



MINISTERO DELL'ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITA' E DELLA RICERCA

Programmi di ricerca cofinanziati - Modello E Relazione scientifica conclusiva sui risultati di ricerca ottenuti - ANNO 2007 prot. 2007S3XX5X

1. Area Scientifico Disciplinare principale	08: Ingegneria civile ed Architettura
2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca	SEGALINI Andrea
- Università	Università degli Studi di PARMA
- Facoltà	Facoltà di INGEGNERIA
- Dipartimento/Istituto	Dip. INGEGNERIA CIVILE, DELL'AMBIENTE, DEL TERRITORIO E ARCHITETTURA
3. Titolo del programma di ricerca	Analisi e mitigazione del rischio indotto da movimenti rapidi di versante.
4. Settore principale del Programma di Ricerca:	ICAR/07
5. Costo originale del Programma:	330.400 €
6. Quota Cofinanziamento MIUR:	138.000 €
7. Quota Cofinanziamento Ateneo:	59.148 €
8. Finanziamento totale:	197.148 €
9. Durata:	24 mesi

10. Obiettivo della ricerca eseguita

L'obiettivo globale di questo progetto era teso a migliorare le conoscenze dei fenomeni che determinano l'innescio e i diversi tipi di evoluzione di crolli da pareti rocciose che si verificano in regioni di montagna e falesie. In particolare i principali aspetti innovativi che costituivano anche gli obiettivi di questo progetto di ricerca sono qui di seguito riassunti.

Stima dell'affidabilità e dei vantaggi dei rilievi delle pareti rocciose e dei depositi detritici effettuati con tecniche fotogrammetriche e/o laser scanner. Ricostruzione geometrica degli ammassi rocciosi e stima delle volumetrie e granulometrie dei depositi detritici (Unità di Parma).

Sviluppo di una metodologia per la valutazione della possibilità di occorrenza temporale di fenomeni di crollo e definizione dei percorsi e delle altre caratteristiche del moto di massi caduti da pareti rocciose per la valutazione delle aree di invasione, dei parametri utili per il progetto di opere di difesa e costruzione di mappe di pericolosità sul fondovalle (Unità di Torino 1).

Determinazione del comportamento reologico dei materiali naturali (detriti e, in misura minore, sabbie e terreni a grana fine) costituenti il corpo di una colata detritica. Definizione dei parametri da impiegare nei modelli di calcolo delle colate detritiche. Calibrazione dei parametri attraverso un procedimento di analisi a ritroso realizzato attraverso il confronto tra i risultati di modellazioni numeriche e le evidenze sperimentali rilevate in siti che sono stati sede di debris flow (Unità di Torino 2).

Messa a punto di un modello geostatistico capace di valutare la distribuzione spaziale dei parametri geometrici e fisici di discontinuità in roccia. Stima della conduttività di un ammasso roccioso e delle principali discontinuità con l'ausilio di semplici misure idrauliche in sito e dei risultati dei rilievi strutturali e delle loro interpretazioni geostatistiche. Messa a punto di un modello di flusso tridimensionale in un ammasso roccioso (Unità di Milano).

11. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

Lo scopo di questo progetto era quello di migliorare le conoscenze dei fenomeni che determinano l'innescio e i diversi tipi di evoluzione di crolli da pareti rocciose che si verificano in regioni di montagna e falesie.

L'unità di ricerca di Parma ha approfondito le tematiche legate alla produzione di DTM ed all'analisi degli stessi ai fini della caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi e degli accumuli detritici. Questo approfondimento ha riguardato l'analisi e l'integrazione del programma Rockscan con la stima della persistenza della spaziatura delle discontinuità (ancora in fase di sviluppo) nonché l'ideazione e lo sviluppo, per ora allo stato iniziale, di un nuovo programma di trattamento delle immagini che consenta di riconoscere e valutare la granulometria dei depositi detritici a partire da DTM. Questi strumenti costituiscono la base per lo sviluppo di tutti gli studi successivi, soprattutto ai fini della riduzione dei tempi necessari all'esecuzione dei rilievi ed alla possibilità di accesso a siti altrimenti non facilmente accessibili attraverso l'impiego di elicotteri.

Per la creazione di modelli tridimensionali di pareti rocciose a scopo geomeccanico si è confermata la maggior utilità dell'approccio fotogrammetrico rispetto ad altri: da questo punto di vista si sono approfondite le tematiche legate alla produzione di DSM svolgendo un'intensa attività di ottimizzazione dei codici di calcolo, in particolare di quelli per la correlazione di immagini. La sperimentazione si è poi sviluppata su una serie di siti ritenuti di interesse. Questo ha rappresentato anche una ottima occasione per sperimentare le prestazioni della nuova stazione totale che si è dimostrata estremamente versatile proprio nel gestire questo tipo di rilievi. Essa offre, infatti, la possibilità di effettuare una scansione dell'oggetto rilevato; naturalmente la velocità di acquisizione non è paragonabile a quella di un laserscanner, ma il confronto tra il modello restituito fotogrammetricamente e i punti scansionati può essere utile in fase di valutazione dei risultati. In conclusione dell'esperienza fatta si può sostenere che per l'uso di tali modelli di pareti rocciose a scopo geomeccanico l'accuratezza è certamente soddisfacente. Infine per i raffronti dei software di restituzione, si sono ripetute tutte le fasi di costruzione del modello digitale per ogni software considerato, utilizzando la medesima coppia di fotogrammi per maggior veridicità nel test di confronto. Nel complesso i risultati ottenuti mostrano che DenseMatcher e Image Master producono un DSM di livello qualitativo nettamente superiore rispetto a Photomodeler 6 scanner, in termini di precisione. La fotocamera digitale Nikon D3X con risoluzione 6000x4000 pixel, acquisita nell'ambito del PRIN, ha permesso un notevole incremento della quantità e della qualità dei dati acquisibili con le immagini, rispetto alle altre fotocamere usate precedentemente.

Per quanto riguarda le elaborazioni successive al rilievo ed il trattamento dei dati geomeccanici ai fini delle analisi di stabilità delle pareti rocciose, si è provveduto alla ricostruzione dei modelli geomeccanici utilizzando in cascata altri software specifici, tra i quali DIPS® per l'analisi delle famiglie di discontinuità; Resoblock® per la restituzione dell'ammasso roccioso sottoforma di insieme di blocchi ed infine UDEC® o 3DEC® per l'analisi tensio-deformativa dell'ammasso roccioso impiegando il metodo agli Elementi Distinti. Un sito sul quale è stata applicata tutta la procedura descritta è stato l'Aiguille Marbrée, un sito che appartiene al massiccio del monte Bianco ed è posto ad una quota variabile tra i 3400 e i 3500m. Confrontando i risultati ottenuti da Rockscan con quelli del rilievo tradizionale si

è ottenuta una buona corrispondenza, considerando che i valori che si trovano sono dei valori medi rappresentativi di una “nuvola” (più consistente nel caso dell'utilizzo del software Rockscan) di valori che presenta una certa dispersione e che lo scopo è quello di definire l'assetto strutturale generale dell'ammasso, responsabile dei cinematismi principali del versante. In conclusione, riprodurre la geometria di una parete di roccia naturale comporta notevoli difficoltà e richiede necessariamente delle semplificazioni che, attraverso l'uso del modello digitale sono decisamente più agevoli da mettere in pratica. Inoltre, l'introduzione di un intervallo di variabilità delle caratteristiche delle discontinuità ha permesso solo in parte di ricreare il carattere aleatorio della distribuzione delle tracce nello spazio. Ovviamente la distribuzione reale delle tracce è difficilmente riproducibile, ma la procedura per generarne una simile anche se semplificata è un punto da considerare per futuri sviluppi. In alternativa occorre valutare la possibilità di utilizzare altri software per generare la geometria e la distribuzione delle tracce, per poi passare a 3DEC per valutare il modello con il metodo degli elementi distinti.

La ricerca sviluppata dall'unità di ricerca di Milano aveva per obiettivo l'individuazione dei metodi per la caratterizzazione degli ammassi rocciosi e del loro potenziale di instabilità, evidenziando, in particolare, le strutture di correlazione spaziale esistenti tra i parametri geologico - strutturali che influenzano il comportamento idrogeologico del sistema. La ricerca si è concentrata in Valchiavenna (SO), attraverso le seguenti fasi:

- 1) Organizzazione di un database geologico-strutturale, geomeccanico e idrogeologico a partire da informazioni pregresse, integrato con nuovi dati e realizzazione di un sistema geografico informatizzato a più temi;
- 2) Applicazione di modelli geostatistici per l'analisi delle variazioni spaziali dei parametri che condizionano il comportamento idraulico degli ammassi rocciosi. Per quanto riguarda la variabile orientazione, la sua struttura è apparsa come “annidata” che si esprime in modo diverso a scale diverse. Il calcolo dei parametri statistici fondamentali (misure di tendenza centrale, di dispersione, di forma), ha evidenziato che ogni distribuzione studiata è asimmetrica destra (o positiva). Analizzando poi la distribuzione delle misure nello spazio, i modelli teorici che meglio approssimano l'andamento dell'intercetta e dell'indice di fratturazione sono dati dalla somma tra il modello effetto pepita e quello sferico puro. Per quanto invece riguarda la spaziatura media, il modello teorico che meglio approssima i semivariogrammi sperimentali direzionali è un modello esponenziale nidificato, dato cioè dalla combinazione di un effetto pepita e un modello esponenziale. La mappa dei variogrammi evidenzia l'anisotropia delle variabili oggetto di studio, confermata dai semivariogrammi sperimentali direzionali. Una volta definite le equazioni di correlazione spaziale esistenti per ciascuna variabile in studio sono state prodotte per ognuno di esse specifiche carte tematiche su base raster (Figura 1). Poiché l'interesse principale era la ricostruzione della variabilità spaziale del grado di fratturazione, i risultati delle tecniche di kriging sono stati confrontati con quelli ottenuti applicando la tecnica della simulazione geostatistica, che non fornisce l'esatta stima della variabile in ogni punto, ma crea realizzazioni aventi la stessa variabilità spaziale di quella osservata su terreno. Le mappe di variabilità spaziale delle grandezze in esame sono l'elaborazione media di 10 simulazioni (Figura 2);
- 3) Studi di dettaglio su aree pilota. Due aree pilota sono state scelte in Valchiavenna per approfondire studi specifici con finalità e metodologie differenti. Nell'ambito della presente ricerca sono stati inoltre avviati studi affini nella vicina Valtellina (SO). Gli studi hanno riguardato, per la Valchiavenna, lo sviluppo del modello numerico del flusso idrico in versanti alpini (Area di Isola) e la definizione della pericolosità da caduta massi in località Cimaganda- Peloso-Gallivaggio; per la Valtellina, la ricostruzione di un modello tridimensionale del reticolo di fratturazione in ammassi rocciosi (Sondalo) e lo studio delle relazioni tra infiltrazione e stabilità di versanti terrazzati (Teglio).

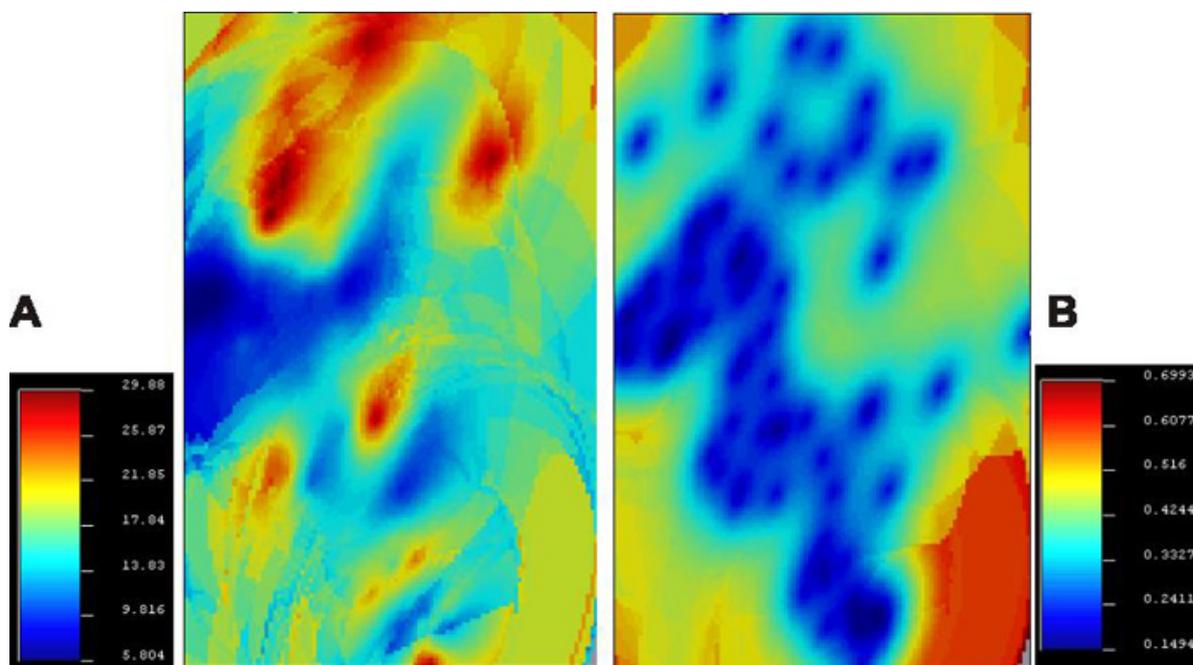


Figura 1 - Mappa di comportamento della variabile INTERCETTA stimata tramite kriging (A) e della sua varianza (B).

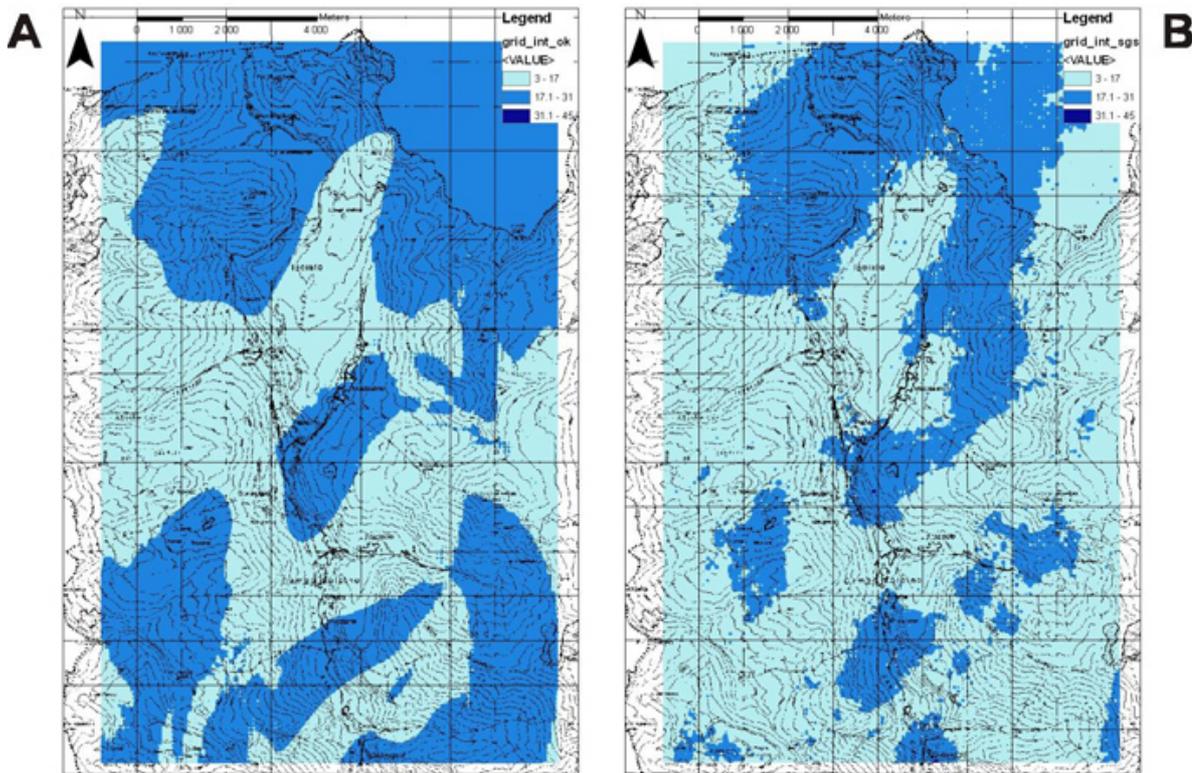


Figura 2 - Mappe della distribuzione in classi di uguale ampiezza ottenute utilizzando il kriging (A) e la simulazione gaussiana sequenziale (B)

L'unità di Ricerca di Torino 1, nella sua ricerca ha sviluppato una metodologia per la valutazione delle condizioni di pericolosità per caduta massi su grandi aree sulla base di un metodo meccanico probabilistico per il calcolo della probabilità di distacco dei massi in parete. A causa della grande estensione delle zone di indagine, la metodologia di lavoro è basata sull'impiego di metodi di calcolo che necessitano della conoscenza di parametri fisico-meccanici e geometrici di agevole determinazione su vasta scala, in gran parte reperiti presso ARPA Piemonte in ambiente GIS (Geographical Information System) ed integrati da analisi speditive di terreno.

Nel dettaglio, per la definizione delle aree di potenziale distacco è stato utilizzato un approccio multidisciplinare basato sull'analisi di dati storici e lo studio dei versanti mediante tecniche di fotointerpretazione, integrati da osservazioni raccolte nel corso di sopralluoghi in sito. I settori di versante individuati vengono suddivisi in aree omogenee sulla base principalmente dell'orientamento e della posizione del fronte rispetto alle vie di comunicazione. Si sono previste 3 diverse tipologie di area ed è stata inoltre condotta la caratterizzazione delle porzioni di versante nell'ambito delle quali si sviluppa il moto dei blocchi, in funzione dell'uso del suolo. Tutte le perimetrazioni ottenute vengono georiferite mediante il programma ESRI Arc GIS.

Data l'estensione areale, è stata messa a punto una procedura speditiva di rilevamento che, sebbene comporti forti approssimazioni nelle misure rispetto al rilevamento geomeccanico classico, richiede tempi di analisi relativamente brevi e permette di ricavare statisticamente il numero e l'orientamento delle principali famiglie di discontinuità (per tale fase possono essere impiegate le tecniche fotogrammetriche sviluppate dall'Unità di Parma). L'insieme dei dati raccolti viene inserito in un database appositamente sviluppato in Access (figura 4), che contiene quattro sezioni: a) area omogenea; b) elementi strutturali; c) cinematicismi; d) documentazione fotografica. Per quanto riguarda invece le aree in cui si sviluppa il moto dei massi, uno strato informativo importante per la valutazione delle traiettorie è quello relativo ai parametri energetici del moto (coefficienti di restituzione e di attrito), che dipendono essenzialmente dallo spessore delle coperture detritiche, dall'uso del suolo e dalla morfologia del pendio. I parametri a cui si fa riferimento sono in particolare: tipo di pendio (suolo, detrito, ecc.); tipo di vegetazione (alberi, arbusti, ecc.); densità di vegetazione; sistemazioni agrarie (terrazzamenti, etc.).

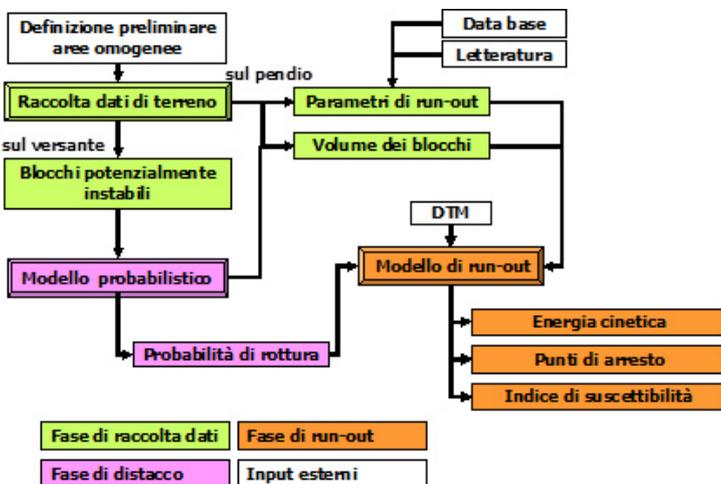


Figura 3. Schema sintetico della metodologia sviluppata

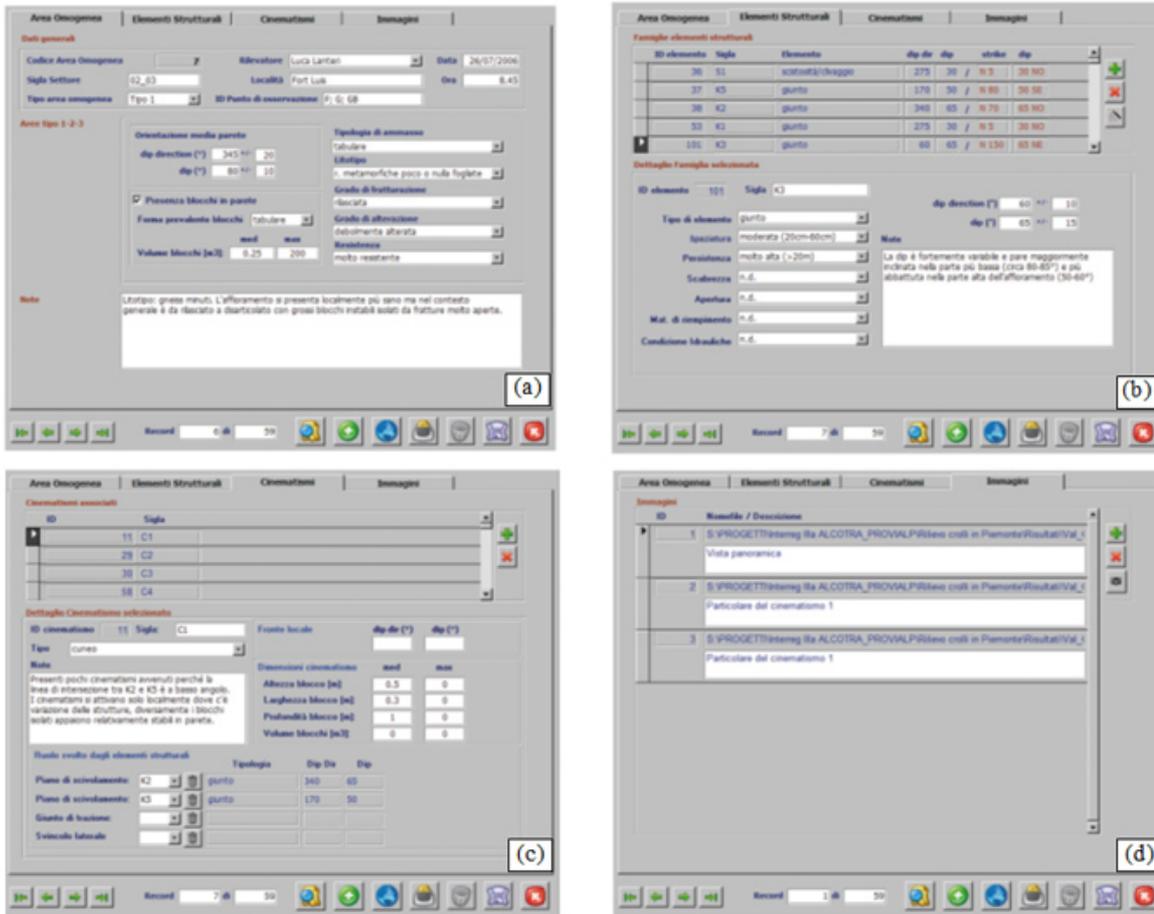


Figura 4. Sezioni in cui è strutturato il database: (a) Area Omogenea, (b) Elementi Strutturali, (c) Cinematismi, (d) Documentazione Fotografica

La fase di definizione delle condizioni di distacco si avvale dell'utilizzo di tre codici in grado di calcolare il fattore di sicurezza e la probabilità di rottura di diversi cinematismi di potenziale instabilità, sulla base del metodo dell'equilibrio limite unito alla procedura probabilistica di Monte Carlo. Essi sono in particolare: WINTAM (Major et al., 1974), PLASMON (Pisani, 2006) e Toppling-Stones (Allodi e Castelli, 2007). In essi, tutte le variabili geometriche e meccaniche possono essere espresse in senso stocastico utilizzando diverse distribuzioni di frequenza (uniforme, triangolare, gaussiana, esponenziale, istogramma). La probabilità di rottura viene calcolata come rapporto tra il numero di casi in cui il fattore di sicurezza è risultato inferiore all'unità ed il numero totale di estrazioni Monte Carlo eseguite, per tenere conto del fatto che la variabilità nell'orientazione delle discontinuità e del fronte all'interno di ogni area omogenea può rendere geometricamente o cinematicamente impossibile la formazione di un cinematismo di rottura. Per riassumere in un unico parametro i risultati delle analisi è stato introdotto un indice di distacco ID che viene associato a ciascuna area omogenea e tiene conto del numero di massi che si possono distaccare, della loro probabilità di distacco all'interno dell'area stessa e del loro volume:

(1)

L'ultima fase dello studio è quella relativa alla determinazione della suscettibilità, basata sull'utilizzo del codice di calcolo tridimensionale ROTOMAP-GIS© (Geo&Soft s.r.l.), che simula la caduta massi a partire da una griglia di celle a passo regolare (definita per esempio dal modello digitale del terreno), distribuita entro ciascuna area omogenea di distacco identificata nella fase di rilievo.

Il codice, gestito direttamente in ambiente Arc GIS, è di tipo lumped mass. Infine, utilizzando il metodo Fully Coupled Model (Jiao e Hudson, 1995), è possibile tenere conto delle relazioni causa-effetto che intercorrono tra i parametri stessi e quantificare l'effetto di ciascuno sui coefficienti, giungendo ad un calcolo pesato dei coefficienti per ogni cella del DTM. I principali risultati forniti dal codice ROTOMAP-GIS© sono: distribuzione dell'energia cinetica media e massima nelle zone interessate dalle traiettorie di caduta massi; distribuzione dei punti di arresto dei massi; distribuzione dell'Indice di Suscettibilità (IS).

L'indice di suscettibilità, che ha il significato di una pericolosità relativa (cioè una pericolosità avente solo la componente spaziale), viene calcolato in funzione della velocità calcolata per ciascun masso in transito in una cella del versante (v), dell'indice di distacco ID associato all'area omogenea di partenza (equazione 1), del numero di traiettorie in transito nella cella in esame e della densità del materiale costituente i blocchi in caduta (ρ). Al fine di operare le opportune normalizzazioni si tiene inoltre conto della superficie totale di distacco (A_{tot} = somma di tutte le aree omogenee), del numero totale di traiettorie simulate (n_{start}) e del diametro del cerchio equivalente al lato della maglia quadrata della cella (d_{eq}):

(2)

La distribuzione dell'indice di suscettibilità IS lungo l'asse vallivo è il principale risultato dell'intera metodologia poiché consente di identificare le zone potenzialmente colpite da fenomeni di caduta massi evidenziando al loro interno diversi livelli di suscettibilità e costituisce un utile strumento per individuare in modo semplice ed immediato le zone più "critiche" della valle.

La metodologia sviluppata è stata testata ed applicata in 5 valli alpine considerate per i tratti che, sulla base dei dati di archivio, risultano maggiormente soggetti alle instabilità per caduta massi (figura 5) e sono: Valle Orco (TO); Valli di Lanzo (TO); Valle Germanasca (TO); Valle Tanaro (CN); Valle Diveria (VCO). A titolo di esempio è riportata (Figura 6) la distribuzione dell'indice di suscettibilità IS in prossimità dell'abitato di Noasca (Valle dell'Orco).

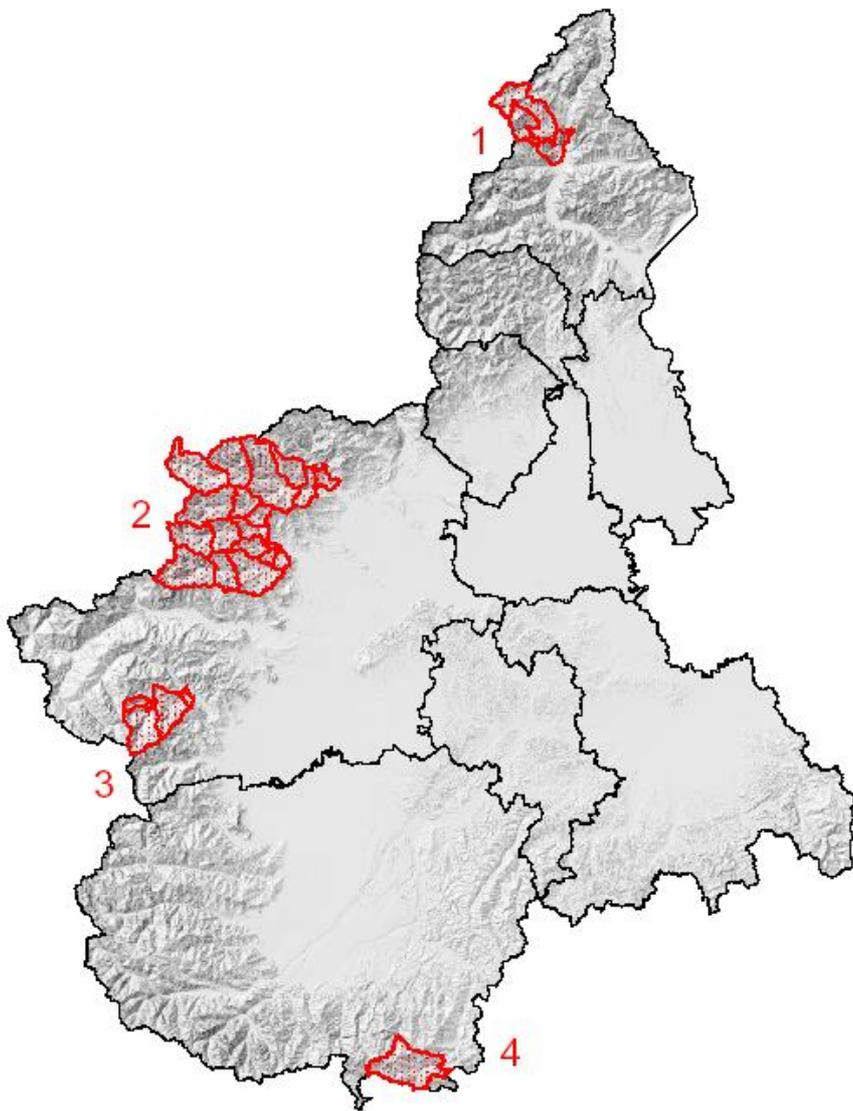


Figura 5. I siti di studio: 1) Valle Diveria 2) Valle Orco e Valli di Lanzo 3) Valle Germanasca 4) Valle Tanaro

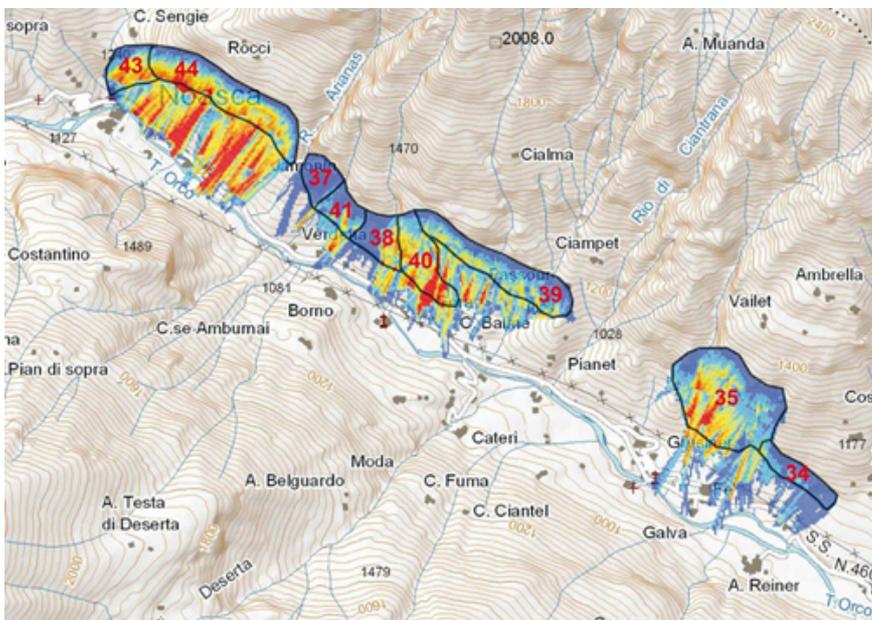


Figura 6. Distribuzione dell'indice di suscettibilità IS in prossimità dell'abitato di Noasca. In rosso i valori più elevati

La ricerca svolta dall'Unità di Ricerca di Torino 2, è consistita dapprima nell'individuazione di bacini appartenenti all'Alta Val di Susa periodicamente soggetti a debris flow, di cui fossero disponibili dati storici relativi alle caratteristiche degli eventi. Sono stati selezionati e analizzati nel particolare sette torrenti: Torrente Rho, Torrente Perilleux, Torrente Champeyron, Torrente Gautier, Torrente Melezet, Torrente Fosse, Torrente Gran Gorgia. Per ciascun bacino sono state definite le caratteristiche geologiche, morfologiche e granulometriche, sono stati considerati gli aspetti idrologici e pluviometrici che hanno condotto all'individuazione delle soglie di innesco delle colate detritiche.

La causa dei frequenti eventi alluvionali che si verificano in Val di Susa è da ricercarsi non tanto nella eccessiva abbondanza di precipitazioni quanto nella violenza delle stesse; l'entità delle piogge primaverili, pur contribuendo, insieme allo scioglimento delle nevi, ad aumentare le portate dei corsi d'acqua, solitamente non innesca fenomeni di debris flow. Le portate di massima piena calcolate per i sette torrenti (anche con diversi metodi) si distribuiscono su un intervallo di valori piuttosto ampio e sono decisamente elevate; questo risultato mostra che i metodi di calcolo che vengono generalmente utilizzati per stimare le portate di piena hanno una validità piuttosto discutibile e che sono probabilmente richiesti modelli più sofisticati da adattare di volta in volta al caso da analizzare.

Il passo successivo è stato la caratterizzazione degli eventi di debris flow relativi ai bacini dei torrenti studiati. Lo studio della propagazione dei debris flow è stato, in questa prima fase, effettuato in modo analitico, con la formulazione di Takahashi. La velocità è stata ricavata considerando sia l'intera asta torrentizia che esclusivamente la zona identificata come area di formazione del debris flow. Sulla base dei risultati ottenuti si è stabilito che: il Torrente Melezet è definibile come corso d'acqua perenne e data l'elevata portata registrata, la pendenza ridotta e la concentrazione volumetrica estremamente bassa, per esso è difficile poter ipotizzare una condizione di colata detritica matura, al contrario si avvicina, in base alle sue caratteristiche, ad un debris flow di tipo immaturo; per i torrenti Rho, Perilleux e Gautier si può ipotizzare un regime quasi-statico nel quale lo scambio di quantità di moto tra regioni adiacenti avviene principalmente tramite azioni di attrito; i torrenti Champeyron e Fosse potrebbero essere caratterizzati da una coesistenza dei diversi regimi di flusso; il torrente Gran Gorgia risulta l'unico ad essere caratterizzato da un regime di flusso di tipo granulo-inerziale.

Il valore del numero di Bagnold resta comunque molto elevato a causa del diametro (d_{50}) delle particelle trasportate: i torrenti analizzati sono caratterizzati infatti da una prevalenza di diametri delle particelle dell'ordine decimetrico. I torrenti Rho, Champeyron e Gautier appartengono prevalentemente al gruppo litologico dei "Calcescisti con Pietre Verdi", costituiti soprattutto da scisti fittamente foliati, mentre il Torrente Gran Gorgia è caratterizzato da un substrato a prevalente componente litologica costituita da rocce carbonatiche massicce. I bacini del primo gruppo presentano caratteristiche geomeccaniche più scadenti e producono abbondante detrito caratterizzato da grani di dimensioni minori e di una forma più allungata e scagliosa rispetto a quelli del Gran Gorgia. Queste caratteristiche sembrano influenzare il comportamento della colata a causa della diversa distribuzione delle particelle all'interno della stessa, dal momento che quelle allungate probabilmente tendono ad allinearsi in direzione del flusso a differenza di quanto avviene per i blocchi prismatici caratteristici del Gorgia. Per la maggior parte dei torrenti appartenenti all'Alta Val di Susa, caratterizzati da materiale detritico di pezzatura estremamente grossolana, non è possibile far riferimento esclusivamente a parametri indice quali il numero di Bagnold, per la determinazione dei caratteri reo-fisici del debris flow analizzato. In tale ambito si è considerata la classificazione proposta da Tiranti et al. (2008) che identifica tre Gruppi di bacini caratterizzanti l'ambiente Alpino, i quali si distinguono soprattutto in relazione al litotipo prevalente nel substrato che identifica differenti stili deposizionali. Tale suddivisione è correlata a fenomeni di cohesive debris flow (CDF) e di non-cohesive debris flow (N-CDF). Si sono quindi eseguite modellazioni numeriche tridimensionali di debris flow, considerando per lo stesso bacino diversi regimi di moto in accordo con i numeri adimensionali e i gruppi individuati nella succitata classificazione. Le modellazioni sono state eseguite con un modello ad automi cellulari (Segre & Deangeli, 1995).

In considerazione di quanto emerso durante la prima fase dell'attività dell'Unità di Ricerca Politecnico di Torino, considerando a titolo di esempio il Rio Fosse, si ricava che esso potrebbe essere caratterizzato da una coesistenza di due diversi regimi di flusso (regime quasi-statico, regime granulo-inerziale). In relazione alla scelta del legame costitutivo da inserire nel modello, si è fatto inizialmente riferimento alle equazioni del moto delle colate di detrito in regime granulo-inerziale sviluppate da Takahashi (1978, 1991) sulla base del modello dilatante di Bagnold (1954). Sulla base di quanto osservato in sito e in riferimento agli studi realizzati su eventi precedenti, il secondo caso (miscela di acqua e sedimenti) è sembrato rappresentare la situazione più realistica. Tale risultato ha suggerito la possibilità di considerare, per il Rio Fosse, un N-CDF come processo predominante, caratterizzato perciò da un regime di tipo collisionale-frizionale, in quanto coerente con la scelta iniziale del legame costitutivo adottato nel modello numerico (Bagnold), questo in contrasto con quanto previsto da Moscariello et al. (2002) e da Tiranti et al. (2008).

Il confronto con eventi di debris flow precedentemente verificatisi nel bacino del Rio Fosse, ha evidenziato sostanziali similitudini, con il caso simulato, nelle caratteristiche di deposizione, rendendo plausibile l'ipotesi di adottare una metodologia basata su un legame tra modello geologico per i bacini e la classificazione dei processi di deposizione, e modello di propagazione.

Tali riflessioni evidenziano come non si possa far riferimento unicamente a parametri indice (determinati in base a modelli ideali) per la determinazione della reologia dei debris flow; è necessario abbinare, oltre alla simulazione dei processi di propagazione e deposizione e al confronto con gli eventi precedentemente avvenuti nei bacini, un attento studio del carattere litologico e sedimentologico del detrito, al fine di determinarne il contributo nella propagazione dal punto di vista della distribuzione granulometrica, della forma delle particelle e, di conseguenza, dello stile di deposizione del materiale coinvolto.

Infine sono stati analizzati i meccanismi di innesco dei debris flow in alcuni dei bacini selezionati. I depositi detritici presenti manifestano diverse soglie di pioggia per l'innesco di colate di detrito, probabilmente dipendenti dai diversi meccanismi di generazione del movimento, oltre che differenti tipi di propagazione e stili di deposizione. Sono state condotte modellazioni numeriche considerando il mezzo continuo (FLAC) e discontinuo (PFC). Lo scopo è quello di stabilire se l'inizio del movimento del terreno granulare sia il risultato di un'instabilità globale o se, viceversa, sia il risultato di un fenomeno di erosione locale, che coinvolge solo alcune particelle di terreno in corrispondenza della superficie del pendio e che, una volta generatosi, manifesti esso stesso un potenziale erosivo nel moto lungo il pendio coinvolgendo il deposito detritico sottostante. I primi risultati delle modellazioni sembrano evidenziare che il meccanismo di generazione più probabile nei bacini analizzati sia di tipo erosivo.

12. Problemi riscontrati nel corso della ricerca

Come già illustrato nella relazione del primo anno di attività, a seguito della riduzione di budget della ricerca legato alla riduzione del finanziamento nazionale, non si è potuto acquistare l'apparato laser scanner e si è quindi deciso di cercare se fosse disponibile sul mercato ed utile ai fini del progetto una strumentazione che (pur non equivalente ad un laser scanner) fornisse un complemento utile al rilievo fotogrammetrico e (in casi e condizioni particolari) fosse sostituibile al laser. La georeferenziazione e l'appoggio di un blocco fotogrammetrico richiedono infatti informazioni sul sistema di riferimento, ottenute o rilevando punti di appoggio sulla parete o adoperando sistemi GPS per posizionare i centri di presa. Questa seconda modalità, potenzialmente assai conveniente, non è purtroppo di impiego generalizzato, in quanto richiede visibilità satellitare sufficiente (non facile da ottenere nelle vallate in montagna) e una disposizione delle posizioni di presa non sempre realizzabile data la morfologia o la presenza di ostacoli (alberature, ecc.). Per rilevare punti di appoggio pertanto, occorre tenere realisticamente conto che può essere indispensabile impiegare una stazione totale. La scelta ha portato ad individuare l'Imaging Station (IS) della ditta Topcon come uno strumento con caratteristiche potenzialmente molto utili per risolvere gran parte delle problematiche sopra accennate. Si tratta infatti di uno strumento con distanziometro senza prisma che, su superfici con riflettività maggiore dell'80%, ha portata di 2 km, la massima attualmente disponibile; lo strumento è dotato inoltre di camere digitali (con focali differenti) coassiali al cannocchiale, con le quali memorizzare immagini ad alta risoluzione del punto collimato e a bassa risoluzione della parete. La scelta di questa strumentazione, utilizzata sia come elemento di georeferenziazione che come elemento di confronto si è rivelata molto positiva in tutti gli esempi applicativi realizzati nel corso della ricerca (Valchiavenna, Pietra di Bismantova etc.)

13. Risorse umane complessivamente ed effettivamente impegnate (da consuntivo)

	(mesi uomo)
TOTALE	
da personale universitario	149
altro personale	48
Personale a contratto a carico del PRIN 2007	42

14. Modalità di svolgimento (dati complessivi)

Partecipazioni a convegni:

	Già svolti (numero)	Da svolgere (numero)	Descrizione
in Italia	25	1	<i>I convegni ai quali si è partecipato sono stati quelli nei quali si sono presentate note riguardanti, in tutto o in parte, i risultati finali e/o parziali delle ricerche condotte nell'ambito di questo PRIN 2007. Il convegno ancora da svolgere, a cui parteciperà l'Unità di Torino, è "International Conference on Debris-Flow hazard mitigation: Mechanics, prediction and assesment" previsto in giugno 2011 a Padova</i>
all'estero	11	1	<i>I convegni ai quali si è partecipato sono stati quelli nei quali si sono presentate note riguardanti, in tutto o in parte, i risultati finali e/o parziali delle ricerche condotte nell'ambito di questo PRIN 2007. Il convegno ancora da svolgere, a cui parteciperà l'Unità di Parma, è "Slope Stability 2011" previsto in settembre 2011 a Vancouver (BC)</i>
TOTALE	36	2	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Articoli pertinenti pubblicati:

	Numero	Descrizione
su riviste italiane con referee	0	
su riviste straniere con referee	13	<i>Gli articoli qui considerati sono quelli riportati alla voce Pubblicazioni nei modelli C delle singole Unità di Ricerca</i>
su altre riviste italiane	0	
su altre riviste straniere	0	
comunicazioni a convegni/congressi internazionali	12	<i>Gli articoli qui considerati sono quelli riportati alla voce Pubblicazioni nei modelli C delle singole Unità di Ricerca</i>
comunicazioni a convegni/congressi nazionali	16	<i>Gli articoli qui considerati sono quelli riportati alla voce Pubblicazioni nei modelli C delle singole Unità di Ricerca</i>
rapporti interni	3	<i>Gli articoli qui considerati sono quelli riportati alla voce Pubblicazioni nei modelli C delle singole Unità di Ricerca</i>
brevetti depositati	0	
TOTALE	44	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Data 20/12/2010 09:14

Firma

Si autorizza alla elaborazione e diffusione delle informazioni riguardanti i programmi di ricerca presentati ai sensi del D. Lgs. n. 196/2003 del 30.6.2003 sulla "Tutela dei dati personali". La copia debitamente firmata deve essere depositata presso l'Ufficio competente dell'Ateneo.