

Analisi geologico-tecnica di scorrimenti traslativi in roccia nella Formazione Marnoso-Arenacea: valutazione areale della suscettività da frana

Fabrizio Del Bianco

Laureato in Scienze Geologiche, Università di Bologna, vincitore del Premio di Laurea "Gianfranco Bruzzi" - edizione 2008

INTRODUZIONE

La presente tesi fa parte di un lavoro di gruppo, eseguito in collaborazione con altri tre colleghi (Andreis, 2008; Bussi, 2008; Poletti, 2008). L'obbiettivo principale riguarda la caratterizzazione geologico-tecnica di alcuni scorrimenti traslativi in roccia avvenuti nell'Appennino Emiliano Romagnolo (comune di Casola Valsenio, RA) nell'aprile del 2005. Tali frane hanno coinvolto la Formazione Marnoso-Arenacea e sono stati caratterizzati da scorrimento in blocco lungo piani di strato.

L'attenzione principale è stata posta su 3 frane di primo innesco ed un dissesto incipiente tuttora in lenta evoluzione. Le evidenze morfologiche di ciascun fenomeno sono state rilevate tramite GPS e rielaborate attraverso un software GIS che ha permesso di ottenere carte geomorfologiche di dettaglio. Sono stati inoltre prelevati alcuni campioni di marna lungo le superfici di scorrimento e determinate le principali caratteristiche granulometriche, di plasticità e di resistenza al taglio.

Infine è stata messa a punto una metodologia automatica per effettuare, attraverso un software di tipo GIS, una valutazione areale della suscettività da frana. Lo scopo è quello di fornire uno strumento di supporto all'individuazione delle zone che presentano caratteristiche analoghe a quelle delle frane studiate. L'insieme dei dati raccolti e delle analisi effettuate ha fornito un quadro coerente su tali fenomeni ed è di potenziale interesse in termini di pianificazione territoriale. Nel presente estratto si porrà l'attenzione sulla descrizione morfologica dei fenomeni franosi e sullo sviluppo dell'applicativo GIS per la valutazione della suscettività da frana. Per la caratterizzazione geologico-tecnica delle marne e le analisi di stabilità si rimanda al testo integrale della tesi e agli elaborati dei colleghi Andreis, Bussi e Polletti.

ASSETTO GEOLOGICO GENERALE

L'area di studio è interamente caratterizzata dall'affioramento della Formazione Marnoso-Arenacea (FMA) in un contesto strutturale essenzialmente privo di lineamenti tettonici. La Formazione Marnoso-Arenacea è stata suddivisa in membri in base al rapporto arenaria-marna, allo spessore dei letti arenitici e alla sequenza delle emipelagiti (Cacciari, 2001). Per quanto riguarda l'area in esame, è stato fatto riferimento alla suddivisione riportata nella Carta Geologica Regionale a scala 1:10000 (Regione Emilia-Romagna) (Fig.1).

L'assetto strutturale è tipicamente monoclinalico, con strati immergenti verso NNE con inclinazioni mediamen-



Figura 1 - Carta Geologica dell'area (dalla Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna).





te comprese tra i 10° e i 20°. L'area non ha subito deformazioni tettoniche di rilievo essendo posizionata in un settore esterno rispetto all'ultima piega-faglia principale (Landuzzi, 1988).

Sono presenti alcune faglie sub-verticali con orientazione SSO-NNE, disposte parallelamente tra di loro e per buona parte non affioranti, che hanno causato solo un leggero abbassamento di alcuni settori, senza comunque portare a variazioni significative dell'immersione degli strati.

L'EVENTO PLUVIOMETRICO DELL'APRILE 2005

L'evento pluviometrico dell'aprile 2005 è stato caratterizzato da una precipitazione intensa caduta su versanti in cui era presente una estesa copertura nevosa tardiva. Tale evento ha innescato numerosi eventi franosi, avvenuti quasi contemporaneamente in tutto l'Appennino romagnolo.

L'analisi dei dati pluviometrici giornalieri relativi all'aprile 2005 mostra che l'evento di precipitazione intensa si è avuto nella seconda settimana del mese, esattamente nelle 48 ore comprese tra il 10 e il 12 Aprile (Figura 2). In questo breve lasso di tempo si sono registrate precipitazioni pressoché ininterrotte che hanno portato alla caduta di circa 130 mm di pioggia, una quantità elevatissima se si considera che ha rappresentato il 43% sul totale dell'intero mese. Il picco più elevato è stato toccato il giorno 10 aprile alle ore 13.00 con quasi 10 mm di pioggia caduti in una sola ora, con una precipitazione media che si è mantenuta sui 6 mm/ora per l'intera giornata. La pioggia, unita al rapido aumento della temperatura, ha prodotto lo scioglimento del manto nevoso determinando condizioni idrauliche critiche per i versanti.

Purtroppo manca una misura diretta dello spessore della neve per assenza di strumenti nivometrici nella zona, di conseguenza non è possibile aggiungere al dato di precipitazione caduta quello relativo all'acqua per scioglimento della neve. Certamente, l'inverno compreso tra il 2004 e il 2005 è stato caratterizzato da intensissime nevicate che hanno interessato tutto l'Appennino e, secondo testimonianze di alcuni abitanti della zona, nella prima settimana dell'aprile 2005 il manto nevoso era di circa 20-30 cm.

L'equivalente in acqua di uno spessore di neve di 20 cm è valutabile in 20-100 mm in funzione della densità della neve, da 100 kg/m³ a 500 kg/m³ (Valt & Cagnati, 2005), e ciò corrisponde ad un incremento che va dal 15 al 75% della pioggia caduta tra il 10 e il 12 aprile.

CARATTERISTICHE DEI FENOMENI FRANOSI

Dei vari fenomeni franosi attivatisi nell'area di studio a seguito di questo evento pluviometrico, si è cercato di scegliere gli eventi più rappresentativi in termini di intensità e pericolosità. L'attenzione è stata concentrata su 3 frane in roccia di primo innesco ed un movimento franoso incipiente. Tutti i fenomeni sono classificabili come scorrimenti traslativi in roccia (Cruden & Varnes, 1996) ed interessano versanti isostrutturali o con strati a franapoggio meno inclinati rispetto al pendio.

I movimenti sono stati chiamati rispettivamente: frana di Roncosole, frana di Ozzanello, frana di Meleto e frana (incipiente) di Renzuno. Si tratta di esempi didattici dal punto di vista morfologico: nelle tre frane già avvenute il





11 GEOLOGO



Tabella 1 -	Principali	caratteristiche	delle	frane	studiate
-------------	------------	-----------------	-------	-------	----------

	Data attivazione	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Entità della traslazione in blocco (m)	Direzione del movimento	Giacitura strati (imm/inc)	Prof. sup. di scivolamento (m)
RONCOSOLE	11-apr-05	500	200	80	NNO	30°/12°	13
OZZANELLO	10 - 12 apr 05	300	100	40-50	NNO	10°/10°	17
MELETO	apr-05	80	70	15	N	55°/9°	9
RENZUNO	lenta evoluzione	160 (ipotizzata)	230	non determ.	NNO	18°/11°	24 (da inclinom.)

blocco scivolato è ancora parzialmente intatto e nella sua traslazione ha formato un *trench* dove è perfettamente esposta la superficie di scivolamento. Sono presenti inoltre tutte le morfologie tipiche dei movimenti traslativi: corona di distacco ad andamento rettilineo con terminazioni perpendicolari, deposito principale di forma pseudo-rettangolare ed allungata, tipico rigonfiamento alla base dell'accumulo (caso di Roncosole), presenza di *tension crack* all'interno e all'esterno del corpo di frana.

La frana di Renzuno, a differenza delle altre, è un movimento franoso incipiente che mostra segni morfologici di instabilità ed è stata presa in considerazione per mettere in evidenza le possibili analogie con gli scorrimenti precedentemente menzionati a riguardo della sua potenziale evoluzione.

Il rilevamento di campagna si è protratto per un intervallo di tempo compreso tra marzo e ottobre 2007. In Tab. 1 vengono riassunte le principali caratteristiche delle frane studiate.

Con l'ausilio di un palmare GPS sono stati rilevati, per ciascuna frana, i principali elementi geomorfologici i quali sono stati restituiti su piattaforma GIS utilizzando il software *ESRI ArcGis*[®] v. 9.0 (Fig. 3).

FRANA DI RONCOSOLE (carta geomorfologica in fig. 3a; fig. 4; fig. 5; fig. 6; fig7)

Lo scorrimento avvenuto a Roncosole ha interessato un'area di 15-18 ettari ed ha mobilizzato un volume di roccia di circa 2.000.000 m³. La frana si è mossa in blocco ed è traslata verso valle di circa 80 m scivolando al tetto di uno strato marnoso inclinato verso valle di 12°-13°. Il movimento ha generato una grande nicchia di distacco lunga circa 200 m e alta al massimo 13 m, praticamente verticale. La porzione frontale del blocco principale, traslando, si è parzialmente disgregata .

Circa due anni prima dell'evento parossistico, era già presente una grande frattura in mezzo al campo, visibile dalla foto satellitare in Fig. 4, che si sviluppava proprio lungo la direttrice su cui si sarebbe impostata la nicchia di frana.



Figura 4 - Immagine da Google Earth con evidenziate la tension crack (in rosso) e la trincea (in azzurro) nel 2003.



Figura 5 - La frana di Roncosole vista dall'aereo nel settembre 2005 (foto A. Fabbri).







Figura 6 - L'imponente scarpata della nicchia di distacco e la superficie di scivolamento come apparivano il 16 aprile 2005 (foto T. Righini).



Figura 7 - Sezione tracciata lungo la direzione del movimento sul versante di Roncosole.

Questa frattura, secondo alcune testimonianze larga un metro e profonda un paio di metri, avrebbe rappresentato il veicolo principale di infiltrazione delle acque superficiali, alimentate dalla pioggia e dallo scioglimento della neve.

FRANA DI OZZANELLO (carta geomorfologica in fig. 3b; fig. 8; fig. 9)

Anche nel caso di Ozzanello un'intera porzione di versante si è staccata in blocco e ha subito uno scorrimento lungo strato di diverse decine di metri.

Il piano di scivolamento, meno inclinato del pendio, è uscito dalla superficie topografica a breve distanza dalla corona e ha provocato la fratturazione della porzione più esterna del corpo di frana. Parte dell'accumulo si è quindi disgregata ed ha raggiunto il fondovalle formando un deposito di marne grigiastre con grandi blocchi di arenaria che ha ricoperto un'area di circa 30.000 metri quadrati.

Il movimento ha coinvolto un versante posto immediatamente a monte di una una vecchia frana e, come nel caso di Roncosole, ha portato all'arretramento (retrogressione) di una precedente corona di distacco di circa 55 m.

La superficie di scorrimento è in parte esposta, presenta un'inclinazione di 10°, e coincide con un livello di marne grigiastre a scaglie decimetriche da cui sono stati prelevati i campioni per le prove di laboratorio.

FRANA DI MELETO (carta geomorfologica in fig. 3c; fig. 10; fig. 11)

La frana di Meleto è costituita da un blocco di roccia di dimensioni relativamente modeste che si è staccato ed | Figura 11 - Sezione longitudinale alla frana sul versante di Meleto.



Figura 8 - La frana di Ozzanello con l'imponente nicchia di distacco (giugno 2007).



Figura 9 - Sezione longitudinale alla frana sul versante di Ozzanello.



Figura 10 - La frana di Meleto (aprile 2007).







è traslato lungo strato arrestandosi in prossimità di un campo coltivato (Figura 10). Qualche mese dopo sul fianco sinistro dell'area in frana si sono sviluppate delle *tension crack* nel terreno che hanno provocato una serie di scorrimenti multipli in terra. Tali scivolamenti hanno coinvolto la sola coltre superficiale, costituita da suolo e da detrito colluviale, ed hanno ricoperto sia la superficie di scorrimento sia buona parte della corona di distacco. La nicchia di distacco è ora visibile solo in parte e si è dovuto ricostruirne l'andamento, che al momento dell'innesco dell'evento franoso aveva probabilmente una morfologia rettilinea, un'altezza di circa 8-10 m e una lunghezza inferiore ai 40 m con una terminazione perpendicolare sulla parte destra.

Il pendio oggi appare molto irregolare ed è attraversato da fratture più o meno profonde disposte parallelamente al versante che hanno una lunghezza di alcune decine di metri. Tali fratture sono state interpretate come le evidenze superficiali degli scorrimenti in terra sopra descritti.

IL VERSANTE DI RENZUNO (carta geomorfologica in fig. 3d; fig. 12; fig. 13a; fig. 13b; fig. 14)

Il versante di Renzuno non è stato interessato da movimenti parossistitici nell'aprile 2005, ma possiede alcuni caratteri evidenti che lasciano presupporre ad uno scorrimento traslativo incipiente. Un dissesto di una certa rilevanza è avvenuto nell'inverno 2005 quando, in seguito ad un periodo particolarmente piovoso, si è aperta nel campo sovrastante la strada una frattura profonda di circa 2 m (Figura 12) con la venuta a giorno di consistenti quantità di acqua.

Nel settembre 2006, a causa di ulteriori movimenti su-



Figura 12 - La frattura apertasi nell'inverno del 2005 in mezzo al campo di Renzuno (foto G. Minardi).



Figura 13a - Traccia della probabile nicchia.



Figura 13b - Vista del cambio di vegetazione.



Figura 14 - La sezione longitudinale sul versante di Renzuno.

perficiali e della conseguente rottura della strada, si è resa necessaria l'installazione di un inclinometro e di due piezometri a diverse profondità per monitorare costantemente sia gli spostamenti del versante sia le variazioni del livello della falda.

Le indagini hanno permesso di riconoscere la presenza di un cuneo di roccia potenzialmente instabile delimitato a destra dal Rio della Valle e a sinistra da una scarpata che rappresenta la porzione principale dell'area instabile.

A monte della strada è stato osservato un brusco cambio di pendenza che si estende trasversalmente al versante in modo pressoché continuo per una lunghezza di circa 50 m. Questa rottura di pendenza è stata interpretata come la traccia di una corona di distacco legata a un movimento traslativo incipiente lungo piani di strato (Fig.13a).





Il lento spostamento del versante è stato registrato dall'inclinometro installato dal Consorzio di Bonifica, che ha individuato, ad una profondità di 24 m, un piano di rottura netto in roccia. Le misurazioni, effettuate dell'ottobre 2006 all'ottobre 2007, hanno mostrato una velocità media di 2-3 mm/anno. Durante tale periodo il trend degli spostamenti ha inoltre subito una fase di netta accelerazione in corrispondenza di un importante precipitazione con un movimento quantificato dall'inclinometro in 2.9 mm in un solo mese.

Un'evidenza indiretta di movimento è inoltre fornita da due tralicci dell'alta tensione, posizionati uno a monte e l'altro a valle della strada, che presentano i cavi più tesi rispetto al resto della cablatura. L'apertura di una frattura in profondità ha portato ad una leggera alterazione nel flusso idrologico con l'evidenza superficiale di una crescita differente della vegetazione erbacea (Fig.13b).

Verso Ovest, a prolungamento della supposta corona di distacco, si è aperta una frattura larga alcuni centimetri e lunga circa 60 m. Questa frattura indica che il dissesto potrebbe coinvolgere un'area decisamente più vasta del cuneo sopra indicato, arrivando ad interagire direttamente con alcune strutture antropiche.

VALUTAZIONE AREALE DELLA SUSCETTIVITÀ DA FRANA

Le frane di Roncosole, Ozzanello e Meleto mostrano due importanti caratteristiche comuni: i) sono avvenute su versanti isostrutturali o con strati a franapoggio meno inclinati del pendio; ii) hanno determinato l'arretramento di scarpate in roccia preesistenti lungo le quali si è avuta la fuoriuscita del piano di scorrimento.

Partendo da queste semplici osservazioni è stato sviluppato un metodo di ricerca automatica su piattaforma GIS che consente di individuare, su un'area vasta, i versanti con tali caratteristiche e quindi potenzialmente suscettibili di fenomeni franosi per scorrimento traslativo in roccia.

L'area di studio (33 km²) si presta bene a sviluppare e testare un metodo di ricerca di questo tipo essendo omogenea dal punto di vista litologico e caratterizzata da un assetto strutturale essenzialmente monoclinalico. L'elaborazione di seguito presentata è stata condotta con l'uso del software *ArcMap 9.0* di *ESRI ArcGis® v. 9.0* e dei suoi moduli principali: *Spatial Analyst, 3D Analyst* e *Geostatistical Analyst*; parallelamente all'utilizzo di *ArcView GIS 3.2* e dei suoi moduli: *3D Analyst, Grid Analyst Extension, Spatial Analyst.*

PROCEDURA DI ELABORAZIONE

La procedura di elaborazione è articolata in 3 fasi distinte. La fase 1 prevede la creazione di quattro raster: due descrivono l'assetto degli strati a partire dai dati puntuali di giacitura (raster della direzione di immersione e dell'inclinazione) e due l'assetto dei versanti a partire dal DEM (esposizione e inclinazione). La fase 2 opera un



Figura 15 – Diagramma che illustra l'ordine concettuale dell'elaborazione.

confronto incrociato di questi raster al fine di individuare i versanti isostrutturali o che presentano le condizioni di franapoggio con strati meno inclinati rispetto al versante. La fase 3 incrocia il raster così ottenuto col raster delle zone di scarpata derivato dalla carta dell'inclinazione dei versanti.

Il diagramma di flusso in Fig.15 mostra l'ordine concettuale dell'elaborazione.



Figura 16 - Dati puntiformi di giacitura (242 dati).





FASE 1: CREAZIONE DEI RASTER DI INPUT

1a) raster della direzione di immersione degli strati

Le misure puntuali di immersione degli strati (β_{imm}) (fig. 16) sono state interpolate su una griglia a maglia quadrata di 10 m (pari alla risoluzione del DEM). L'interpolazione dei dati è avvenuta considerando anche giaciture esterne all'area indagata, in modo tale da non commettere errori di interpolazione nell'intorno del limite. Occorre però sottolineare un aspetto peculiare che riguarda l'interpolazione dei valori di immersione degli strati. Se prendiamo ad esempio due valori di immersione di 30° e 330°, la semplice interpolazione, ovvero la media aritmetica, restituirebbe il valore di 180°, opposto al valore reale che sarebbe di 0° (vedi esempio in figura 17).

Per ovviare a questo problema è stato applicato il metodo suggerito da Davis (1986) e Clerici et al. (1993). Il metodo consiste nell'interpolare separatamente i due raster del seno e del coseno della direzione d'immersione e di calcolare il raster finale come arcotangente del loro rapporto. Nell'elaborato di tesi è riportata la sintassi per *MapCalculator* che determina la correzione dei valori del seno in base al quadrante di appartenenza.

1b) raster delle inclinazioni degli strati

Il raster dell'inclinazione degli strati (β_{inc}) è stato ottenuto direttamente dall'interpolazione dei dati puntuali. Dal raster sono state poi filtrate tutte le celle con strati inclinati meno di 5° (strati sub-orizzontali) perché essenzialmente stabili nei confronti degli scivolamenti su strato (vedi risultati delle analisi di stabilità; Andreis, 2008).

1c) raster dell'inclinazione e dell'esposizione dei versanti (fig. 18 e 19)

l raster di inclinazione (α_{inc}) ed esposizione (α_{asp}) dei versanti sono stati derivati utilizzando le funzioni slope e aspect presenti nel modulo *Spatial Analyst* a partire dal





0°



Figure 18 e 19 – Raster dell'inclinazione (0-90°) e dell'esposizione (0-360°) dei versanti.

DEM dell'area (maglia 10 m). Come noto, tali funzioni sono basate sull'analisi delle sole 8 celle circostanti la cella di interesse e per alcune applicazioni (ad esempio quelle idrologiche) possono risultare piuttosto approssimative.

Nel nostro caso, invece, il grado di accuratezza si è dimostrato ampiamente sufficiente.

FASE 2 : INDIVIDUAZIONE DEI RAPPORTI STRATO-VERSANTE

2a) identificazione dei versanti a franapoggio

Attraverso la differenza tra i raster dell'aspect dei versanti (α_{asp}) e dell'immersione degli strati (β_{imm}) si ottiene un primo raster del rapporto strati-versante. I valo-







Figura 20 - Frana di Roncosole: in nero le zone a franapoggio individuate secondo il criterio di Hoek & Bray (1977) 20°<(α_{asp} - β_{imm})<-20°; con campitura marrone il blocco scivolato nell'Aprile 2005



Figura 21 - Frana di Roncosole: in nero le zone a franapoggio individuate secondo il criterio adottato da Ercolessi (±60°); con campitura marrone il blocco scivolato nell'Aprile 2005.

ri angolari di tale differenza (α_{asp} - β_{imm}) possono teoricamente variare tra -180 e +180 ed inoltre, all'interno del range angolare possibile, sono presenti quattro valori che individuano la medesima situazione di franapoggio ad esempio: 60, 300, -60, -300.

Tale raster dovrà quindi essere ricondotto ai soli valori positivi ottendo così un raster delle differenze con il medesimo range dei dati di origine (0-360°). Dall'osservazione di questi valori possiamo osservare che minore è il valore e più tali direzioni risultano parallele, quindi il versante sarà in franapoggio al di sotto una soglia massima della differenza.

Al fine di definire il range angolare all'interno del quale una cella può essere classificata come "cella a franapoggio" si è fatto inizialmente riferimento al criterio proposto da Hoek & Bray (1977) per l'analisi cinematica degli scorrimenti planari in roccia.

Tale criterio afferma che, in un fronte di scavo arealmente poco esteso e con un discreto numero di giaciture puntuali, può essere considerato un intervallo di $\pm 20^{\circ}$ attorno alle condizioni di parallelismo ($\alpha_{asp} = \beta_{imm}$) affinché si verifichi lo scorrimento planare.

Il raster della differenza è stato quindi filtrato escludendo tutte le celle per cui 20°<(α_{asp} - β_{imm})<-20° ed è stata effettuata una prima verifica della validità del metodo sovrapponendo al raster delle celle a franapoggio i blocchi instabili delle frane studiate. Prendendo come esempio il confronto con la frana di Roncosole, si evidenzia quanto riportato in Fig.20.

Come si può notare, il criterio adottato appare troppo selettivo essendo escluse ampie zone risultate effettivamente instabili.

Tale criterio, in effetti, è finalizzato ad analisi di tipo puntuale (ad esempio analisi di stabilità di fronti di cava) dove tipicamente la precisione del dato di giacitura è sicuramente più elevata.

Incrementando man mano l'intervallo dei valori presi in considerazioni si arriva ad ottenere buoni risultati considerando il range adottato da Ercolessi (2004), il quale considera un intervallo di \pm 60° attorno alle condizioni di perfetto parallelismo.

In questo secondo caso i risultati sono certamente migliori (Fig.21)

2b) identificazione dei versanti isostrutturali e a franapoggio meno inclinato del pendio

Il raster dei versanti a franapoggio è stato quindi filtrato per individuare le sole celle con assetto isostrutturale o con strati meno inclinati del pendio. A tale scopo è sufficiente effettuare la differenza tra il raster dell'inclinazione dei versanti (α_{inc}) e quello dell'inclinazione degli strati (β_{inc}) e selezionare le sole celle in cui (α_{inc} - β_{inc})=0.

Anche in questo caso, però, è prudente identificare un valore di soglia inferiore a zero (versante isostrutturale) che tenga conto dell'inevitabile incertezza dell'inclinazione degli strati.

Le figure 22 e 23 mostrano un esempio delle prove effettuate utilizzando due valori di soglia a -5° e -10° (caso di Roncosole). Come si può notare, adottando il primo valore (fig. 22) vengono escluse ampie zone risultate effettivamente instabili, che comprendono nel caso in esame, l'area del blocco traslato. Passando ad una soglia di -10° si ottengono risultati migliori (fig.23).

Si è quindi deciso di utilizzare il criterio cautelativo (α_{inc} - β_{inc})>-10° e su questa base è stato prodotto il







Figure 22 e 23 - In azzurro sono evidenziate le zone a franapoggio con strati ugualmente o meno inclinati del pendio impostando il valore minimo delle differenze a -5° ed in giallo le zone ottenute con il valore di -10°, confrontate con la frana di Roncosole (rosso puntinato).

raster delle celle in cui lo scorrimento è ammissibile dal punto di vista cinematico.

2c) confronto con il vincolo geometrico (fig. 24)

Le zone caratterizzate da acclività molto elevata o da vere e proprie scarpate sono state individuate in modo molto semplice, utilizzando il raster della pendenza dei versanti.

Sono state eseguite varie prove di filtraggio sulle pendenze, e tramite confronto visivo con l'andamento delle isoipse sono state definite come "scarpate" tutte le celle con inclinazione $\alpha_{inc}>35^{\circ}$.



Figura 24 - In nero sono evidenziate le scarpate o più propriamente le zone con un acclività \ge 35°.

ELABORATI FINALI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Sulla base della procedura sopra descritta sono state ottenute due carte utili per la definizione dei versanti potenzialmente instabili rispetto a fenomeni di scorrimento traslativo in roccia. In Fig.25 sono indicati (in giallo) i versanti isostrutturali o con strati a franapoggio meno inclinati del pendio; in Fig.26 sono sovrapposte a queste aree le zone di scarpata che possono fungere da svincolo laterale per il movimento o permettere la fuoriuscita del piano di scorrimento al piede.

Per ottenere una stima qualitativa dell'affidabilità del metodo è stato effettuato un confronto con le aree individuate e le frane cartografate dalla Regione Emilia-Romagna (RER, 2003).

A tale scopo sono state considerate indistintamente le diverse tipologie di frane a1, a2 in modo da di avere un riscontro con le zone storicamente interessate dal dissesto.

Come si può notare in Fig.25, esiste un buon grado di sovrapposizione tra le aree individuate e quelle cartografate della Regione. Considerando poi anche il raster delle scarpate (Fig.26) è possibile eseguire un confronto più dettagliato su alcuni casi puntuali (frana di Roncosole e di Ozzanello; figure 27 e 28)

In entrambi i casi si osserva come il movimento si è attivato poiché le superfici di scivolamento avevano la possibilità di uscire in corrispondenza di una scarpata pre-esistente

Altri due esempi di versante potenzialmente instabili sono riportati nelle figure 29 e 30 assieme alle frane cartografate dalla Regione.

CONCLUSIONI

Il lavoro svolto in questa tesi ha permesso di ricostruire con un certo grado di dettaglio le caratteristi-







Figura 25 - In giallo sono evidenziate le zone a franapoggio con strati ugualmente o meno inclinati del pendio. In rosso puntinato sono evidenziate le sovrapposizioni delle zone del catalogo frane della Regione Emilia-Romagna 2003 considerando indistintamente le diverse tipologie di frane a1, a2 e a3.

Figura 26 - In giallo sono evidenziate le zone a franapoggio con strati ugualmente o meno inclinati del pendio. Le zone in nero rappresentano le scarpate o più in generale le zone con acclività maggiore di 35°.





Figure 27 e 28 - L'area cerchiata in blu mostra una zona con versanti isostrutturali o con strati a franapoggio meno inclinati del pendio (aree gialle), delimitata a valle da una scarpata (in nero). Tale zona coincide con il blocco coinvolto nella frana di Roncosole e di Ozzanello. In rosso è identificata la corona di distacco. La zona puntinata corrisponde all'intero deposito (blocco traslato e propagazione di detrito). Figura non in scala.



Figure 29 e 30 - In giallo i versanti isostrutturali o con strati a franapoggio meno inclinati del pendio e in nero le scarpate. Le zone in rosso individuano le frane in evoluzione (a1), in rosa le frane quiescenti (a2) ed in grigio le frane quiescenti parzialmente erose ed i depositi eluvio-colluviali (a3). Scala 1:8000.

che morfologiche e lo stile di attività di alcuni scorrimenti traslativi in roccia avvenuti nei dintorni di Casola Valsenio (RA) in occasione dell'evento pluviometrico del 10-12 Aprile del 2005.

Sono state studiate 3 frane in roccia di primo innesco (Frana di Roncosole, di Ozzanello e di Meleto) ed un movimento franoso incipiente (Renzuno) tutti classificabili come scorrimenti traslativi di roccia in blocco lungo piani di strato.

Tali movimenti mostrano caratteristiche del tutto simili: si sviluppano su versanti che mostrano condizioni isostrutturali o con strati a franapoggio meno inclinati del pendio e mostrano la presenza di scarpate che hanno funzionato da svincolo laterale per il movimento avendo permesso la fuoriuscita del piano di scorrimento al piede.

Si osserva infatti che per i casi di Roncosole e Ozzanello il movimento si è attivato poiché le superfici di scivolamento affioravano sul versante in corrispondenza di una scarpata posta a quote più basse rispetto a dove è avvenuta la rottura. Tali scarpate, in entrambi i casi, corrispondevano molto probabilmente a paleo corone di frane antiche.

Nel caso della frana di Meleto, nella situazione prefrana, l'incisione ad opera delle acque superficiali ha generato un impluvio abbastanza significativo che probabilmente ha funzionato da zona di svincolo al movimento, della piccola porzione di versante che è scivolato su strato verso valle.

Il riconoscimento di questi caratteri comuni ha permesso di sviluppare un metodo automatico su piattaforma GIS per l'individuazione dei versanti potenzialmente instabili.

Il metodo è stato applicato all'intera area di studio (ca. 33 km²), caratterizzata dall'affioramento della sola Formazione Marnoso-Arenacea in assetto essenzialmente monoclinalico.

Partendo dai dati puntuali delle giaciture sono stati





costruiti i raster delle inclinazioni e delle direzioni di immersione degli strati.

Dai dati vettoriali delle isoipse sono stati costruiti i raster dell'esposizione e dell'inclinazione dei versanti. Dalla combinazione dei 4 raster ottenuti si arriva all'individuazione delle zone aventi le condizioni di franapoggio con gli strati ugualmente o meno inclinati rispetto al pendio.

A tale elaborato sono stati infine sovrapposte le zone di scarpata, estrapolandole dai dati di inclinazione del versante.

Dall'osservazione di alcune di queste zone individuate è emerso che in più di un caso, le zone identificate hanno le scarpate che coincidono con le paleo corone delle vecchie frane (dal catalogo frane RER), a dimostrazione della tipica distribuzione dell'attività di tipo retrogressiva, della Formazione Marnoso-Arenacea.

Il metodo è semplice, di rapida applicazione, ed ha fornito buoni risultati nel confronto con le tre frane di Roncosole, di Ozzanello e di Meleto e più generalmente con le aree cartografate nel catalogo frane della Regione Emilia-Romagna del 2003.

Si ritiene pertanto che possa essere un valido aiuto per una prima individuazione dei versanti potenzialmente suscettibili di movimenti per scorrimento traslativo in roccia e che quindi tale metodo possa

mostrarsi di potenziale interesse nei confronti della pianificazione territoriale.

Per quanto riguarda l'attendibilità di tali risultati, occorre comunque sottolineare che i raster su i quali vertono tali osservazioni sono stati ottenuti attraverso le interpolazioni di dati puntiformi di giacitura degli strati.

Essi risultano a volte troppo distanti e introducono un incertezza non risolvibile dagli algoritmi di interpolazione dei dati da puntuali ad areali.

Allo scopo di migliorare la significatività dell'analisi sarebbe quindi consigliabile integrare, per quanto possibile, i dati di giacitura in modo da avere raster di direzione di immersione e di inclinazione degli strati affidabile e sostanzialmente indipendente dal metodo di interpolazione.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare il prof. Matteo Berti (Università di Bologna) e i miei colleghi di tesi, il dott. Andreis Gionata, il dott. Bussi Andrea ed il dott. Poletti Jacopo che hanno partecipato alla realizzazione della prima parte del seguente lavoro, sviluppandone ulteriori aspetti.