- a) i flussi uscenti verso le celle del vicinato sono calcolati in condizione di differenti alterazioni di quota, questo per i flussi che possono superare gli ostacoli trascurando le altre interazioni;
- b) la parte di massa che non può superare gli ostacoli è considerata interagire fortemente con tali intralci in un complicato gioco di urti e ribalzi dove il momento scompare e parte dell'energia cinetica è persa. In questa fase, a causa della mancanza di direzionalità e considerando l'energia cinetica residua, l'AMD viene nuovamente applicato con una variazione di quota, proporzionale al residuo stesso dell'energia cinetica della cella che distribuisce verso tutte le celle del vicinato.

4.3.1.C PROTOCOLLI D'USO E VALUTAZIONI DELLE SIMULAZIONI

Il programma per le simulazioni ha necessità di una precisione di dati in ingresso (quote, spessori di regolite etc.) corrispondenti ad una carta 1:1000 (reale o migliore) per ottenere una tassellazione di celle esagonali con lato di lunghezza 1 metro. Una precisione limite fino ad 1:5000 può essere considerata per le simulazioni anche se eventuali problemi di precisione potrebbero insorgere.

Dati in ingresso:

- 1) DEM o DTM pre-frana

- 2) specificazione delle nicchie di distacco
- 3) spessori di regolite.
- 4) area invasa dalla frana.

Dati in uscita:

- 1) L'area interessata dalla frana,
- 2) La morfologia post-evento
- 3) Gli accumuli di detrito,
- 4) L'erosione del manto detritico, ad opera del flusso,
- 5) I massimi spessori di detrito, transitati nelle celle,
- 6) La velocità dei flussi,
- 7) La velocità massima raggiunta dai flussi
- 8) L'energia cinetica
- 9) L'energia cinetica massima.

Un problema estremamente importante riguarda la valutazione della qualità della simulazione (e quindi la validità del modello), che non può non avvenire se non nel confronto fra dati reali e dati di simulazione.

Tale confronto risulta essere problematico in quanto una buona parte dei dati reali risultano essere misurati in modo molto approssimativo se non addirittura ipotizzati sulla base di considerazioni semiempiriche. Altri dati, deducibili ad esempio da filmati, come la velocità del fronte della frana, la durata temporale di questa dovrebbero essere temporalmente e spazialmente riferiti, ponendo problemi interpretativi nel confronto.

Molti parametri fisici possono risultare alterati durante l'evoluzione del fenomeno in modo difficilmente prevedibili.

Le simulazioni al laboratorio, seppur diano preziose indicazioni, per le semplificazioni tipiche del contesto sperimentale, rischiano di evidenziare effetti di ordine superiore, rispetto all'emergenza di comportamenti tipici in situazioni caotiche.

In questo contesto facciamo riferimento a dati ben controllabili e cioè la superficie di suolo interessata alla frana reale **R** (in termini di celle) e le celle attraversate dalla frana nella simulazione **S**.

Si è adottata come funzione di valutazione della qualità o funzione di fitness:

$$e = \sqrt{\frac{R \cap S}{R \cup S}}$$

La funzione rapporta l'intersezione delle aree con la loro unione, variando i suoi valori da **0** totale insuccesso ad **1** perfetta simulazione. La radice quadrata è un elemento di normalizzazione per altri confronti, ad esempio volumi, in cui si adotta la radice cubica.

Tale scelta è semplicemente preliminare ad altre possibili valutazioni, tenendo conto che difficilmente discrepanze fra fenomeno reale e simulato, non si riflettono sul confronto fra superficie attraversata dalla frana nel reale e nel simulato.

In generale $e > 0,7$ è considerato un valore accettabile nella fase di sviluppo del modello.

ATTIVITÀ ELEMENTARE 4.3.2

Sviluppo di SCIDDICA $\delta 1$ con l'introduzione dei nuovi processi elementari

L'attività elementare è consistita, una volta individuati i punti critici e di avere prospettato le opportune soluzioni, di introdurre tali miglioramenti all'interno del modello, riscrivendo i processi elementari. Ciò che segue è la breve specificazione di SCIDDICA a compimento di questa attività.

4.3.2.A IL MODELLO SCIDDICA $\delta 1$: GENERALITÀ

SCIDDICA $\delta 1$ è formalmente definito come una quintupla [Avolio et al., 2012]:

$$\text{SCIDDICA } \delta 1 = \langle R, X, Q, P, \tau \rangle$$

dove:

- $R = \{(x, y) \mid x, y \in \mathbb{Z}, -l_x \leq x \leq l_x, -l_y \leq y \leq l_y\}$ identifica lo spazio cellulare, cioè l'insieme di esagoni che ricoprono la regione finita dove evolve il fenomeno.
- $X = \{(0,0), (0,1), (0,-1), (1,0), (-1,0), (1,1), (-1,-1)\}$ identifica la configurazione geometrica del vicinato di una cella (cella centrale inclusa). In Fig. 3.1 è evidenziato il vicinato adottato (si noti che, in questo caso, $\#X=7$).

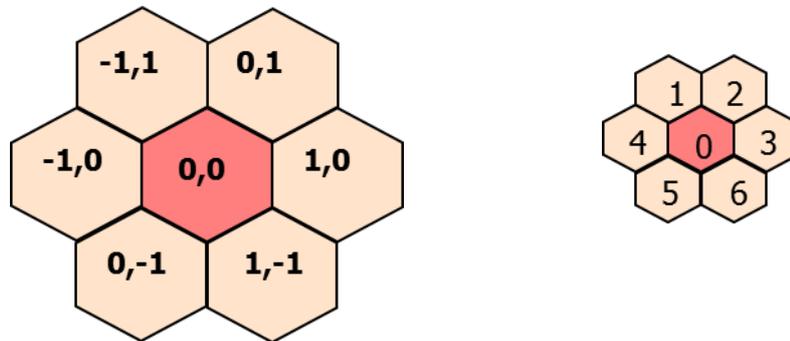


Fig. 1. Vicinato di SCIDDICA $\delta 1$ ed indici adottati per l'identificazione dei vicini

- Q è l'insieme finito degli stati della cella, definito come prodotto Cartesiano dei seguenti "sottostati":

Sottostati	Specificazione
Q_a	Quota (in metri)
Q_{th}	Spessore di detrito di frana (in metri)
Q_d	Profondità massima di copertura di detriti che può essere trasformato in detrito di frana dall'erosione, (in metri)
$Q_o (Q_i)$	Flussi di detrito uscenti (entranti) (in metri)
Q_E	Energia totale della frana (in joule)
Q_{px}, Q_{py}	Rappresentano le componenti della quantità di moto dei detriti della frana, lungo la direzione della velocità dei flussi uscenti. (in kg m/s)
Q_x, Q_y	Coordinate del baricentro del detrito con riferimento al centro della cella (in metri)
Q_{kh}	Altezza cinetica del detrito(in metri)
$Q_{oe} (Q_{oi})$	Parte del flusso uscente di detriti, "flusso esterno" ("flusso interno"), normalizzato ad uno spessore, che si trasferisce nella cella adiacente dalla cella centrale (che rimane all'interno della cella centrale) (in metri)
Q_{XE}, Q_{YE} (Q_{Xl}, Q_{Yl})	Coordinate del baricentro del flusso esterno (baricentro flusso interno) con riferimento al centro della cella adiacente (in metri)

- P è l'insieme dei parametri globali:

Parametri	Specificazione
p_a	apotema della cella (in metri)
p_t	tempo corrispondente a un passo di calcolo dell'AC (in secondi)
$p_{x_pe_t}$	fattore di perdita di energia per turbolenza (adimensionale)
$p_{x_pe_er}$	fattore di perdita di energia per erosione (adimensionale)
p_{x_mob}	soglia di mobilitazione della frana (in metri)
$p_{x_pe_h}$	percentuale di perdita di detrito a contatto con l'acqua
p_{x_atr}	parametro μ legato all'attrito con il suolo
p_{w_f}	" <i>fattore forma</i> " adottato nella formula di moto (equazione di Stokes corretta) del flusso in acqua
$p_{x_aderenza}$	soglia di aderenza: massima altezza di detrito inamovibile in una cella (in metri)
$p_{m_densità}$	densità media, ρ_m , del materiale della frana
$p_{a_densità}$	densità, ρ_a , dell'acqua
p_{a_vmax}	la velocità "massima" nell'aria che può raggiungere la frana

Il modello è in grado di simulare frane subaeree e subacquee. Il prefisso p_x di alcuni parametri viene sostituito con p_a se riferisce alla parte del fenomeno che evolve nell'aria, con p_w se si riferisce alla parte del fenomeno che evolve nell'acqua.

- $\tau: S^7 \rightarrow S$ è la funzione di transizione deterministica dell'AC, composta dai seguenti "processi elementari" elencati in ordine d'applicazione:
 - σ_1 : erosione del suolo dissipazione di energia (*trasformazione interna*);
 - σ_2 : calcolo dei flussi verso le celle vicine (*interazione locale*);
 - σ_3 : bilancio dell'energia totale e aggiornamento del carico cinetico (*interazione locale*);
 - σ_4 : dissipazione dell' energia cinetica per turbolenza (*trasformazione interna*).

4.3.2.B PROCESSI ELEMENTARI DI SCIDDICA - δ_1

.....

σ_1 : EROSIONE DEL SUOLO E BILANCIO D'ENERGIA

L'erosione progressiva si può verificare in alcuni punti che non necessariamente sono i punti d'innescio della frana (o meglio non avviene solo nei punti in cui si pensa siano collocate le nicchie di distacco). La quantità di suolo che può essere erosa è funzione del valore dell'altezza cinetica q_{hk} ($h_k = v^2/2g$), e dipende dai parametri p_{x_mob} e p_{x_fe} . Il parametro p_{x_mob} (che sta per *parametro di soglia di mobilitazione*) definisce una soglia al disotto della quale non si verifica erosione; il parametro p_{x_fe} (che sta per *parametro di fattore di progressiva erosione*) rappresenta un fattore di proporzionalità del suolo erodibile rispetto al carico cinetico del detrito.

In questa fase viene considerata una perdita di energia dovuta all'erosione stessa, in particolare si calcola la differenza (q_{hk}') fra il carico cinetico q_{hk} nella cella e il parametro soglia di mobilitazione p_{x_mob} ($q_{hk}' = q_{hk} - p_{x_mob}$), la quantità di detrito che viene erosa è data da: $h_{eroso} = q_{hk}' \cdot p_{x_fe}$.

Una volta stabilita la quantità di detrito che deve essere erosa il valore di q_{hk} viene diminuita di una percentuale pari al parametro perdita d'energia per erosione $p_{x_pe_er}$. L'Energia totale (somma fra energia cinetica ed energia potenziale della cella, in seguito meglio descritta, $E = \rho_m g A q_h \cdot (q_z + h_k + q_h/2)$), si aggiorna in base

alla percentuale di energia cinetica persa a causa dell'erosione stessa e nello stesso tempo essa viene incrementata dell'energia generata dalla parte del suolo che viene eroso.

In questo pseudo-codice autoesplicativo, il processo erosivo è descritto nel seguente modo:

σ2: EROSIONE DEL SUOLO

//.....

se ($q_{hk} > p_{x_mob}$) allora

```
{
   $q_{hk}' = q_{hk} - p_{x\_mob}$ 
   $h\_eroso = \text{minimo}(q_{hk}' \cdot p_{x\_fe}; q_d)$ 
   $nuovo\_q_{hk} = q_{hk} - q_{hk}' \cdot p_{x\_pe\_er};$ 
   $nuovo\_E = \rho_m g h \cdot (q_z + nuovo\_q_{hk} + q_h / 2);$ 
   $nuovo\_q_d = q_d - h\_eroso;$ 
   $nuovo\_q_h = q_h + h\_eroso;$ 
   $nuovo\_q_z = q_z - h\_eroso;$ 
   $energia\_h\_eroso = h\_eroso \cdot (nuovo\_q_z + h\_eroso / 2);$ 
   $nuovo\_E = nuovoE + energia\_h\_eroso;$ 
}
```

σ2: CALCOLO DEI FLUSSI VERSO LE CELLE VICINE

La modellazione degli effetti inerziali, in SCIDDICA-δ1, necessita essere ridisegnata con nuovi processi elementari ai fini di poter inglobare la descrizione dei flussi uscenti dalla cella in termini di equazioni di moto attribuibili al loro centro di massa per i modelli sulle frane.

Di seguito una breve descrizione schematica del *processo elementare* implementato per lo sviluppo della versione δ1 di SCIDDICA.

Siano (d_x, d_y) le component direzionali della velocità dei flussi uscenti da una cella generica e applicati nel punto *B* del centro di massa corrispondente (fig.3.3a). Lungo le direzioni (d_x, d_y), è possibile calcolare le componenti (q_{px}, q_{py}) della quantità di moto *p*, dato in modulo da:

$$p = \rho A q_{th} \sqrt{2 g q_{hk}}$$

dove ρ rappresenta la densità del materiale della frana, A l'area della cella, q_{th} lo spessore di detrito in una cella, g l'accelerazione di gravità e q_{kh} il carico cinetico della frana.

Mediante alcuni processi geometrici del tutto convenzionali (fig.3.3a) si individuano i segmenti

$$\overline{P_{i(n)} P_{i(n+1)}}$$

(i è riferito alla vicina cella i) e proporzionalmente a questi segmenti, la quantità di moto viene "distribuita" nelle celle vicine i proporzionalmente alla quantità p_i data dalla formula:

$$p_i = \frac{p \times \left| \overline{P_{i(n)} P_{i(n+1)}} \right|}{\left| \overline{P_j P_k} \right|}$$

dove p_i indica la parte della quantità di moto che si "trasferisce" nella cella i ,

$$\left| \overline{P_{i(n)} P_{i(n+1)}} \right|$$

la lunghezza del segmento corrispondente alla cella i ed infine

$$\left| \overline{P_j P_k} \right|$$

la lunghezza totale del segmento che va da P_j a P_k (fig.3.3a). Le celle verso le quali $p_i \neq 0$ sono delle celle privilegiate in un contesto di spazio cellulare esagonale, lungo le quali gli effetti della quantità di moto sono più forti, al fine di spiegare le proprietà inerziali della colata detritica (fig.2).

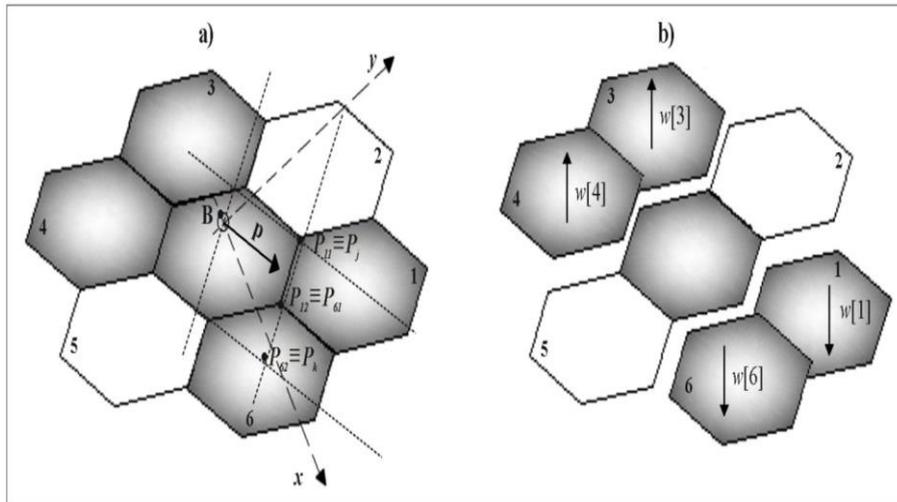


Fig. 2. Un esempio di alterazione della quota della cella per enfatizzare gli effetti inerziali. Colorazione grigie indicano le celle (numerati da 1 a 6) interessate alla procedura. (a) B è il baricentro della massa all'interno di una generica cella centrale. Segmenti $|P_{i(n)} P_{i(n+1)}|$ sono determinati da $|P_{11}P_{12}|$ e $|P_{61}P_{62}|$ per le celle 1 e 6, rispettivamente, (b) Nella prima fase del passo di distribuzione, le celle 1 e 6 sono diminuite di una quantità pari a $w[1]$ e $w[2]$ proporzionali alle quantità p_1 e p_6 . Mentre le celle 3 e 4 sono aumentate delle stesse quantità.

Dopo aver eseguito i calcoli per le variazioni della “altezze” nel vicinato della cella si propone a partire da ciò una opportuna applicazione del AMD, che tenga conto della velocità.

Prima di questa operazione vengono eseguiti una serie di calcoli per determinare lo spostamento che un probabile flusso potrebbe compiere per muoversi dalla cella centrale 0 verso una sua vicina i .

In questo modello (sviluppato su uno spazio cellulare a tassellazione esagonale) i blocchi di flusso si muovono, per convenzione, lungo una retta congiungente la posizione del centro di massa (CM per il seguito) del blocco nella cella centrale, con i centri delle celle vicine (fig.3).

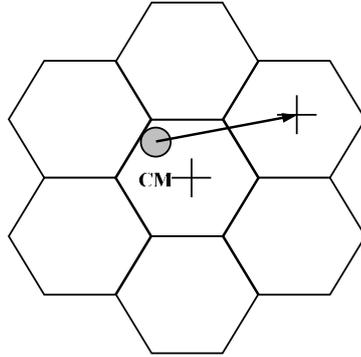


Fig. 3. Un esempio di flusso fra la cella centrale ed una cella adiacente: i simboli “+” identificano i centri delle celle, il cerchio grigio la collocazione del “detrito” nella cella centrale.

E' necessario quindi, conoscere le coordinate della posizione del CM rispetto al sistema di riferimento centrato nel centro della cella della quale esso fa parte (in seguito denominata cella 0). Questo approccio risulta leggermente complicato dal punto di vista computazionale per i calcoli geometrici. Una volta stabilita la posizione del CM viene determinato il lato dell'esagono ad essa più vicino. La distanza fra questo lato ed il CM è pari a d_{min} . Si costruisce così un cerchio ipotetico con centro (q_{CMx}, q_{CMy}) e raggio d_{min} , in cui viene ipotizzata concentrata tutta la massa di detrito contenuta nella cella. A questo punto per ogni cella vicina i è calcolata la pendenza fig.3.5, relativa alla posizione del centro di massa nella cella 0, essa è data da: $tg\theta=(\Delta cm/dislivello)$, dove Δcm rappresenta la distanza fra il CM del detrito nella cella 0 ed il centro della cella vicina i , mentre $dislivello$ rappresenta la differenza, fra la quota il detrito e l'altezza cinetica della cella 0 e la quota e il detrito nella cella i : $(q_z(0)+q_h(0)+q_{hk}(0) - (q_z(i)+q_h(i)))$. Se risulta che $tg\theta > p_{x_atr}$ allora si calcola lo spostamento effettivo s_i di un probabile flusso uscente verso una cella vicina i . Tale spostamento è calcolato applicando alcune relazioni cinematiche e precisamente, nel caso in cui il fenomeno evolve nell'aria:

$$s_i = v_0 t + g(\sin \theta - \mu \cos \theta) \frac{t^2}{2}$$

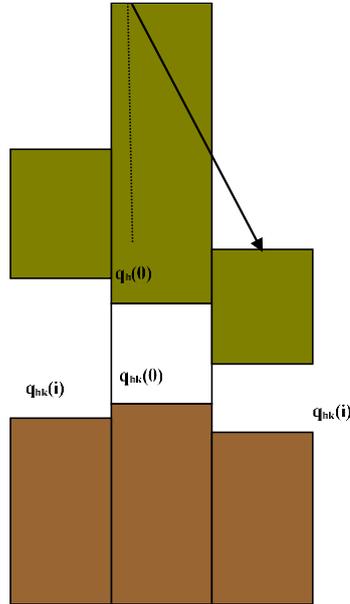


Fig. 4. Visualizzazione del calcolo della determinazione della pendenza.

Mentre nel caso in cui evolve nell' acqua:

$$s_i = (1 - e^{-\alpha t}) \left(v_0 - \frac{g'(\sin \theta - \mu_w \cos \theta)}{\alpha} \right) + \frac{g'(\sin \theta - \mu_w \cos \theta)}{\alpha} t$$

questa ultima è una variazione della formula dello spostamento derivante dalla formula di Stokes in cui viene aggiunto il contributo della forze d'attrito a contatto con il suolo. μ , t , e α rappresentano rispettivamente i parametri ρ_{x_atr} , ρ_t e ρ_{w_f} . sopra menzionati; v_0 rappresenta invece la velocità iniziale del flusso (o meglio la velocità attribuita al baricentro della parte in movimento) verso la cella i . Essa viene espressa in termini di carico cinetico e precisamente la prima per l'aria, la seconda per l'acqua.

$$v_0 = \sqrt{2 g q h_k} \quad v_0 = \sqrt{2 g' q h_k}$$

dove g e g' rappresentano l'accelerazione di gravità rispettivamente nell'aria e nell'acqua. Si noti che potrebbe succedere $s_i > 2 \cdot p_a$ e quindi il flusso potrebbe superare i "confini" del vicinato. In questo caso la simulazione dovrebbe essere

interrotta e il passo temporale p_t ridotto opportunamente prima di rilanciare una nuova simulazione.

Per superare questo problema viene introdotto il parametro p_{a_vmax} , il quale rappresenta una velocità “massima” che regola di conseguenza il passo temporale e lo spostamento massimo. Per meglio capire questo concetto, si consideri un corpo su un piano inclinato. La sua velocità può aumentare fino a quando non viene raggiunto un valore asintotico, una formula empirica che esprime questo concetto è data da:

$$v = v(t) = (v_0 - k_1 \sin\theta) e^{-k_2 t} + k_1 \sin\theta$$

dove θ rappresenta l'inclinazione del piano, k_1 e k_2 sono costanti che influenzano la velocità massima possibile per il corpo e t il tempo, fig.5

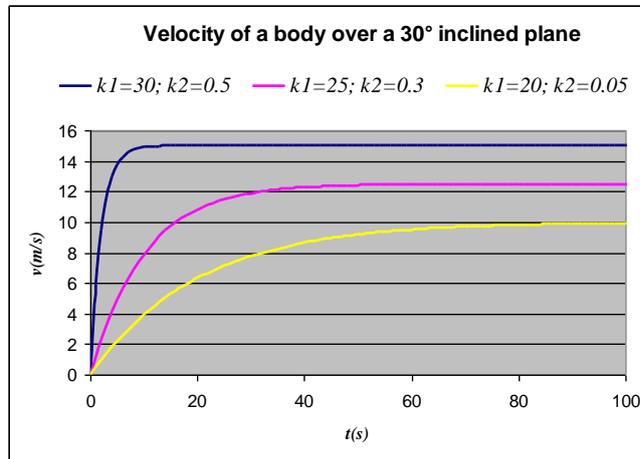


Fig. 5. Esempi di variazione di velocità con valori vari per k_1, k_2 .

L'equazione di cui sopra descrive un moto che dipende dalla forza di gravità e si oppone alle forze dissipative. Inoltre per $t \rightarrow +\infty$ la velocità v tende ad un valore asintotico (o “massimo”) pari a $(k_1 \sin\theta)$. In questo lavoro ogni volta che si fa riferimento al parametro p_{a_vmax} , si intende la velocità asintotica su un piano inclinato con pendenza media pari a 30 gradi.

E' stata anche considerata una velocità limite nell'acqua, la cui espressione matematica è data da:

$$v_{\text{lim}} = \frac{g'(\text{sen}\theta - \mu_w \cos\theta)}{\alpha}$$

dove α rappresenta il fattore forma: ρ_{w_f} , mentre μ_w rappresenta il parametro $\rho_{w_{atr}}$ ed infine θ la pendenza; stabiliti a priori questi valori si definiscono:

- il massimo valore che si può attribuire al parametro relativo al tempo (ρ_t) in relazione alla velocità “massima” e allo spostamento massimo che un flusso potrebbe compiere quindi: $\rho_{t_{max}} = 2 \cdot \rho_a / \rho_{a_{vmax}}$,
- il massimo valore che può essere attribuito ad α dipendente dalla velocità limite e dalla pendenza media che si potrebbe avere nell’acqua (in questo lavoro tale pendenza è stata fissata a 30°), per cui:

$$\alpha = \frac{g'(\sin 30 - \mu_w \cos 30)}{v_{\text{lim}_{30gr}}}$$

Una volta calcolato lo spostamento relativo al fenomeno in aria o in acqua, se risulta $s_i > 0$ allora sono calcolati i “flussi effettivi”, $f(0,i)$, verso le celle vicine come segue:

$$f(0,i) = q_o(0,i)$$

ove i flussi $q_o(0,i)$ sono proprio quelli minimizzati. Se si verifica $f(0,i) > \rho_{x_{aderenza}}$ allora il flusso uscente può essere distribuito alla cella vicina i . I flussi, inoltre, si possono dividere in *flussi interni* $f_i(0,i)$ ed *flussi esterni* $f_e(0,i)$ secondo lo spostamento s_i che essi stessi possono subire. Noto s_i si aggiorna la posizione del CM del flusso uscente $f(0,i)$, essa è indicata con (f_{cm_x}, f_{cm_y}) , che viene calcolata a partire dalla posizione del CM dell’intera massa.

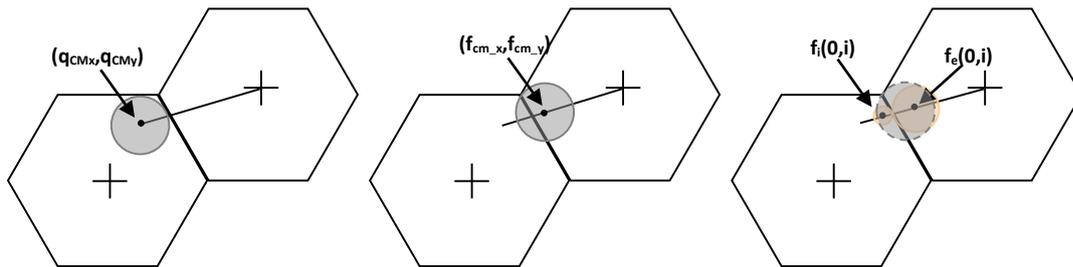
Una volta determinato il CM del flusso $f(0,i)$, si determina il cerchio C di centro (f_{cm_x}, f_{cm_y}) e raggio d_{min} , tale cerchio si suppone contenga tutto il flusso $f(0,i)$ appena generato (è come se la densità di questo flusso avesse un “raggio di propagazione” uguale a quello dell’intera massa).

Si possono presentare tre casi:

CASO1: Il cerchio C è in parte contenuto nella cella 0 ed in parte contenuto nella cella i , ciò determina la creazione di un *flusso interno* e di un *flusso esterno*.

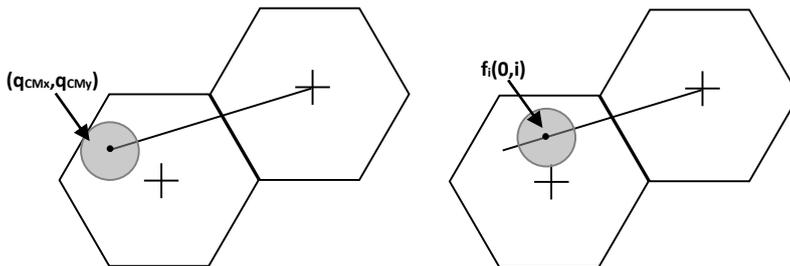
Si segnino con $(c_{i,x}, c_{i,y})$ e $(c_{e,x}, c_{e,y})$ rispettivamente i centri delle palline che rappresentano la parte del cerchio che rimane nella cella 0 e la parte del cerchio che invade la cella i , in seguito in pseudo codice sono descritti i calcoli per determinare queste quantità in modo preciso: con ovviamente: $f(0,i) = f_i(0,i) + f_e(0,i)$;

Fig. 6A



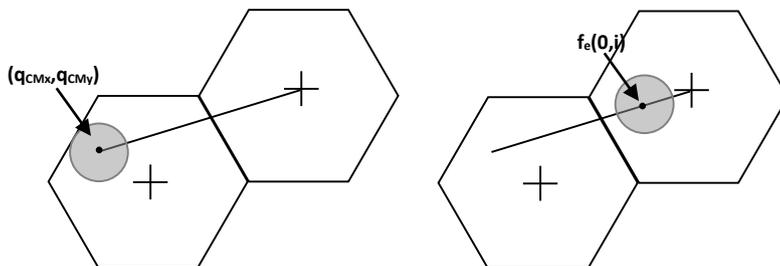
CASO 2: il cerchio C è tutto contenuto nella cella 0

Fig. 6B



CASO 3: il cerchio C è tutto contenuto nella cella i ,

Fig. 6C



CASO 1	CASO 2	CASO 3
$f_i(0,i)= f(0,i)\cdot(2\cdot\text{raggio}_i)/(2\cdot d_{\text{min}})$;	$f_i(0,i)= f(0,i)$;	$f_i(0,i)=0$;
$f_e(0,i)= f(0,i)\cdot(2\cdot\text{raggio}_e)/(2\cdot d_{\text{min}})$;	$f_e(0,i)= 0$;	$f_e(0,i)= f(0,i)$;
$C_{i_x}= C_{i_x}$;	$C_{i_x}=f_{cm_x}$;	$C_{i_x}=0$;
$C_{i_y}= C_{i_y}$;	$C_{i_y}=f_{cm_y}$;	$C_{i_y}=0$;
$C_{e_x}= C_{e_x}$;	$C_{e_x}=0$;	$C_{e_x}=f_{cm_x}$;
$C_{e_y}= C_{e_y}$;	$C_{e_y}=0$;	$C_{e_y}=f_{cm_y}$;

Una volta stabiliti i flussi si combinano opportunamente i loro baricentri per determinare le nuove posizioni del CM nel seguente modo:

$$new_q_{cmx}(0) = \frac{\left(q_h(0) - \sum_{i=1}^6 f(0,i) \right) q_{cmx}(0) + \sum_{i=1}^6 f_i(0,i) c_{i_x} + \sum_{i=1}^6 f_e(0,i) c_{e_x}}{q_h(0) - \sum_{i=1}^6 f_e(0,i)}$$

$$new_q_{cmx}(0) = \frac{\left(q_h(0) - \sum_{i=1}^6 f(0,i) \right) q_{cmx}(0) + \sum_{i=1}^6 f_i(0,i) c_{i_x} + \sum_{i=1}^6 f_e(0,i) c_{e_x}}{q_h(0) - \sum_{i=1}^6 f_e(0,i)}$$

$$new_q_{cmx}(0) = \frac{\left(q_h(0) - \sum_{i=1}^6 f(0,i) \right) q_{cmx}(0) + \sum_{i=1}^6 f_i(0,i) c_{i_x} + \sum_{i=1}^6 f_e(0,i) c_{e_x}}{q_h(0) - \sum_{i=1}^6 f_e(0,i)}$$

Con

$$new_q_h(0) = q_h(0) - \sum_{i=1}^6 f_e(0,i)$$

σ₃: BILANCIO ENERGETICO

Si consideri ora l'aggiornamento dell'Energia Totale.

Nella cella 0, si determina la quantità di detrito, q_{h_d} , che viene distribuita alle celle vicine.

$$q_{h_d} = \sum_{i=1}^6 f_e(0,i)$$

Si consideri il punto $CM_q_{h_d}=q_z+q_{hk}+q_{h^-}(q_{h_d}/2)$, fig.3.7, esso rappresenta il centro (rispetto alla quota) di tutta la quantità che viene distribuita, l'Energia totale E è

aggiornata rispetto a questa altezza, essa è rappresentata dalla somma fra l'energia potenziale e l'energia cinetica espressa (in termini di h_k)

$$E = \rho_m g A \int_z^{z+h} z dz + \frac{1}{2} m v^2 =$$

Dove ρ_m rappresenta la densità della frana, g l'accelerazione di gravità (ovviamente g viene sostituita con g' nel caso in cui il fenomeno evolve nell'acqua) ed A l'area occupata dalla frana (in questo caso specifico A è l'area della cella), h lo spessore di detrito, z la quota, m la massa e v la velocità; risolvendo l'integrale e considerando che la velocità può anche essere espressa in funzione di h_k ($v^2=2gh_k$), si ha:

$$E = \frac{\rho_m g A}{2} (h^2 + 2zh) + \rho_m A h g h_k = \rho_m g A h \left(\frac{h}{2} + z + h_k \right);$$

In assenza di forze dissipative l'Energia totale si conserva, se quindi esiste un flusso esterno da una cella 0 verso una cella i , l'Energia totale relativa a questo flusso $E_f(0,i)$, viene sottratta alla cella 0 e contemporaneamente viene aggiunta alla cella i .

Riassumendo:

- si considera la cella 0 con il proprio detrito da distribuire q_{h_d} e la sua energia totale q_E
- si calcolano i flussi esterni verso le celle vicine i , fig.3.7;
- per ogni flusso esterno si calcola l' energia (cinetica più potenziale), $E_f(0,i)$:
- si aggiorna l'Energia totale nella cella 0 e nella cella i , in base al nuovo contributo $E_f(0,i)$
- infine, in relazione alla nuova Energia totale di ogni cella, si aggiorna il valore dell'altezza cinetica (o meglio dell'energia cinetica):

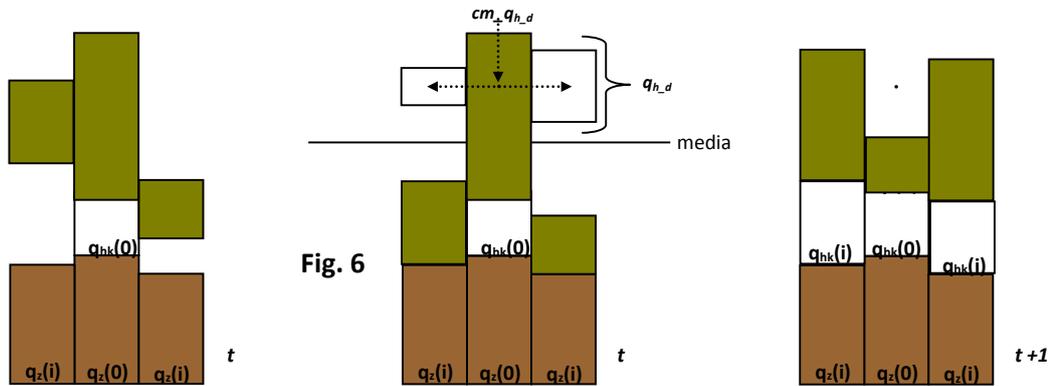


Fig. 7. Visualizzazione della sequenza di calcolo.

Tutti questi passaggi sopra descritti vengono eseguito solo se lo spessore di detrito nella cella supera il valore di detrito aderente, in caso contrario infatti, se la quantità è molto piccola allora si può immaginare ferma ($h_k=0$).

In pseudo_codice:

Se $q_h(0) > p_{x_aderenza}$

se (0) ed (i) sono in aria

$$E_f(0, i) = \rho_m g A f_e(0, i) \left(\left[q_z(0) + q_{hk}(0) + q_h(0) + \frac{q_{h-d}(0)}{2} \right] \right)$$

altrimenti se (0) ed (i) sono in acqua

$$E_f(0, i) = \rho_m g' A f_e(0, i) \left(\left[q_z(0) + q_{hk}(0) + q_h(0) + \frac{q_{h-d}(0)}{2} \right] \right)$$

$$new_q_E(0) = q_E(0) - E_f(0, i)$$

$$new_q_E(i) = q_E(i) + E_f(0, i)$$

$$new_q_{hk} = \frac{new_q_E}{new_q_h} - new_q_z - new_q_h;$$

altrimenti

$$new_q_{hk}(0) = 0;$$

$$new_q_E(0) = \rho_m g A q_h(0) \left(\frac{q_h(0)}{2} + q_z(0) \right)$$

Ulteriori considerazioni devono essere fatte se la cella che distribuisce, cella 0 , è di natura diversa dalla cella ricevente, cella i . In particolare se la cella 0 è nell'aria e la cella i è nell'acqua (zona dell'interfaccia), questa ultima non riceverà tutto il flusso uscente dalla cella 0 , ma bensì una parte relativa alla percentuale di detrito (attinente al parametro $\rho_{perdita}$) che può perdersi nel passaggio fra aria e acqua, con conseguente calcolo dell'energia dovuto solo alla parte di flusso che realmente raggiunge la cella vicina i . In pseudocodice:

se cella 0 è nell'aria e cella i è nell'acqua

$$f_{e_decurtato}(0,i) = f_e(0,i) \times \rho_{perdita}$$

$$E_f(0,i) = \rho_m g A f_e(0,i) \left(\left[q_z(0) + q_{hk}(0) + q_h(0) + \frac{q_{h_d}(0)}{2} \right] \right)$$

$$new_q_E(0) = q_E(0) - E_f(0,i)$$

$$E_{f_decurtato}(0,i) = \rho_m g' A f_{e_decurtato}(0,i) \left(\left[q_z(0) + q_{hk}(0) + q_h(0) + \frac{q_{h_d}(0)}{2} \right] \right)$$

$$new_q_E(i) = q_E(i) + E_{f_decurtato}(0,i)$$

Dove il contributo dell'energia che arriva nella cella i viene stabilito in base all'accelerazione g' che è quella relativa all'acqua. Questo meccanismo permette un'ulteriore perdita di energia del flusso uscente.

σ_4 : DISSIPAZIONE DELL'ENERGIA PER TURBOLENZA

Fin qui, l'Algoritmo determina i flussi $f(0,i)$ ($i=0,1, \dots, 6$).

Per ogni "flusso minimizzante" $q_0(0,i)$, è calcolata

- la pendenza relativa allo spostamento del centro di massa del flusso stesso $\theta = \arctg(\Delta cm / dislivello)$,
- la variazione dell'energia totale relativa alla parte del flusso che riesce a portarsi nella cella vicina i
- ed infine il conseguente cambiamento del valore di q_{hk} in correlazione alla modifica dell'Energia totale di cui sopra.

Le frane di tipo “debris flow” sono fenomeni turbolenti e in quanto tali sono soggetti a dissipazioni energetiche (es. diminuzione della velocità), questa peculiarità, nel modello, viene gestita nel seguente modo:

- per ogni cella si calcola il carico cinetico new_q_{hk} (calcolata nella 3)
- per ogni cella, inoltre, new_q_{hk} viene diminuita di una percentuale pari al parametro $p_{x_pe_t}$, e con essa ovviamente diminuisce l’Energia totale nella cella:

$$new_q_{hk} = new_q_{hk} \cdot p_{x_pe_t}$$

$$new_q_E = new_q_h \left(new_q_z + new_q_{hk} + \frac{new_q_h}{2} \right)$$

Il parametro $p_{x_pe_t}$, in seguito denominato p , è legato al passo temporale dell’AC ed al parametro p_{v_max} , velocità “massima”, della frana. Esso rappresenta in percentuale, la perdita d’energia per turbolenza, relativa al carico cinetico new_q_{hk} , espresso dalla (4). La perdita d’energia per turbolenza relativa al carico cinetico h_k , può anche essere espresso nel seguente modo:

$$new_q_{hk} = new_q_{hk} \cdot p^2 \quad \text{con} \quad 0 \leq p < 1$$

Per meglio capire la dipendenza di p con gli altri parametri sopra menzionati si consideri il quadrato della velocità v nell’aria (per la formula vedere appendice ove $sen\theta$ viene approssimato opportunamente).

Il calcolo del quadrato è legato alla determinazione di h_k , infatti è proporzionale al quadrato della velocità ($h_k = v^2/2g = k v^2$). L’espressione relativa a v , è data da:

$$v = (v_i + g \Delta t)$$

$$new_h_k = new_h_k \cdot p^2 = k (v_i + g \Delta t)^2 \cdot p^2 \Rightarrow$$

$$new_h_k = k (new_v)^2 = k v^2 \cdot p^2;$$

dove new_v rappresenta l’espressione di v ridotta dalla perdita di energia per turbolenza.

Questa formula può essere incrementata fino al raggiungimento della velocità “massima” (p_{a_vmax}), in conti:

$$v_0 = 0; \quad new_v_0 = 0; \quad new_v_1 = (g \Delta t p);$$

$$v_2 = new_v_1 + g \Delta t; \Rightarrow new_v_2^2 = (new_v_1 + g \Delta t)^2 \cdot p^2; \Rightarrow new_v_2 = (g \Delta t) \cdot (p + p^2);$$

$$v_3 = new_v_2 + g \Delta t; \Rightarrow new_v_3^2 = (new_v_2 + g \Delta t)^2 \cdot p^2; \Rightarrow new_v_3 = (g \Delta t) \cdot (p + p^2 + p^3);$$

$$v_n = new_v_n + g \Delta t; \Rightarrow new_v_n^2 = new_v_n = g \Delta t \cdot (p + p^2 + p^3 + \dots + p^n);$$

la velocità “massima” è raggiunta quando $n \rightarrow +\infty$ nella formula

$$v_{\max} = g \Delta t \sum_{n=1}^{+\infty} p^n = g \Delta t \frac{p}{1-p}$$

Per cui
$$p = \frac{v}{v + g \Delta t}$$

in termini di parametri dell'AC è equivalente a:
$$p_{x-pe-t} = \frac{P_{v-max}}{P_{v-max} + g P_t}$$

Inoltre in relazione a p_{v-max} viene calcolata $h_{k-max} = p_{v-max}^2 / 2g$, se dopo la dissipazione risulta ancora $new_q_{hk} > h_{k-max}$, si attribuisce a q_{hk} il valore massimo, h_{k-max} , e si aggiorna di conseguenza anche l'Energia totale, rispetto a h_{k-max} .

ATTIVITÀ ELEMENTARE 4.3.3

Verifiche di SCIDDICA $\delta 1$ in situazioni ideali

A titolo esemplificativo si riportano qui alcune simulazioni su casi ideali con brevi commenti. I risultati ottenuti, sia a livello di area ricoperta dalla frana ipotetica, sia a livello di velocità raggiunta, hanno dimostrato che il modello risponde bene in particolari situazioni ideali.

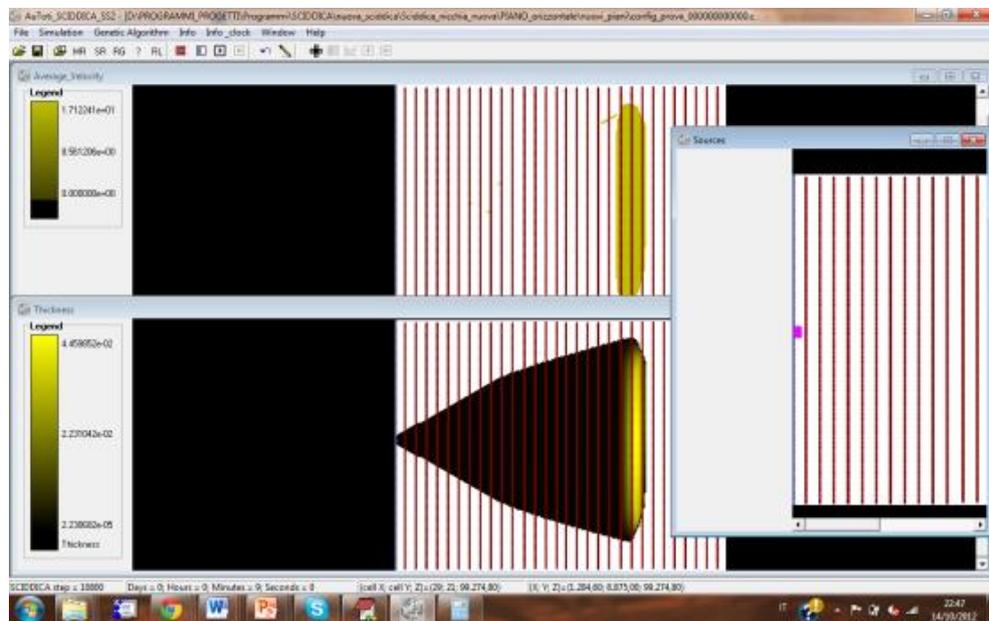


Fig. 8 Simulazione su un piano inclinato di 30° con clock pari a 0.05s e nicchia di distacco posizionata su pìù righe. Tempo rappresentato 9 minuti.

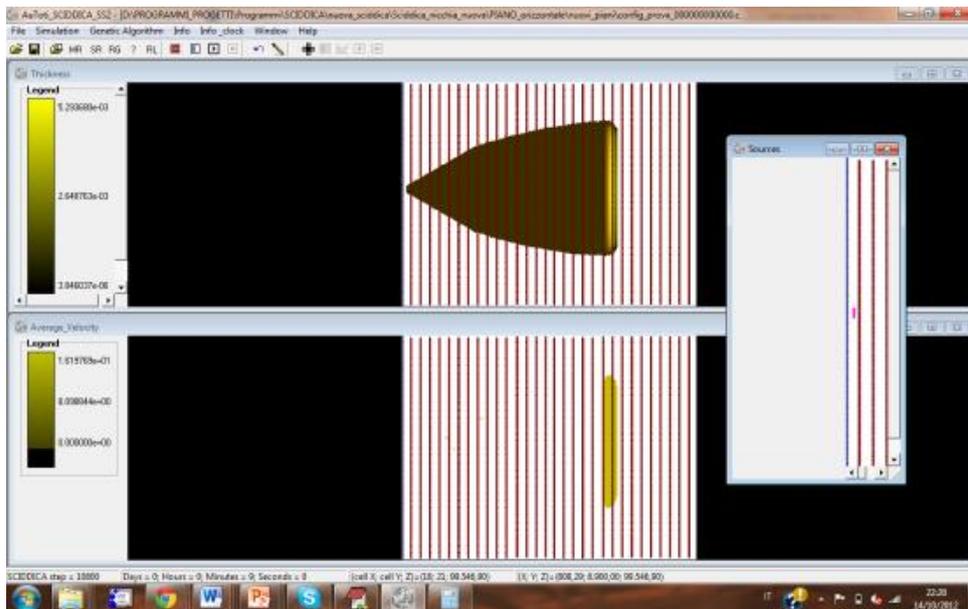


Fig. 9 Simulazione su un piano inclinato di 30° con clock pari a 0.05s e nicchia di distacco posizionata su una sola riga. Tempo rappresentato 9 minuti.

Per meglio calibrare il modello in situazioni ideali sono state fatte, inoltre, delle prove per verificare sperimentalmente la “scalabilità temporale”, variando il passo temporale dell’AC e lasciando a zero tutti gli altri parametri. Le simulazioni ottenute (a parità di tempo trascorso) si sono mostrate abbastanza confrontabili. La “scalabilità temporale” di cui si parla fa riferimento a simulazioni dove le perdite di energia e gli attriti sono nulli.

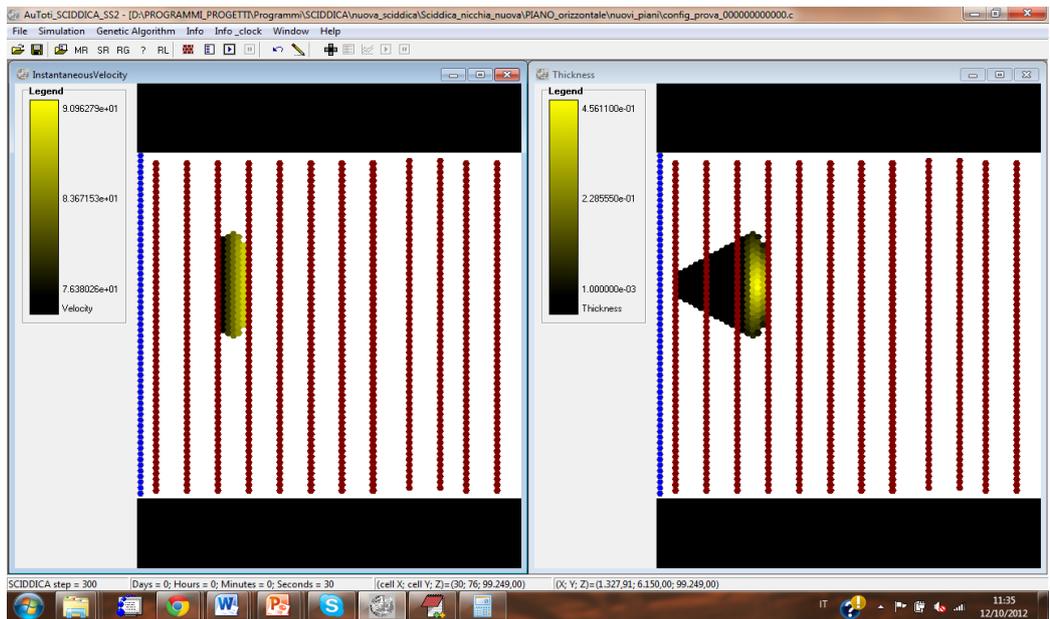


Fig. 10 Simulazione bloccata a 30 s, su un piano inclinato di 30° con passo temporale di 0.1s

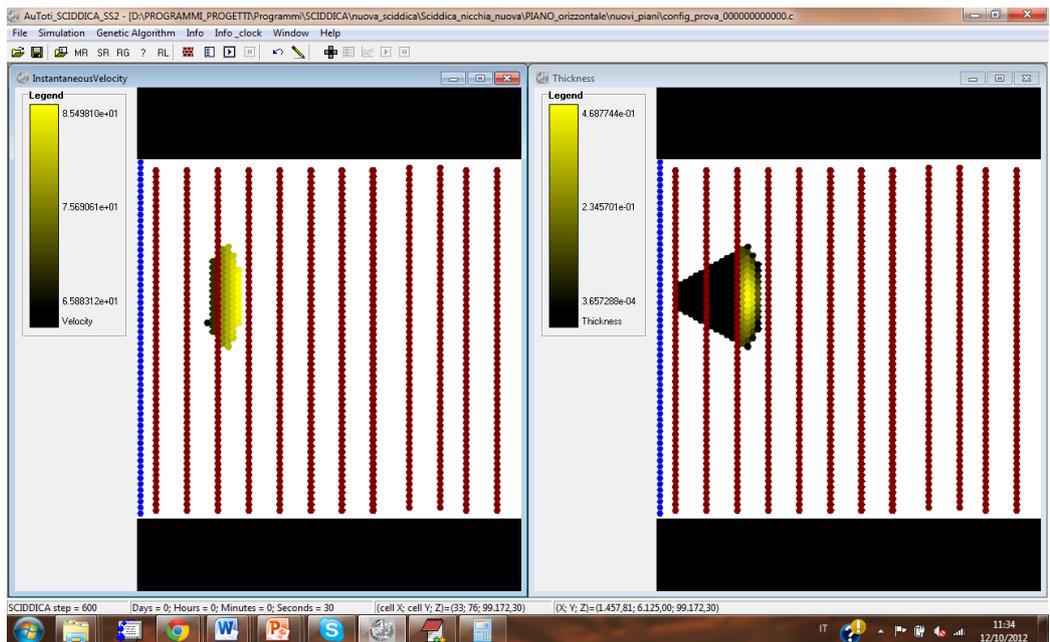


Fig.11 Simulazione bloccata a 30s, su un piano inclinato di 30° con passo temporale di 0.05s

Per meglio calibrare il modello in situazioni ideali sono state fatte, inoltre, delle prove per verificare sperimentalmente la “scalabilità temporale”, variando il passo temporale dell’AC e lasciando a zero tutti gli altri parametri. Le simulazioni ottenute (a parità di tempo trascorso) si sono mostrate abbastanza confrontabili. La “scalabilità temporale” di cui si parla fa riferimento a simulazioni dove le perdite di energia e gli attriti sono nulli.

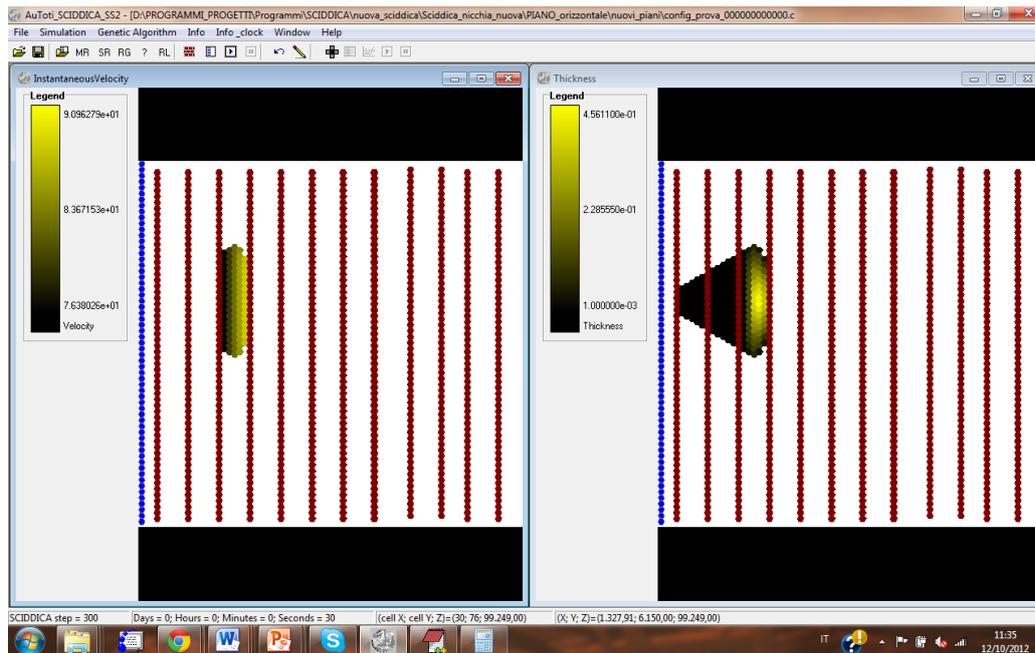


Fig.12 Simulazione bloccata a 30 s, su un piano inclinato di 30° con passo temporale di 0.1s

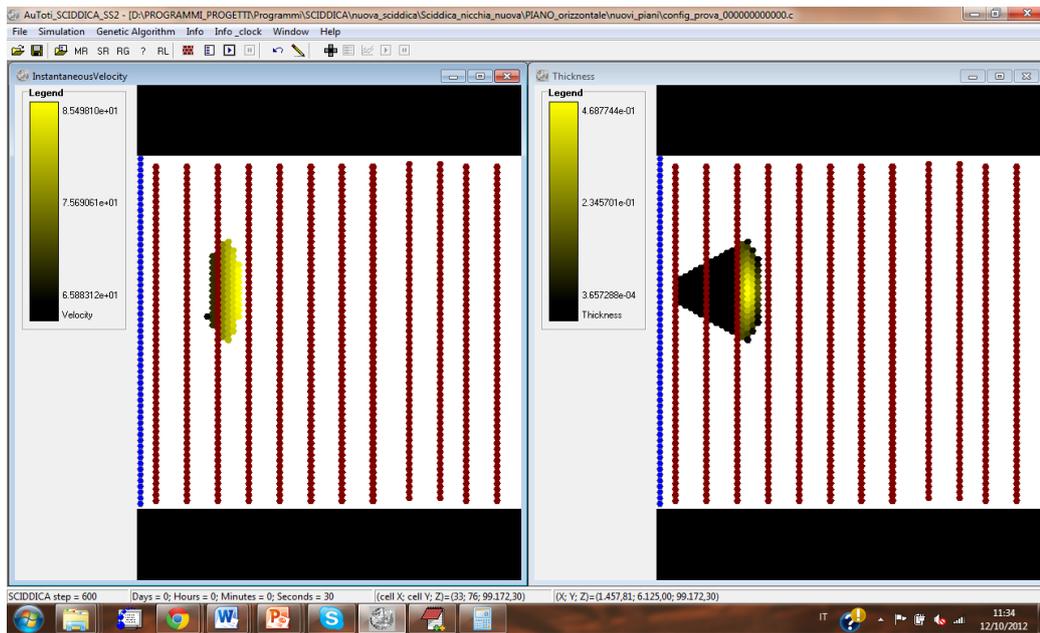


Fig.13 Simulazione bloccata a 30 s, su un piano inclinato di 30° con passo temporale di 0.05s

Si sono fatte le prime verifiche di simulazione con interazioni con realizzazioni di opere di deviazione o di contenimento (muri di sostegno, pile di ponti, etc.)

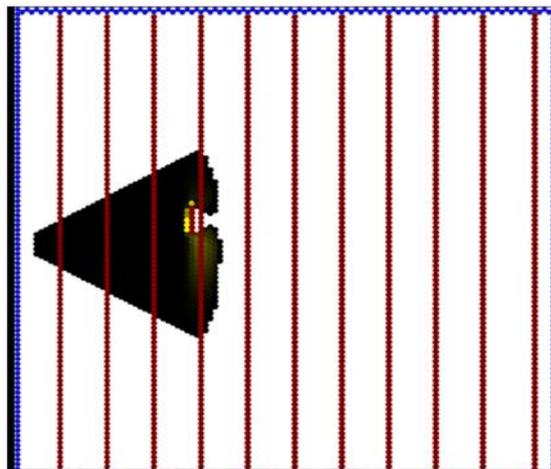


Fig.14 Simulazione con colata che interagisce con un muro di contenimento (caso ideale)

Calibrazione e Validazione di SCIDDICA SS3 su casi di studio noti

SCIDDICA $\delta 1$ è stato calibrato su vari eventi reali, qui viene presentata la simulazione di un evento reale i cui dati si conoscono con molta precisione: la frana in prossimità del lago di l'Albano del 1997 (Roma, Italia) [Mazzanti et al.,2007].

Tale frane è un caso di combinato subaereo-subacqueo debris-flow. La frana si è verificato nel versante orientale del lago Albano il 7 novembre 1997, dopo intense precipitazioni (128 mm in 24 ore), mobilitando circa 300 m³ di materiale fluviale. La massa mobilitata si è incanalata entro un impluvium ripido (circa 40 °), e si è evoluta come una colata che ha trascinato una grande quantità di materiali residui lungo il fondo del canale raggiungendo un volume stimato di alcune migliaia di metri cubi sulla costa. Una parte del materiale si è depositato presso la costa, mentre una quantità maggiore è entrata in acqua generando una piccola onda tsunami.

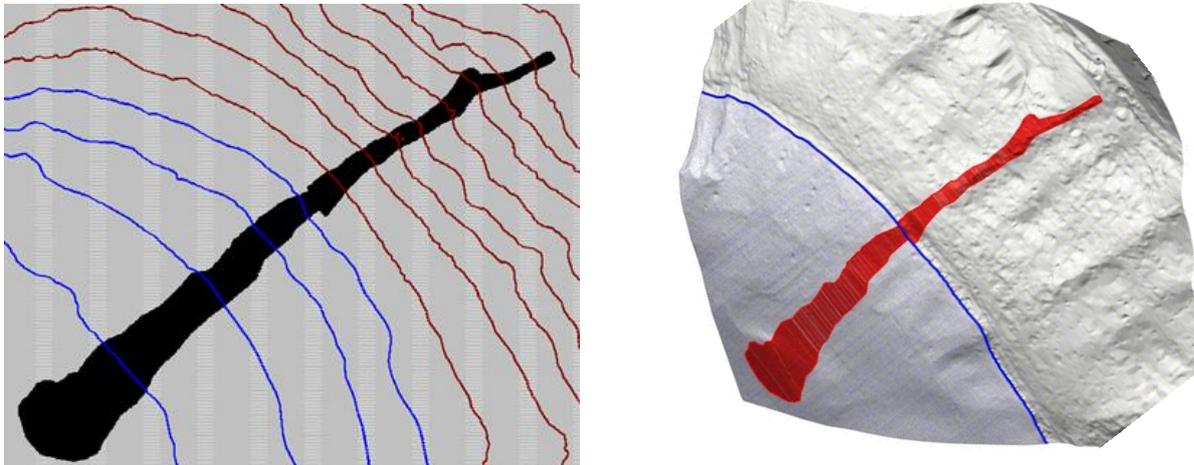


Fig.15 Rappresentazioni della frana reale di Albano, 1997 percorso e curve di livello

Di seguito in dettaglio le fasi di una simulazione della frana reale di Albano, 1997: al l passo considerato in alto a sinistra erosione del suolo, a destra massimo spessore di detrito passato nelle celle, in basso a sinistra massima velocità di detrito passato nelle celle, a destra spessore di detrito attuale.

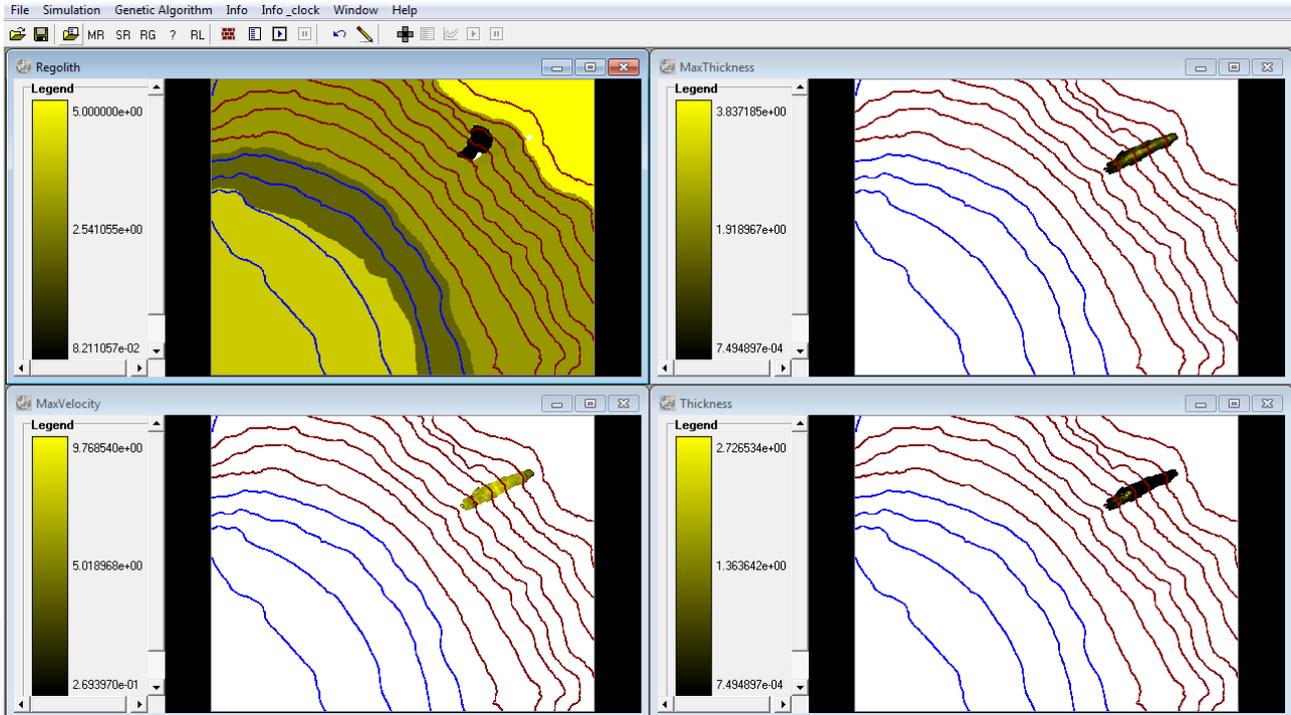


Fig.16 30 secondi

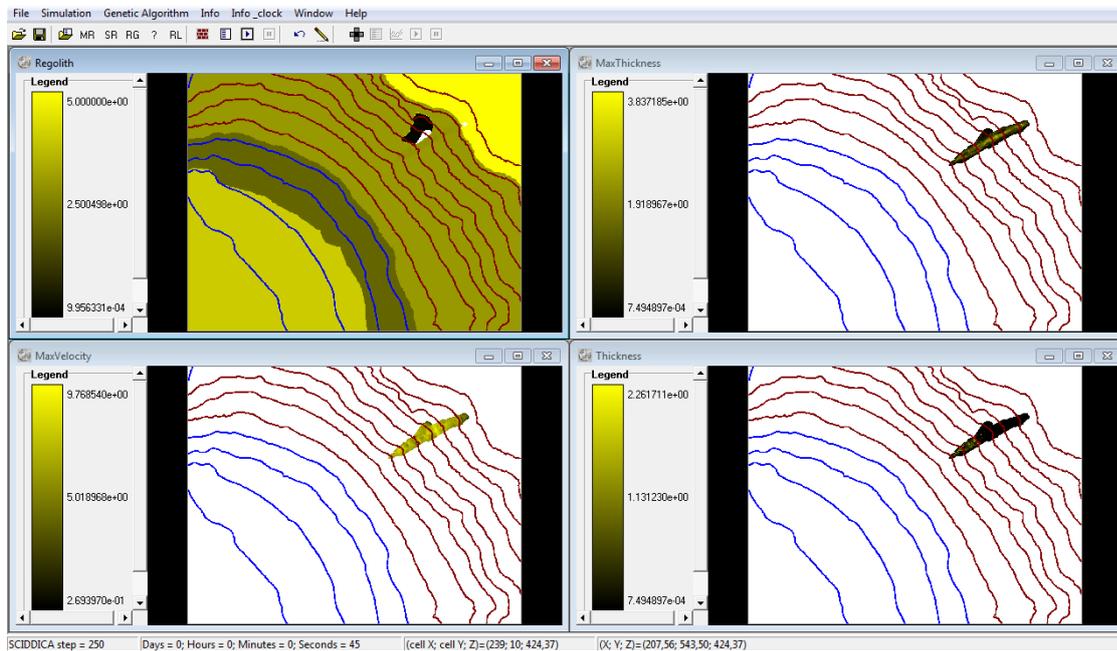


Fig.17 45 secondi

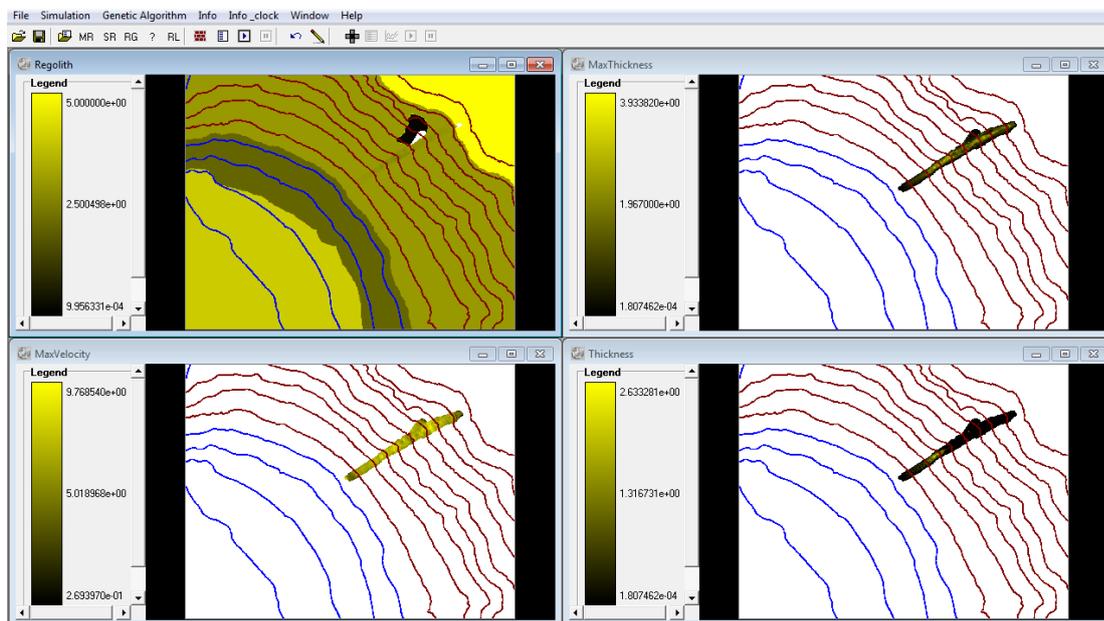


Fig.17 60 secondi

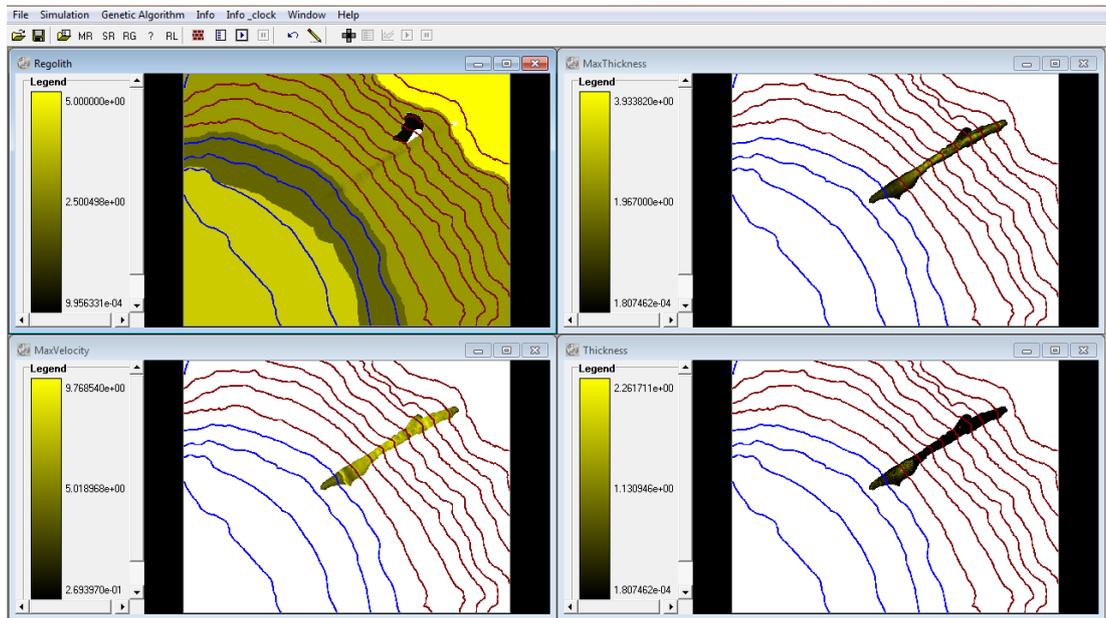


Fig.18 1 minuto e 30 secondi

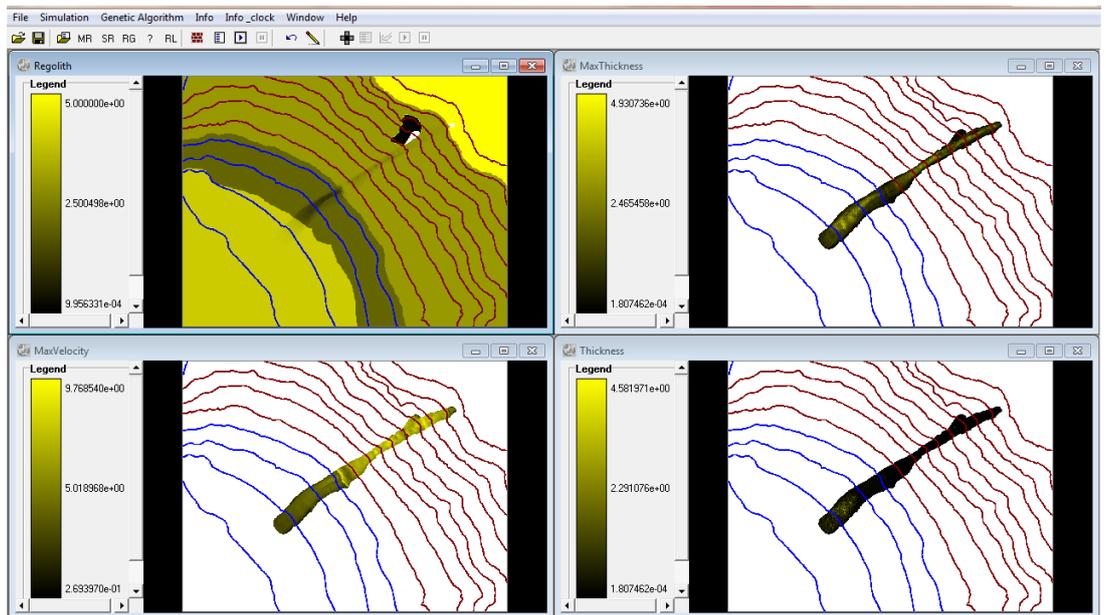


Fig.19 2 minuti

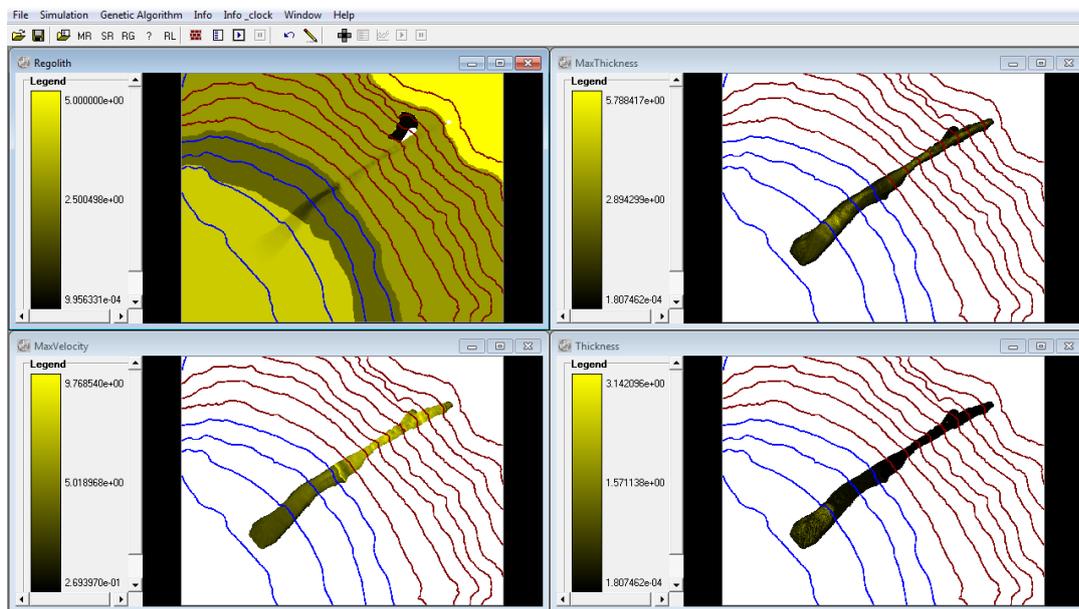


Fig.20 2 minuti e 30 secondi

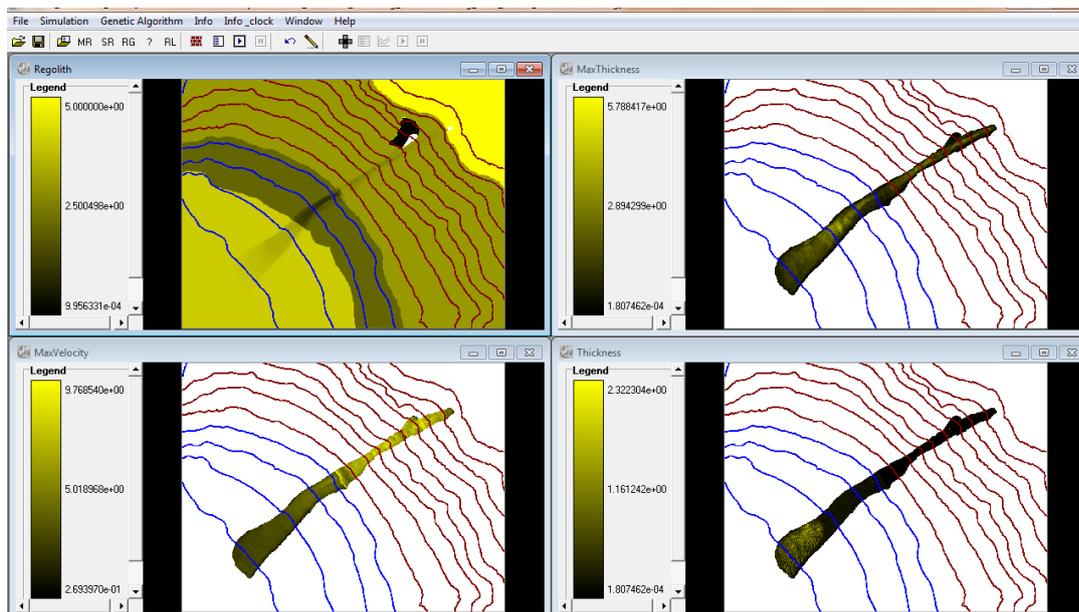


Fig.21 3 minuti

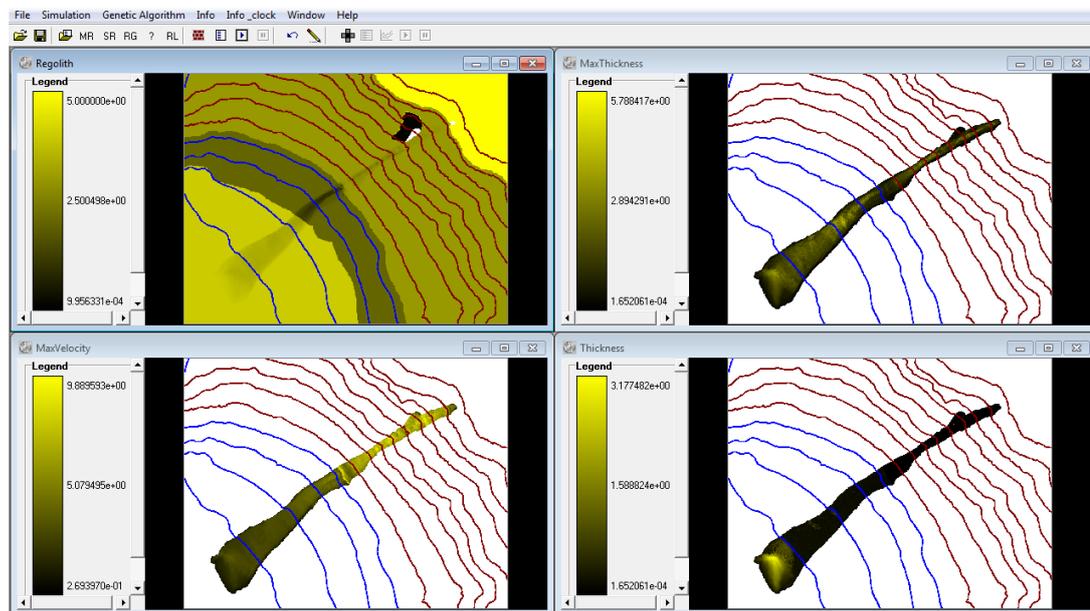


Fig. 22 3 minuti e 30 secondi

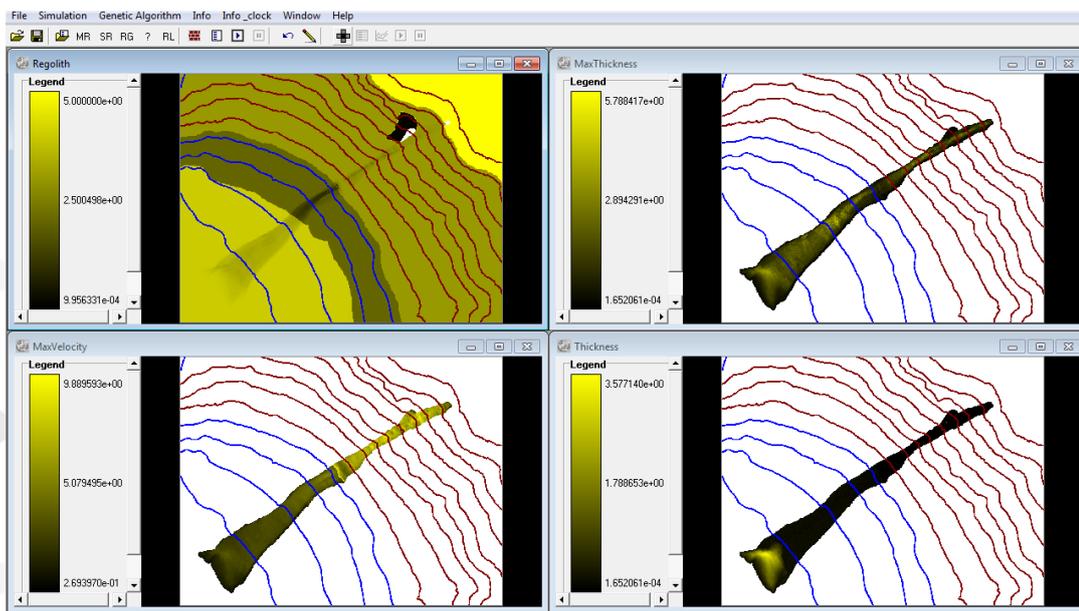


Fig.23 passo finale corrispondente a 4 minuti e 30 secondi

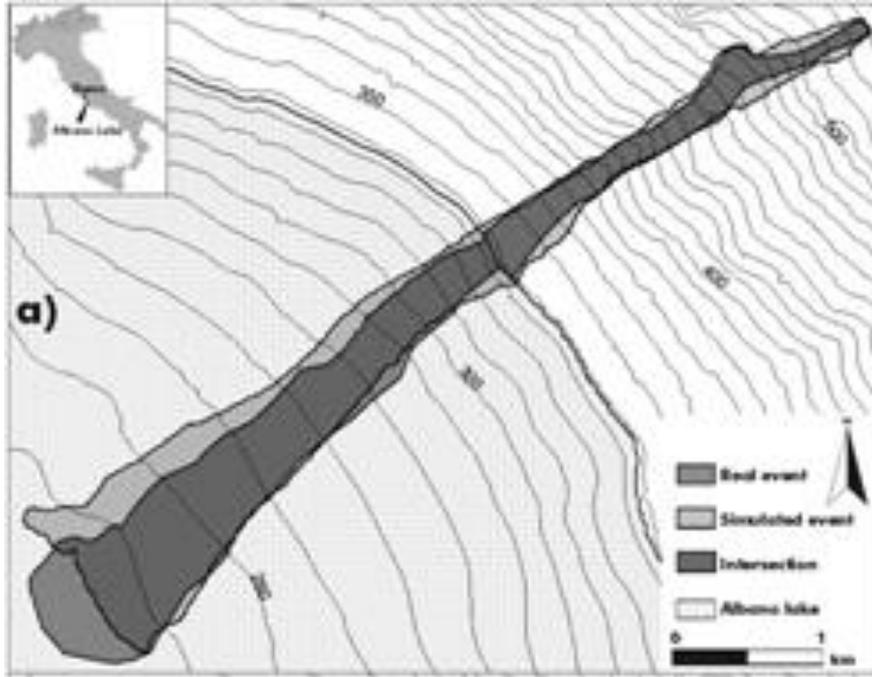


Fig.24 confronto reale – simulata: $\sqrt{\frac{|R \cap S|}{|R \cup S|}} = 0,82$.

Migliorie della funzione di transizione di SCIDDICA SS3

Uno dei problemi, che si sarebbero posti, riguarda l'invasione della colata di detrito nell'area urbana. Difficilmente si è in grado di approssimare significativamente gli edifici nella tassellazione esagonale ai fini di ottenere corretti valori dei flussi, anche perché un tale dettaglio si dovrebbe estendere dappertutto nello spazio cellulare, ponendo severi problemi di tempi di esecuzione del programma, oltre che di precisione.

Il problema è aggravato dal fatto che generalmente il valore di quota di una cella è il valor medio dell'area che rappresenta, per cui una estensione urbana si presenta come una sorta di collina il cui valore delle quote è a mezzo fra la quota del suolo e l'altezza delle case.

In tale situazione le simulazioni possono dar luogo ad errori pesanti, perdendo il modello di efficacia, laddove risulta essere rilevante la precisione.

Una possibile soluzione a questo problema consisterebbe in una estensione dell'AMD, che tenga conto di celle disomogenee aventi due quote diverse, la quota relativa al piano stradale ed una quota relativa al valor medio (minimo, massimo) delle altezze delle case, riferite alle corrispondenti porzioni di area della cella. Ovviamente ciò che vien fatto per due quote può essere esteso per maggior precisione a qualsivoglia numero di valori di quota di una cella, tanti quanti le case presenti nella cella più il valore di quota del suolo.

La soluzione proposta è qui sotto riportata: per ogni cella vengono considerate al più due parti a valori di quote (più in generale di q) diverse e le parti della cella (in percentuale areale a) che corrispondono alle quote; la normalizzazione dei valori in termini di altezza, tenendo conto che l'area della cella è costante, può essere mantenuta solo utilizzando un fattore correttivo, cioè le percentuali areali.

L'algoritmo AMD è stato riscritto ed esteso sulla falsariga del precedente: è importante tener conto che i valori dei flussi non sono correlati alle percentuali areali $a_1, a_2 \ 0 \leq i < n$.

Ovviamente questa è una delle possibili scelte di riscrittura.

Una versione semplificata del seguente algoritmo AMD è stata utilizzata nella simulazione delle colate di detrito che hanno investito l'abitato di Giampileri (Lupiano et al., 2014).

4.3.5.A AMD IN CASO DI DISOMOGENEITA' AREALE A DUE VALORI

Definizioni: $n = \#X$;
 a_{i1} percentuale dell'area della cella i $0 \leq i < n$ riferibile alla zona 1;
 a_{i2} percentuale dell'area della cella i $0 \leq i < n$ riferibile alla zona 2;
 q_{d1} = quantità 1 (in altezza) distribuibile della cella centrale;
 q_{d2} = quantità 2 (in altezza) distribuibile della cella centrale;
 q_{01} = quantità 1 (in altezza) non distribuibile della cella centrale;
 q_{02} = quantità 2 (in altezza) non distribuibile della cella centrale;
 q_{i1} = quantità 1 (in altezza) della cella i $1 \leq i < n$;
 q_{i2} = quantità 2 (in altezza) della cella i $1 \leq i < n$;
 f_{01}' è la parte of q_{d1} che resta nella cella centrale;
 f_{02}' è la parte of q_{d2} che resta nella cella centrale;
 f_{i1}' = flusso dalla cella centrale verso la zona 1 della cella i $1 \leq i < n$;
 f_{i2}' = flusso dalla cella centrale verso la zona 2 della cella i $1 \leq i < n$;
 $q_{i1}' = q_{i1} + f_{i1}'/a_{i1} \quad 0 \leq i < n$;
 $q_{i2}' = q_{i2} + f_{i2}'/a_{i2} \quad 0 \leq i < n$;

Vincoli: $\sum_{0 \leq i < n} (f_{i1}' + f_{i2}') = q_{d1} a_{i1} + q_{d2} a_{i2} \quad 0 \leq i < n$; $a_{i1} + a_{i2} = 1, \quad 0 \leq i < n$;

Problema: $f_{i1}', f_{i2}' \quad 0 \leq i < n$ debbono essere determinati per minimizzare la somma di tutte le differenze in *altezza* fra tutte le zone di celle nel vicinato:

$$\sum_{\{(i,j)|0 \leq i < j < n\}} |q_{i1}' - q_{j1}'| + \sum_{\{(i,j)|0 \leq i < j < n\}} |q_{i2}' - q_{j2}'| + \sum_{\{(i,j)|0 \leq i < n \wedge 0 \leq j < n\}} |q_{i1}' - q_{j2}'|$$

Algoritmo:

- (a) ambedue le zone di tutte le celle del vicinato sono etichettate "ammissibili" a ricevere flussi dalla cella centrale: A è l'insieme delle zone "ammissibili"
- (b) la "media pesata di q " rispetto alle aree ($media_q$) è trovata per l'insieme A :
 $media_q = (q_{d1} a_{01} + q_{d2} a_{02} + \sum_{i1 \in A} (q_{i1} a_{i1}) + \sum_{i2 \in A} (q_{i2} a_{i2})) / (\sum_{i1 \in A} a_{i1} + \sum_{i2 \in A} a_{i2})$.
- (c) la zona 1 (2) della cella x con $q_{x1} > media_q$ ($q_{x2} > media_q$) viene esclusa da A
- (d) finché qualche cella viene esclusa, vai al passo (b).
- (e) calcolo dei flussi minimizzanti: $f_{i1}' = (media_q - q_{i1}) a_{i1} \quad i1 \in A$; $f_{i1} = 0 \quad i1 \notin A$
 $f_{i2}' = (media_q - q_{i2}) a_{i2} \quad i2 \in A$; $f_{i2} = 0 \quad i2 \notin A$

Congruità: $\sum_{i1 \in A} f_{i1}' + \sum_{i2 \in A} f_{i2}' = \sum_{i1 \in A} (\text{media}_q - q_{i1}) a_{i1} + \sum_{i2 \in A} (\text{media}_q - q_{i2}) a_{i2} =$
 $(\sum_{i1 \in A} a_{i1} + \sum_{i2 \in A} a_{i2}) (q_{d1} a_{01} + q_{d2} a_{02} + \sum_{i1 \in A} (q_{i1} a_{i1}) + \sum_{i2 \in A} (q_{i2} a_{i2})) / (\sum_{i1 \in A} a_{i1} + \sum_{i2 \in A} a_{i2}) + (-\sum_{i1 \in A} q_{i1} + \sum_{i2 \in A} q_{i2}) = q_{d1} a_{01} + q_{d2} a_{02}$

Proprietà: P1a: $q_{i1}' = f_{i1}' / a_{i1} + q_{i1} = (\text{media}_q - q_{i1}) a_{i1} / a_{i1} + q_{i1} = \text{media}_q$ per $i1 \in A$

P1b: $q_{i2}' = f_{i2}' / a_{i2} + q_{i2} = (\text{media}_q - q_{i2}) a_{i2} / a_{i2} + q_{i2} = \text{media}_q$ per $i2 \in A$

P2: $q_{i1}' = q_{i1}$ in quanto $f_{i1}' = 0$, $i1 \notin A$; $q_{i2}' = q_{i2}$ in quanto $f_{i2}' = 0$, $i2 \notin A$

Ricalibrazione del modello di SCIDDICA SS3 su casi noti

Si è passato ad una ricalibrazione del modello su alcune frane reali allo scopo di confrontare le differenze fra caso reale e risultato simulato, e anche, ai fini di una migliore valutazione, introducendo alterazioni alla morfologia rappresentanti opere di protezione tenendo conto che in questi casi non si ipotizzano possibili rotture di tali opere. Inoltre, al di là della funzione di fitness, si è valutato, anche se con dati parziali, altri termini di confronto quali la velocità ed gli spessori di deposito.

In fig.25 una nuova simulazione con spessori di deposito aderenti meglio ai valori reali conosciuti

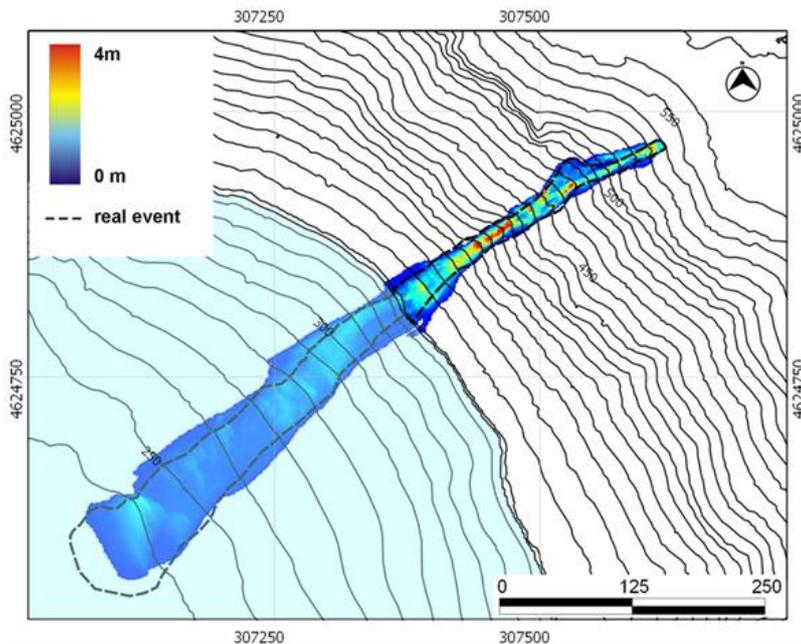


Fig.25 Confronto reale – simulata con spessori meglio aderenti ai valori reali conosciuti.

Di seguito la stessa area con alterazioni riguardanti la presenza di piloni (fig. 26) e la presenza di barriere di contenimento: in fig.27 con barriera, alta 10 m. e lunga 5 m., mentre in fig. 28, le parti si invertono.

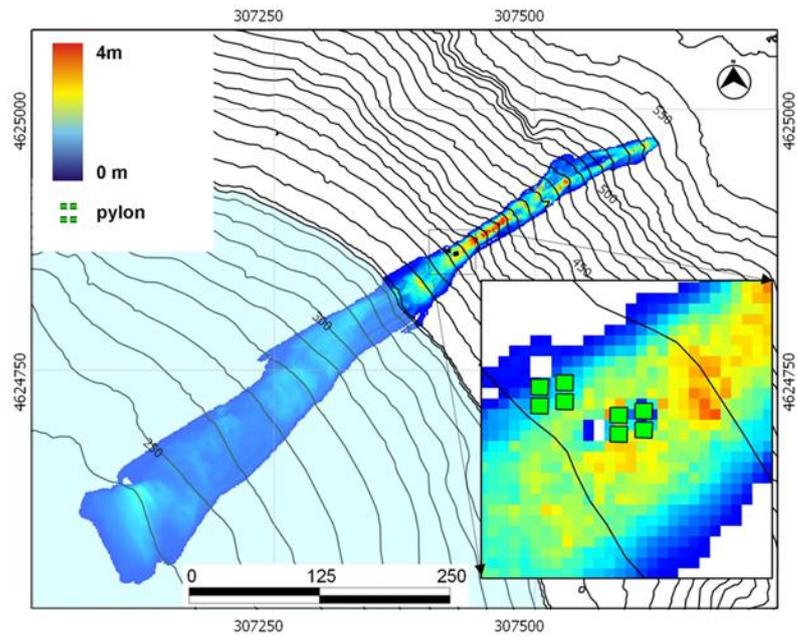


Fig.26 *Morfologia alterata da piloni.*

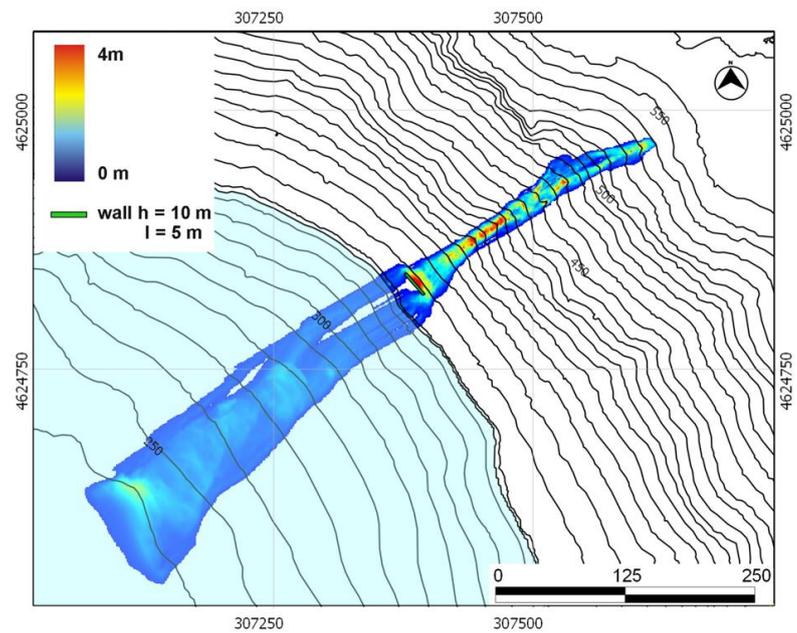


Fig.27 *Morfologia alterata da una barriera alta 10 m ed lunga 5 m.*

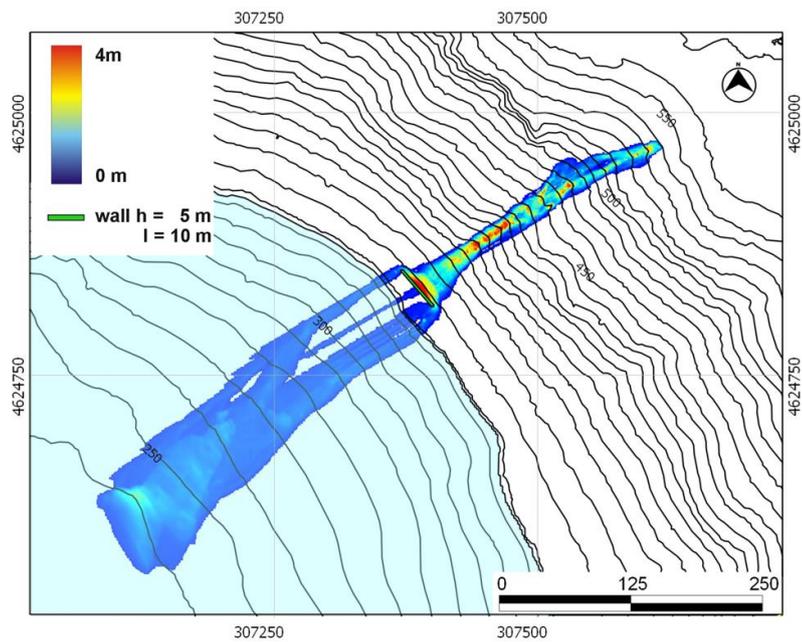


Fig.28 Morfologia alterata da una barriera alta 5 m ed lunga 10 m.

Riferimenti bibliografici

Avolio, M.V., Di Gregorio, S., Mantovani, F., Pasuto, A., Rongo, R., Silvano, S., Spataro, W.: Simulation of the 1992 Tessinalandslide by a Cellular Automata model and future hazard scenarios. JAG (International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation) 2(1), 41–50 (2000)

Avolio, M.V., Crisci, G.M., Di Gregorio, S., Rongo, R., Spataro, W., Trunfio, G.A.: SCIARA γ 2: an improved Cellular Automata model for Lava Flows and Applications to the 2002 Etnean crisis. Computers & Geosciences 32, 897–911 (2006)

Avolio Maria Vittoria, Lupiano Valeria, Mazzanti Paolo, Di Gregorio Salvatore - An advanced Cellular Model for Flow-type Landslide with Simulations of Subaerial and Subaqueous cases – EnviroInfo 2009, Environmental Informatics and industrial Environmental Protection: Concepts, Methods and Tools, Proc. of the 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection, V.Wohlgemuth, Bernd Page, Kristina Voigt ed.s, September 09-11,2009, HTW Berlin, University of Applied Sciences, Germany, ISBN 978-3-8322-8397-1, Vol. 1, pp131-140, 2009

Avolio M.V., S. Di Gregorio, V. Lupiano, P. Mazzanti, and W. Spataro.(2010). Application context of the SCIDDICA model family for simulations of flow-like landslides. Proceedings of The 2010 International Conference on Scientific Computing, 6 July 12-15, 2010, Las Vegas, Nevada, USA, pp. 40-46, CSREA Press 2010, ISBN 1-60132-137.

Avolio M.V., Di Gregorio S., Lupiano V., Mazzanti P., Spataro W.,(2012). SCIDDICA-SS3: A New Cellular Automata Model for Simulating Fast Moving Landslides. Proceedings of the International Conference on Scientific Computing, Las Vegas, USA, 2012, pp. 98-104. CSREA Press, USA. ISBN 1-60132-207-0

Maria V. Avolio, Salvatore Di Gregorio, William Spataro, Giuseppe A. Trunfio - A Theorem about the Algorithm of Minimization of Differences for Multicomponent Cellular

Automata - - G.C. Sirakoulis and S. Bandini (Eds.): ACRI 2012, (the Tenth International Conference on Cellular Automata for Research and Industry), LNCS 7495, 24-27 September, Fira, Santorini Island, Greece, pp. 279–288, 2012.

Barca, D., Crisci, G.M., Di Gregorio, S., Nicoletta, F.: Cellular Automata for simulating lava flows: a method and examples of the Etnean eruptions. *Transport Theory and Statistical Physics* 23(1-3), 195–232 (1994)

Clerici, A., Perego, S.: Simulation of the Parma River blockage by the Corniglio landslide (Northern Italy). *Geomorphology*, 33 (2000) 1-23

Crisci, G.M., Di Gregorio, S., Pindaro, O., Ranieri, S.A.: Lava flow simulation by a discrete cellular model: first implementation. *Int. Journal of Modelling and Simulation* 6, 137–140 (1986)

D'Ambrosio D., Di Gregorio S., Gabriele S., Gaudio R. - A Cellular Automata Model for Soil Erosion by Water - *Physics and Chemistry of the Earth, EGS, Part B, Vol. 26(1)* , pp. 33-39, 2001.

D'Ambrosio D., S. Di Gregorio, G. Iovine, V. Lupiano, L. Merenda, R. Rongo, W. Spataro - Simulating the Curti-Sarno Debris Flow through Cellular Automata: the model SCIDDICA (release S2) *Physics and Chemistry of the Earth* 27 1577-1585, 2002.

D'Ambrosio, D., Di Gregorio, S., Iovine, G., Lupiano, V., Rongo, R., Spataro, W.: First simulations of the Sarno debris flows through cellular automata modelling. *Geomorphology* 54(1-2), 91–117 (2003a)

D'Ambrosio D., S. Di Gregorio, G. Iovine - Simulating debris flows through a hexagonal cellular automata model: SCIDDICA S3-hex -*Natural Hazards and Earth System Sciences* 3: 545-559, 2003b.

D. D'Ambrosio, W. Spataro, G. Iovine . – Parallel genetic algorithms for optimising cellular automata models of natural complex phenomena: an application to debris-flows. *Computers & Geosciences* Vol. 32 pp.861–875, 2006.

D'Ambrosio, D., Iovine, G., Spataro, W., Miyamoto, H.: A macroscopic collisional model for debris-flows simulation. *Environmental Modelling and Software* 22(10), 1417–1436 (2007)

Di Gregorio S., R. Serra - An empirical method for modelling and simulating some complex macroscopic phenomena by cellular automata - *Future Generation Computer Systems* Vol.16 2/3 pp.259-271 1999a.

Di Gregorio S., R. Rongo, C. Siciliano, M. Sorriso-Valvo, W. Spataro - Mount Ontake landslide simulation by the cellular automata model SCIDDICA-3 - *Physics and Chemistry of the Earth (A)*, Vol.24 No.2 pp.97-100, 1999b.

Goldberg David E. : *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Welsey Publishing Company, Inc, 1989

Holland, J.H. : *Adaptation in natural and artificial systems*. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975

Ilachinsky, A.: *Cellular Automata, A discrete Universe*. World Scientific, New Jersey (2001)

Iovine G., S. Di Gregorio and V. Lupiano - Debris-flow susceptibility assessment through cellular automata modeling: an example from 15–16 December 1999 disaster at Cervinara and San Martino Valle Caudina (Campania, southern Italy) - *Natural Hazards and Earth System Sciences* (2003) 3: 457-468.

Iovine G., D. D'Ambrosio, S. Di Gregorio - Applying genetic algorithms for calibrating a hexagonal cellular automata model for the simulation of debris flows characterised by strong inertial effects - *Geomorphology* Vol 66 pp 287-303, 2005.

V. Lupiano, M.V.Avolio, S. Di Gregorio D.J. Peres, L.M. Stancanelli (2014)- Simulation of 2009 debris flows in the Peloritani Mountains area by SCIDDICA-SS3 -, Proceedings of the 7th International Conference on Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology (EMESEG '14) Salerno, Italy, June 3-5, 2014, pp.53–61.

Malamud, B.D., Turcotte, D.L.: Cellular Automata models applied to natural hazards. IEEE Computing in Science & Engineering. 2 (3), (2000) 42-51

Mazzanti, P., Bozzano F., Esposito, C.: Submerged Landslides Morphologies in the Albano Lake (Rome, Italy), in: Proceedings of 3rd International Symposium “Submarine Mass Movements and Their Consequences”, Series: Advances in Natural and Technological Hazards Research, 27, Springer, Heidelberg, pages 243—250 (2007).

Salles, T., Lopez, S., Cacas, M.C., Mulder, T. : Cellular automata model of density currents, Geomorphology, 88, pages 1-20 (2007).

Segre, E. and Deangeli, C.: Cellular Automaton for Realistic Modelling of Landslides, Nonlinear Processes in Geophysics, 2, 1-15, 1995.

Spezzano G., D. Talia, S. Di Gregorio, R. Rongo, W. Spataro - A Parallel Cellular Tool for Interactive Modeling and Simulation - IEEE Computational Science & Engineering, vol. 3, no. 3, pp. 33-43, Fall 1996

Stancanelli Laura Maria, Rosatti Giorgio, Begnudelli Lorenzo, Armanini Aronne, Foti Enrico (2011a): Single or two-phase modeling of debris-flow? A systematic comparison of the two approaches applied to a real debris flow in Giampilieri Village (Italy). Proceedings of the Second World Landslide Forum – 3-7 October 2011, Rome.

Stancanelli Laura Maria, Vittorio Bovolin, Foti Enrico (2011b): Application of a dilatant - viscous plastic debris flow model in a real complex situation. River, Coastal and Estuarine Morphodynamics: RCEM2011 2011, Beijing, China.

Toffoli, T.: Cellular Automata as an alternative to (rather than an approximation of) differential equations in modeling physics. *Physica* 10D, 117–127 (1984).

Von Neumann, J.: *Theory of self reproducing automata*. Uni. of Illinois Press, Urbana (1966)

Wolfram, S. : *Theory and application of cellular automata*. Singapore : World Scientific 1986

