

# Pericolosità da frana e pianificazione territoriale

**Carlo Elmi<sup>1</sup>, Mario L. V. Martina<sup>1</sup>, Maurizio Zaghini<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Dipartimento Scienze della Terra e Geologico-Ambientali, Bologna

<sup>2</sup> Geologo, libero professionista

## 1) PREMESSA

Il Dipartimento Scienze della Terra e Geologico Ambientali dell'Università di Bologna ha effettuato uno studio per conto dell'Autorità di Bacino Marecchia-Conca, avente per oggetto "Processi erosivi e di trasporto solido nel bacino del torrente Conca". Tale studio, di recente concluso, ha visto la partecipazione di un nutrito gruppo di lavoro<sup>1</sup>, tra cui gli estensori del presente articolo, e ha dato lo spunto per questa nota relativa alla pericolosità da frana ed ai limiti dell'utilizzo delle carte inventario del dissesto nella pianificazione territoriale, temi oggetto di molti dibattiti.

Nell'ambito dello studio eseguito uno dei principali problemi affrontati è stato la diversità di cartografie geologiche disponibili: il bacino del torrente Conca ricade infatti dal punto di vista amministrativo entro due regioni, le Marche e l'Emilia-Romagna.

Per la Regione Marche erano disponibili sia carte geologiche che geomorfologiche molto dettagliate (alla scala 1:10.000). In particolare la carta geomorfologica riportava una legenda di estremo dettaglio: tra i tematismi considerati la litologia del substrato, i depositi quaternari, le forme gravitative, le forme dovute alle acque correnti superficiali, le forme antropiche ecc.

Per la Regione Emilia-Romagna, per contro, si disponeva della Carta Geologica dell'Appennino rilevata alla scala 1:10.000 a partire dagli inizi degli anni '80.

Da questa carta geologica, rilevata soprattutto attraverso sopralluoghi diretti di campagna, sono state derivate, a partire dal 1996, delle Carte Inventario del Dissesto, originariamente alla scala 1:25.000.

Per quanto riguarda la cartografia geologica si sono riscontrate difficoltà nel cercare di uniformare la legenda della cartografia della geologica delle Marche con quella dell'Emilia-Romagna, per via delle diverse definizioni stratigrafiche e strutturali attribuite alle varie unità affioranti nel bacino.

Per gli scopi del lavoro ed in particolare ai fini della ge-

stione idrogeologica del territorio si è ritenuto più semplice elaborare una carta geologica in cui si sono accorpate le formazioni simili per litologia, età di formazione e rapporti strutturali, che nella regione in esame sono particolarmente complessi, adottando lo schema stratigrafico delle Carte 1:100.000 del Servizio Geologico d'Italia, rilevate alla scala 1:25.000.

Per quanto attiene la cartografia a carattere geomorfologico i problemi incontrati sono risultati assai più complessi. Innanzi tutto la Carta Inventario del Dissesto della Regione Emilia-Romagna non può essere considerata una vera e propria Carta geomorfologica e quindi non è confrontabile con la corrispondente della Regione Marche.

Inoltre per quanto riguarda lo stato di attività delle frane si nota una evidente discrepanza tra la cartografia delle Marche, ove i movimenti sono quasi tutti segnalati come attivi, e quella dell'Emilia-Romagna, ove, al contrario, sono quasi tutti indicati come quiescenti.

Per uniformare i dati si è ritenuto utile e necessario eseguire una nuova carta geomorfologica estesa a tutto il bacino, eseguita attraverso fotointerpretazione utilizzando i voli IGMI/RER anno 1985, IGMI 1996, Quick Bird 2002.

Lo studio di differenti strisciate aeree eseguite lungo l'arco di vent'anni è stato utile per seguire l'evoluzione dei movimenti franosi.

Gli elementi desunti sono stati restituiti su cartografia 1:25.000.

Dal 1985 ad oggi, si è rilevato un notevole incremento areale dei movimenti franosi; questi sono stati tutti classificati nella nostra cartografia come fenomeni in evoluzione, per i motivi che verranno precisati nel prosieguo.

Le suddivisioni introdotte riflettono un criterio genetico, ossia si sono distinti forme e depositi legati a differenti processi morfogenetici. Tuttavia con lo scopo di non appesantire la carta e di consentirne un uso mirato alla gestione del territorio, si è limitato l'uso dei simboli trascurando quelle forme di interesse puramente descrittivo e classificatorio. I processi cui si è dato maggiore risalto sono quelli legati alla gravità e alle acque correnti superficiali, processi che rivestono la maggiore importanza nell'area indagata.

<sup>1</sup> Gruppo di lavoro: dott. geol. Tiziana D'Angeli, dott. geol. Carlo Del Grande, prof. Carlo Elmi, prof. Monica Ghirotti, dott. Francesco Marabini, Ing. Mario L.V. Martina, dott. geol. Maurizio Zaghini.

## 2) ATTIVITÀ DELLE FRANE

Nel bacino del T. Conca la particolare natura geologica determina la presenza e la maggiore frequenza, fra le varie tipologie di movimenti, delle "colate di terra", dei colamenti superficiali lenti di suolo (reptazione o creep) o scollamenti della copertura su substrati argillosi. Per tutti questi tipi di movimenti ha poco significato parlare di frane attive o quiescenti.

Ogni tentativo di classificazione si riduce all'introduzione di criteri arbitrari o soggettivi, ad un appesantimento della cartografia e ad un'ulteriore difficoltà nella gestione del territorio, che da un lato può risultare inutilmente penalizzante, dall'altro può portare a sottovalutazione dell'effettiva pericolosità.

Nel caso dei crolli, non ha alcun senso questa distinzione: non è ovviamente possibile definire e tanto meno delimitare un "crollo quiescente", data la velocità dell'evento. Ma anche per le frane per natura più lente come i creep o per le stesse colate di terra la definizione di attività o inattività risulta impraticabile, sia in termini di parametri temporali, sia in termini di conoscenze disponibili su territori di vasta estensione. Si tenga presente che le frane di questo tipo hanno una grande diffusione, con indici di franosità spesso superiori al 50%.

Quando una colata passa dallo stato di attività allo stato di quiescenza? Quando una reptazione può considerarsi quiescente? È chiaro che la discriminante può esprimersi solo in termini di velocità ( $=0$  o  $>0$ ), ma va sottolineato che in entrambi questi tipi di frana la velocità non si annulla praticamente mai. Inoltre per alcune frane lo stato di attività o di inattività sono spesso contemporaneamente presenti nelle diverse parti dello stesso corpo franoso. Ad esempio, nelle grandi colate la porzione di piede è spesso completamente arrestata e stabilizzata, mentre nel tratto prossimo alla corona o nella parte alta del bacino di alimentazione i processi sono in atto, spesso con velocità rilevanti.

In conclusione, se lo stato di attività è coincidente con la fase parossistica del fenomeno, è una condizione che si verifica per tempi in genere molto brevi, dell'ordine di giorni-settimane: non ha pertanto alcun senso riproporre in un documento "fisso" o "istantaneo", come una carta del dissesto, un processo temporaneo.

Altro criterio, certamente più utile, se ci si riferisce ad una carta del dissesto o ad una carta geomorfologica generale, è quello della rappresentazione della potenziale pericolosità o riattivabilità di una frana. Questo concetto, dato ancora più importante, va rivolto non solo alle porzioni di territorio già interessate da frane, ma anche alle parti dove non è segnalato alcun movimento precedente. Spesso, infatti, almeno nel caso dei processi di versante, i vincoli, l'esclusione o la limitazione all'utilizzo del territorio sono fatti sulla base del "processo morfologico" già avvenuto e registrato sulla cartografia, ma non sulla base del processo prevedibile o delle condizioni potenzialmente pericolose.

Alla luce delle considerazioni suesposte è stata redatta la carta geomorfologica e la sua successiva rielaborazione in termini di "suscettività". Per questa si è anche tentato, su base soggettiva o attraverso approcci sistematici, di definire un grado, variabile da basso a medio-basso, medio, medio-alto, alto.

Una frana o una qualunque area potenzialmente franosa è contraddistinta da una certa intensità, valutata sulla base delle sue caratteristiche geomorfologiche, geometriche e cinematiche, e da una determinata probabilità di occorrenza.

La stima del grado di suscettività da frana per un'area o un sito particolare implica ovviamente la considerazione dei dati disponibili, in genere piuttosto scarsi nel caso di territori molto estesi.

## 3) UTILITÀ DELLA FOTOGEOLOGIA NELLO STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEI MOVIMENTI FRANOSI E NELLA POSSIBILE EVIDENZIAMENTO DELLE D.G.P.

Lo studio fotogeologico del territorio, indispensabile per l'elaborazione delle carte geomorfologiche, diventa particolarmente utile nell'individuazione e nel controllo dell'evoluzione dei movimenti franosi.

Si tenga presente che certi particolari possono sfuggire nel rilevamento di campagna, vuoi per l'aratura dei campi, vuoi per la presenza di una fitta vegetazione ecc..

Per quanto riguarda l'attività delle frane esso offre l'opportunità di studiarne l'evoluzione negli intervalli di tempo delle varie riprese aeree utilizzate.

È evidente che per frane a lenta o lentissima evoluzione anche lo studio fotogeologico ha dei limiti ben precisi in quanto l'intervallo di tempo studiato può essere troppo ristretto rispetto allo svolgersi dei processi morfodinamici.

Un'ulteriore possibilità che lo studio fotogeologico offre e di cui si è avuto riprova nello studio citato, è poi l'individuazione delle aree interessate da possibili deformazioni gravitative profonde. Si tratta spesso di scorrimenti traslativi o debolmente rotazionali di masse rocciose poco o affatto scompagnate.

Non si tratta di veri e propri depositi ma di forme che possono avere molta importanza nella valutazione del rischio di frana. Per scorrimenti in blocco si intendono scorrimenti profondi di masse rocciose di dimensioni cartografabili, al cui interno è possibile mappare unità litologiche del substrato; essi talora sono difficilmente delimitabili.

A volte tali spostamenti in blocco tendono localmente a scompagnare gli elementi strutturali ed ad influenzare il reticolo idrografico.

In particolare nel bacino studiato del Torrente Conca gli scorrimenti di maggiore estensione coinvolgono interi versanti, caratterizzati da trincee, reticolo idrografico in approfondimento e confluenze sospese rispetto alla pia-

na alluvionale. Spesso tale assetto favorisce fenomeni franosi di scorrimento-colamento per scalzamento al piede che rappresentano morfologie sovrapposte allo scorrimento vero e proprio. Quindi in sovrapposizione alle aree interessate dagli spostamenti in blocco frequentemente s'impostano anche corpi detritici e movimenti franosi superficiali.

La Carta Inventario della Regione Emilia-Romagna non riporta deformazioni profonde presumibilmente perché ricostruita sul rilevamento diretto di campagna, che difficilmente consente di riconoscere tali fenomeni che richiedono una visione d'insieme tipica dell'analisi fotogeologica o dell'osservazione ad ampio raggio.

#### 4) PREGI E LIMITI DELLE CARTE INVENTARIO DEL DISSESTO DELLA R.E.R.

Come accennato in precedenza, la Carta Inventario del Dissesto della R.E.R. è derivata della Carta Geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo, restituita alla scala 1:10.000, utilizzando rilievi diretti di campagna eseguiti a partire dai primi anni '80. Le Carte geologiche dell'Appennino emiliano-romagnolo sono state pubblicate negli anni successivi ed hanno rappresentato un indubbio sforzo in termini sia di risorse finanziarie che umane con l'utilizzo di numerosi geologi rilevatori. La scala prescelta fa di tale carta uno strumento particolarmente utile anche in campo professionale in quanto fornisce al geologo professionista un inquadramento delle problematiche geologiche di indubbia utilità e che difficilmente avrebbe potuto trarre da cartografie geologiche di minore dettaglio.

Tale carta geologica è stata successivamente utilizzata per derivarne una Cartografia del Dissesto, alla scala originaria 1:25.000, delle aree collinari e montane dell'intero territorio regionale in cui vengono cartografati i principali fenomeni di instabilità (frane attive, frane quiescenti, scivolamenti di blocchi, frane di crollo, principali scarpate rocciose), le zone caratterizzate da potenziale instabilità (depositi di versante s.l., depositi glaciali) e i depositi alluvionali (alvei fluviali e depositi alluvionali in evoluzione, depositi alluvionali terrazzati, conoidi).

Tali Carte del Dissesto hanno costituito la base di riferimento, in ambito territoriale, per i Piani Provinciali di Coordinamento (PTCP) e successivamente per i Piani Stralcio delle Autorità di Bacino (PAI). Quindi la cartografia geologica elaborata agli inizi degli anni '80 con l'intento di sopperire ad una carenza di informazione di carattere squisitamente geologico-geomorfologico si è trovata ad assumere delle valenze di carattere pianificatorio per le quali non era certamente destinata *ab initio*. La cosa assume particolare evidenza quando poi tali documenti vengono utilizzati *tal quali* come da assoggettare a vincoli. Ad esempio le aree interessate da movimenti attivi sono sottoposte a maggiori limitazioni d'uso rispetto a quelli quiescenti, ma non è detto che a

livello di pericolosità geologica le cose stiano necessariamente in questi termini.

Ad esempio è a tutti noto che nell'autunno 1996 e successivamente nel 2002, a seguito di piogge che hanno interessato l'intera regione Emilia-Romagna, si sono attivati o riattivati numerosi movimenti franosi; è stato possibile produrre in tempo reale un aggiornamento completo di tutti questi movimenti?

A nostro avviso i limiti più evidenti di tale tipo di carte del dissesto così concepite sono essenzialmente due:

- Difficoltà nell'individuazione e perimetrazione dei movimenti franosi dovuta alla presenza della vegetazione, alla lavorazione dei campi, alla difficoltà di riconoscere in sito le aree di coinvolgimento dei movimenti ecc.
- Difficoltà nell'aggiornamento della cartografia, che non può che essere di tipo *ex post*.

Molto più efficace ed economica, in ambito territoriale, è l'utilizzo della fotogeologia, in grado di sopperire ai limiti del rilievo diretto di campagna, di consentire un più efficace aggiornamento e, se operata su sequenze sufficientemente intervallate, di evidenziare la tendenza evolutiva dei versanti che ben si collega con le cartografie della suscettività di cui al capitolo successivo.

#### 5) UTILITÀ DELLE CARTE DELLA SUSCETTIVITÀ AI FINI DELLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

Al fianco delle Carte Inventario del Dissesto, un altro strumento di analisi della pericolosità di frana sono le carte della suscettività ai movimenti franosi. A differenza delle Carte Inventario, l'analisi della suscettività non si basa sul rilievo del territorio, ma generalmente su semplici modelli di instabilità dei pendii o sull'analisi statistica dei parametri geomorfologici del territorio. Le analisi sono fortemente condizionate dalla tipologia di frana considerata e pertanto presuppongono una classificazione degli eventi franosi rilevati in base ai meccanismi di innesco, alla litologia e alla morfologia del territorio. Le carte della suscettività ai movimenti franosi costituiscono un elemento conoscitivo molto utile ai fini della pianificazione in quanto costituiscono una mappatura della pericolosità da frana in base alla conoscenza del territorio stesso.

*La suscettività è intesa come la propensione del territorio al verificarsi di fenomeni franosi in relazione a diverse combinazioni di fattori preparatori, indipendentemente dal fatto che tali eventi si siano già realizzati, come quelli presenti nelle carte inventario del dissesto, o non si siano realizzati. Da questo punto di vista, le carte di suscettività rispondono meglio delle carte inventario agli scopi della pianificazione territoriale.*

Infatti da una parte le carte inventario, pur essendo una fotografia fedele dello stato del territorio, non forniscono una stima del grado di pericolosità di frana e per questo non possono suggerire gli usi che di quel territorio possono essere pianificati. Per contro, le carte di su-

scettività, stimando la propensione al verificarsi di un dato evento sulla base di dati rilevati offrono una lettura del territorio in chiave di previsione o di stima delle probabilità di un evento, e quindi sono di fatto la base conoscitiva su cui pianificarne gli usi.

È evidente che la valutazione della pericolosità geologica, secondo l'accezione canonica e completa del termine, implica dal punto di vista dell'applicazione a casi reali una serie di problemi non trascurabili, a causa della molteplicità e dell'elevato grado di indeterminazione delle variabili in gioco. La stessa valutazione della pericolosità acquisisce diversa difficoltà in relazione all'estensione dell'area di riferimento. L'analisi di una limitata porzione del territorio consente una migliore definizione delle condizioni al contorno, della geometria del problema, una più dettagliata raccolta ed elaborazione degli elementi significativi, permette la conduzione contestuale di più metodi, comporta tempi e costi sufficientemente ridotti e, in conseguenza di tutte queste motivazioni, garantisce il raggiungimento di un livello di attendibilità piuttosto elevato e l'ottimizzazione dei risultati. In contrapposizione, considerata la vastità areale, gli studi a carattere territoriale sono più difficilmente gestibili e necessitano quindi di approcci più consoni alla mole di informazioni trattate e al minor grado di dettaglio.

I fattori che contribuiscono alla pericolosità da frana so-

no solitamente suddivisi in due categorie: *preparatori* ed *innescanti*. I fattori *preparatori* rendono il versante suscettibile alla rottura, mantenendolo in condizioni di stabilità precaria e sono ad esempio: litologia, uso del suolo, quota, gradiente morfologico, esposizione, curvatura del versante. I fattori di *innesco* sono quelli che portano il versante in condizioni instabili attivando il fenomeno franoso in un'area con una certa suscettività e possono essere: precipitazioni, scioglimento delle nevi, scosse sismiche, erosione fluviale o marina, attività antropica, ecc. L'analisi dei fattori preparatori permette la previsione spaziale della pericolosità o "suscettività", mentre quella dei fattori di innesco la previsione temporale.

L'elevata difficoltà insita nella valutazione temporale di occorrenza di un fenomeno franoso permette di redigere, con sufficiente affidabilità, solo carte di suscettività alla franosità, che sono in grado di mostrare la propensione del territorio al verificarsi di fenomeni franosi in relazione a diverse combinazioni di fattori preparatori. Questo è particolarmente vero nelle valutazioni a scala di bacino che coinvolgono aree vaste, nelle quali il numero di fenomeni e la grande variabilità dei parametri in gioco non consentono un'analisi dettagliata alla scala del versante. Uno dei principali limiti nella valutazione della pericolosità, soprattutto a scala di bacino, risulta infatti l'impossibilità di ottenere informazioni certe sull'occorrenza e quindi sulle attivazioni delle frane. La

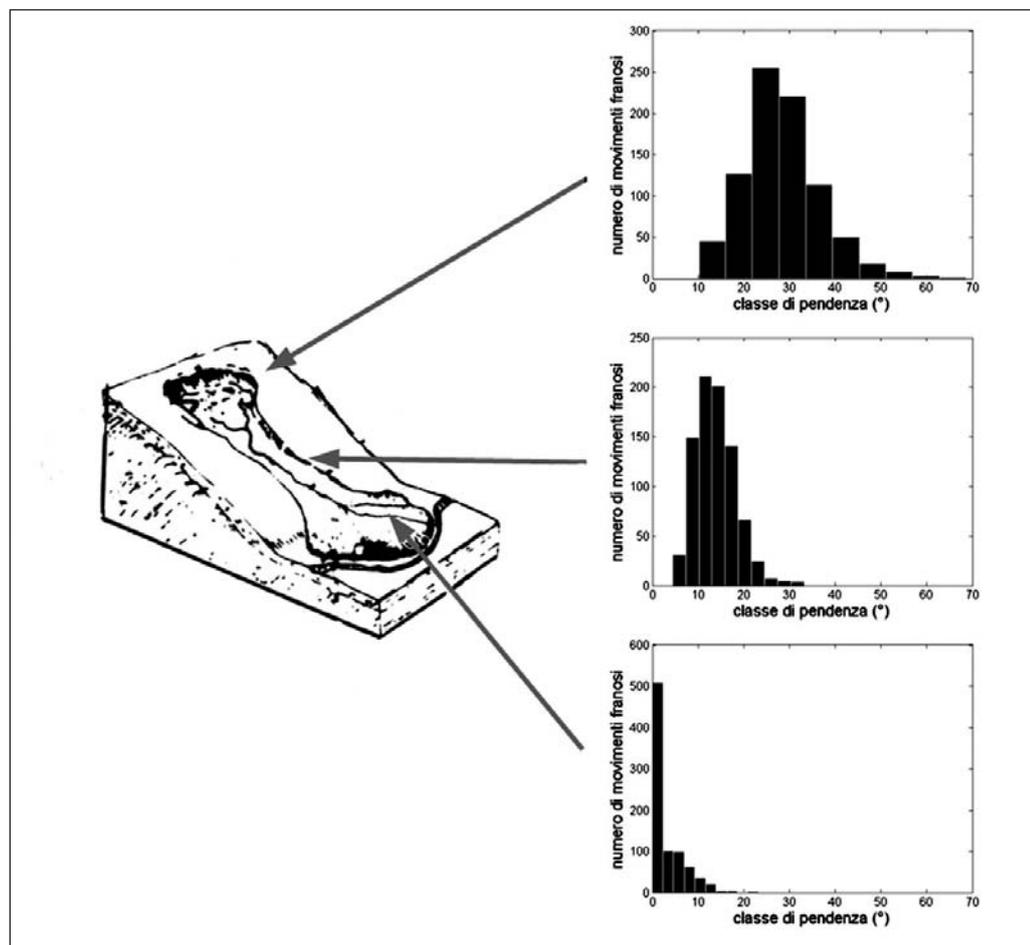


Figura 1 - Zone del movimento franoso di tipo 2 prese in considerazione per l'analisi della correlazione con la pendenza e relativi istogrammi di frequenza.

**Tabella 1 - Tipologia di movimenti franosi considerati nello studio della suscettività di frana per il bacino del torrente Conca**

|   | Tipo                                                                        | Sigla di Varnes                  | Litotipi di riferimento                                                 | Criteri geomorfologici e topografici                                                                                                                                                                                       |
|---|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Crolli e rotolamenti su versanti lapidei                                    | a                                | Calcareniti, Calcari, Calcari Marnosi, Gessi, Arenarie                  | - pendenza superiore a 40°                                                                                                                                                                                                 |
| 2 | Colata di terra<br>Scorrimento rotazionale + colata di terra                | r <sub>3</sub><br>s <sub>5</sub> | Argille, Argille Marnose                                                | - zona di impluvio<br>- a valle di una zona ad alta pendenza (> 35°) sempre in argilla<br>- zona di accumulo con pendenza inferiore 10°<br>- versante concavo                                                              |
| 3 | Colamento superficiale lento di suolo (reptazione o creep)                  | q <sub>4</sub>                   | Argille, Argille Marnose                                                | - pendenza intorno a 8°<br>- zona di potenziale accumulo di acqua nel suolo<br>- versante piano                                                                                                                            |
| 4 | Traslative di roccia in blocco (rocce stratificate) su versanti strutturali | j <sub>2</sub>                   | Arenarie poco cementate, Calcareniti<br>Alternanze di arenarie e peliti | - pendenza attorno ai 13°<br>- suoli stratificati<br>- a monte di una zona più pendente che favorisca lo scorrimento<br>- probabilità di frana crescente con la distanza dallo spartiacque<br>- versanti piani strutturali |

carta della suscettività connessa ai fenomeni franosi costituisce quindi un'interpretazione dello stato di natura, descritto e rappresentato nelle carte tematiche di base (litologia del substrato, morfologia dei versanti, inventario del dissesto, ecc.), finalizzata alla zonazione del territorio in aree con analoga probabilità di innesco di fenomeni franosi.

La valutazione e le procedure per la definizione e gestione della suscettività da frana si sviluppano come detto mediante diversi approcci sistematici o formali; essi spaziano dalle procedure puramente cartografiche a procedure che utilizzano criteri analitici o deterministici, a cominciare dalla definizione dello stato naturale presente. La procedura per realizzare una cartografia della suscettività è basata su una sequenza di livelli che portano alla definizione finale. Le carte della suscettività risultano dalla combinazione del pericolo (evento potenziale) e della sua probabilità di accadimento. Classificano la stabilità dei versanti di un'area in categorie di pericolosità espressa secondo scale che possiedono un certo grado di soggettività, ma che possono fornire nella loro schematicità utili indicazioni nella gestione del territorio.

La valutazione della suscettività ai movimenti franosi presuppone una definizione ed una classificazione dei movimenti franosi ai quali si intende riferirsi. La classificazione deve contenere per ciascuna tipologia del movimento franoso: (1) la descrizione dei meccanismi di franamento, (2) i litotipi su cui si verifica il movimento franoso e (3) le condizioni geomorfologiche del territorio. Questi dati sono allo stesso tempo caratteristiche osservabili sui movimenti già avvenuti e criteri per la indivi-

duazione della porzione di territorio che, possedendo gli stessi requisiti, può essere potenzialmente interessata dalla stessa tipologia di movimento franoso.

Nello studio condotto sul bacino del Conca si è ad esempio adottata la classificazione riportata in Tabella 1. Per ciascuna tipologia è stata adottata una metodologia diversa più adatta al caso in esame. Tuttavia le diverse metodologie condividono una procedura divisa in due fasi.

Nella prima fase sono analizzati statisticamente i dati morfologici, litologici e topografici delle frane rilevate e sono determinate le combinazioni dei parametri geomorfologici osservabili nei movimenti franosi. Nella seconda fase viene stimato per tutto il territorio un indice di suscettività di frana in base alle caratteristiche geomorfologiche: l'indice di suscettività è massimo dove le condizioni individuate nella prima fase sono tutte contemporaneamente verificate, mentre cala all'allontanarsi dalle condizioni di massima pericolosità.

A titolo esemplificativo si riportano le metodologie seguite per le classi di tipologia dei movimenti franosi riportati in Tabella 1.

#### 1) Crolli e rotolamenti su versanti lapidei

Per questo tipo di movimento di franoso si fa riferimento al tipo "a" della classificazione secondo Varnes 1978. Fra quelle presenti nel bacino del Conca, le litologie potenzialmente interessate da questo tipo di frana sono le Calcareniti, i Calcari, i Calcari Marnosi, i Gessi, le Arenarie poco cementate. Per il tipo di dinamica (crollo) e di

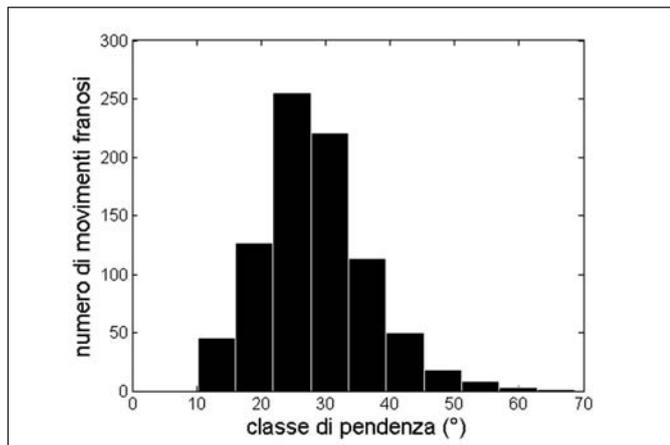


Figura 2 - Istogramma di frequenza della pendenza del tratto superiore dei movimenti franosi di tipo 2 rilevati nel bacino del Conca.

litologia (lapidea) il parametro fondamentale in base che determina la pericolosità che avvenga un crollo, ovvero il grado di suscettività, è la pendenza. In particolare si è ritenuto che il superamento di una pendenza di 40° possa considerarsi condizione necessaria (ma non sufficiente). Si sono quindi incluse tutte le aree adiacenti alle scarpate già interessate da crolli, in previsione di arretramenti delle stesse. Si sono inoltre inclusi tutti i versanti in materiali lapidei con acclività superiore ai 40°, dove possono prodursi fenomeni di rotolamento di blocchi o massi. Un incremento della pericolosità è stato assegnato agli affioramenti di unità epiliguridi, di solito interessati da intensa tettonizzazione.

## 2) Colate di terra e scorrimenti rotazionali con colate di terra

Per queste tipologie di movimenti franosi si fa riferimento alla classificazione secondo Varnes 1978, rispettivamente il tipo "r<sub>3</sub>" ed il tipo "s<sub>5</sub>". Le litologie potenzialmente interessate da questo tipo di movimento franoso

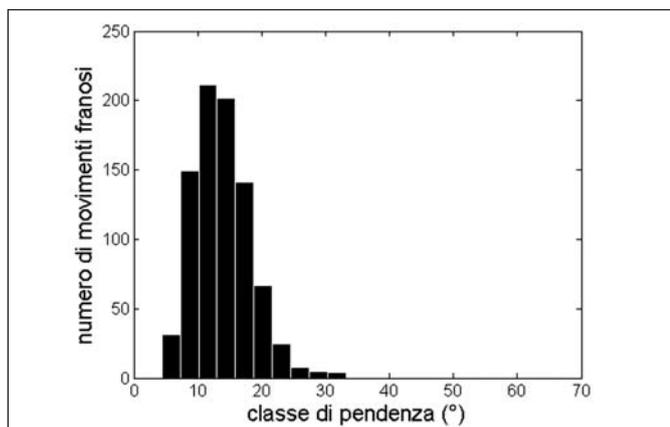


Figura 3 - Istogramma di frequenza della pendenza del tratto intermedio della zona di accumulo dei movimenti franosi di tipo 2 rilevati nel bacino del Conca

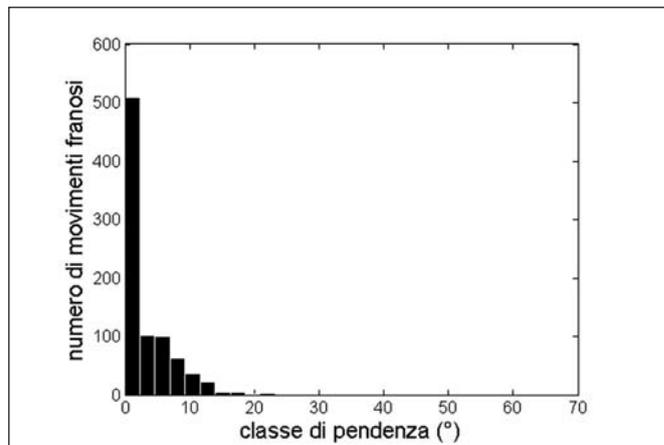


Figura 4 - Istogramma di frequenza della pendenza del tratto finale della zona di accumulo dei movimenti franosi di tipo 2 rilevati nel bacino del Conca.

sono Argille e Argille Marnose. I criteri per la stima di un grado di suscettività si basano su diversi parametri morfometrici e indici topografici. Si è cercato di tradurre in una forma oggettiva ed esprimibile in semplici algoritmi le condizioni di diversa pericolosità.

I versanti potenzialmente interessati da questa tipologia possono dirsi "concavi". Infatti la tipica morfologia è costituita da una zona estesa con pendenze dell'ordine dei 35° seguita da una zona di accumulo a valle con pendenze dell'ordine dei 10°. Questo è confermato dall'analisi di correlazione eseguita tra le diverse zone costituenti il movimento franoso di tipo 2 e la loro pendenza media. Le tre zone prese in considerazione sono, la zona centrale della colata, la zona iniziale di accumulo e la zona finale di accumulo (v. Figura 1) Infatti, dalle più di 800 frane di tipo 2 rilevate, risultano gli istogrammi di frequenza riportati in Figura 2, Figura 3 e Figura 4. Questi risultati sono stati utilizzati, assieme alla litologia, per poter identificare le aree suscettive per questo tipo di movimento franoso.

Infine, essendo la stabilità strettamente legata alla profondità della superficie piezometrica, ossia alla pressione neutra sulla superficie di scivolamento, è stato utilizzato un indice topografico noto in letteratura come Compound Topographic Index (o Wetness Index  $w_i$ ) per poter valutare il grado di suscettività di frana per ciascun movimento. L'espressione del  $w_i$  è molto semplice nelle ipotesi di omogeneità del suolo in termini di permeabilità a saturazione (ipotesi valida se si limitano le analisi a stessa litologia e tipo di suolo come nel nostro caso):

$$w_i = \frac{\ln \alpha}{\tan \beta}$$

dove  $a$  è l'area contribuente a monte del punto considerato per unità di lunghezza del tratto di deflusso, mentre  $b$  è la pendenza del terreno. Mediante l'indice topografico normalizzato si è stimato il grado di suscettività di frana per i movimenti franosi di tipo 2 identificati con la procedura sopra descritta.

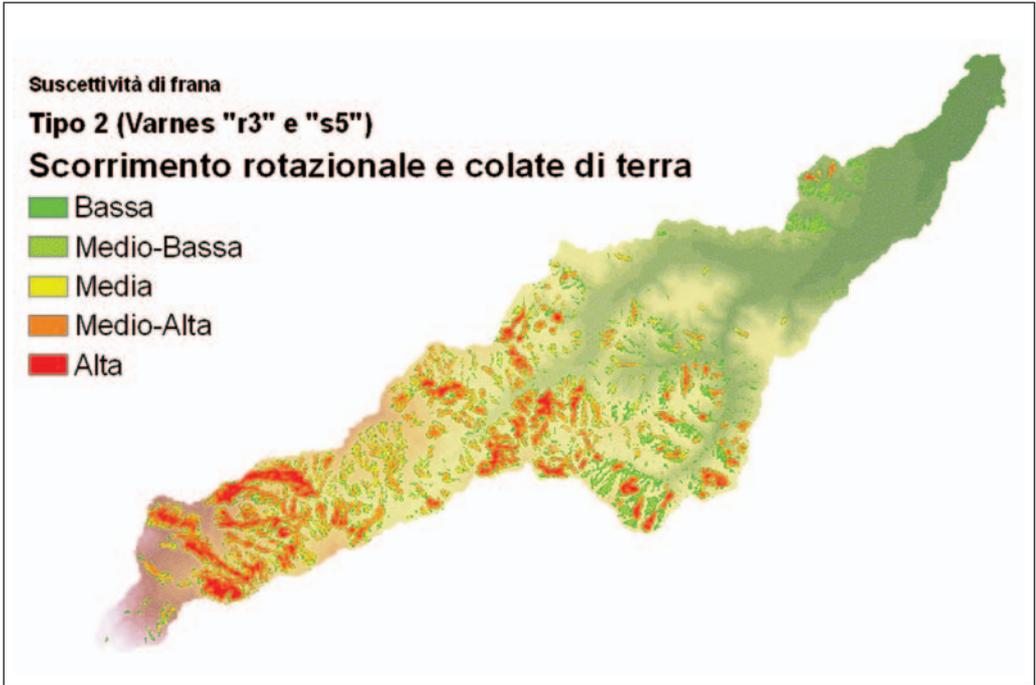


Figura 5 - Suscettività di frana per il tipo 2 "Colate di terra e scorrimenti rotazionali con colate di terra".

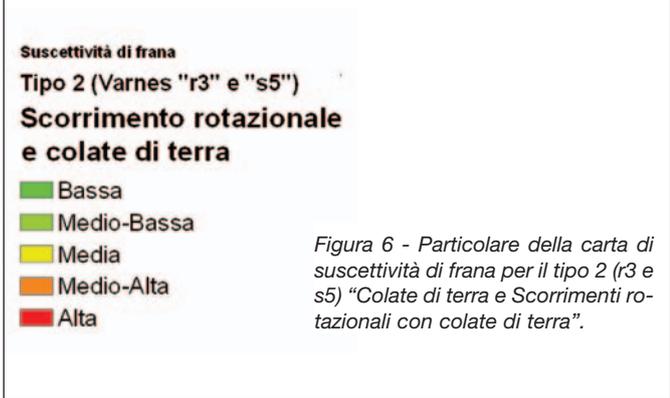
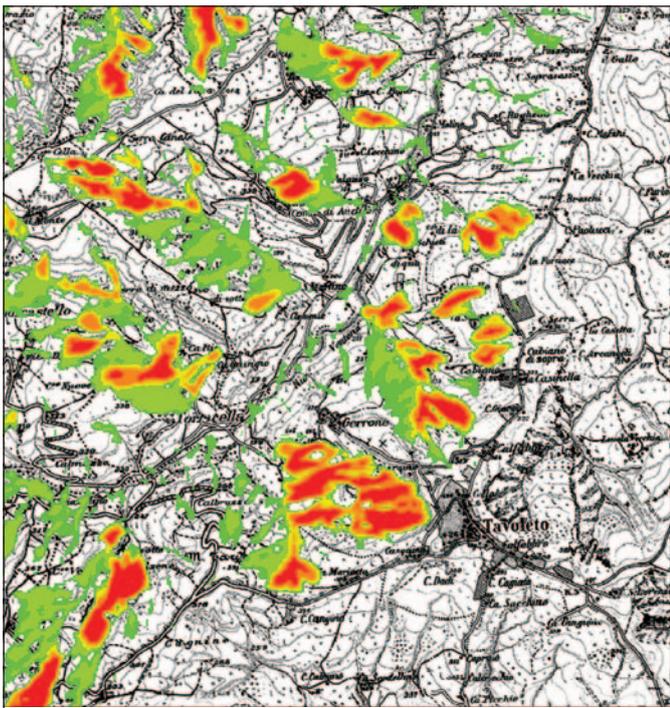


Figura 6 - Particolare della carta di suscettività di frana per il tipo 2 (r3 e s5) "Colate di terra e Scorrimenti rotazionali con colate di terra".

La mappa risultante dall'analisi ed un particolare sono illustrati rispettivamente in Figura 5 e Figura 6.

3) Colamento superficiale lento di suolo (reptazione)

Per questa tipologia di movimento franoso ( $q_4$ ), le litologie potenzialmente interessate sono Argille e Argille Marnose. I criteri per la stima di un grado di suscettività si basano su diversi parametri morfometrici e indici topografici. I versanti potenzialmente interessati da questa tipologia possono dirsi "piani". Infatti la pendenza del terreno non varia lungo il versante in maniera sensibile, ma grandi porzioni di territorio colano lentamente deformando lo strato più superficiale di coltre dando origine a delle tipiche pieghe ondulate (versanti a "toboga"). Inoltre le zone interessate di solito sono zone di convergenza e accumulo di acqua nel suolo, dove quindi il grado di saturazione favorisce il movimento. Infine la correlazione dei fenomeni di questo tipo con la pendenza è massima per valori dell'ordine degli 8°: pendenze minori non consentirebbero il movimento mentre pendenze maggiori favorirebbero altro meccanismi di instabilizzazione (es. scivolamenti planari).

Si è cercato dunque di tradurre in una forma oggettiva ed esprimibile in semplici algoritmi le condizioni di diversa pericolosità. Le zone potenzialmente interessate dal fenomeno sono state identificate in base alla curvatura media del versante, selezionando quei versanti che avevano una curvatura bassa (versanti piani). Il grado di suscettività è stato derivato invece dal prodotto dell'indice topografico normalizzato, descritto nel paragrafo precedente, ed un indice normalizzato derivato da una funzione di probabilità che descrivesse la dipendenza del fenomeno dalla pendenza del versante. La funzione

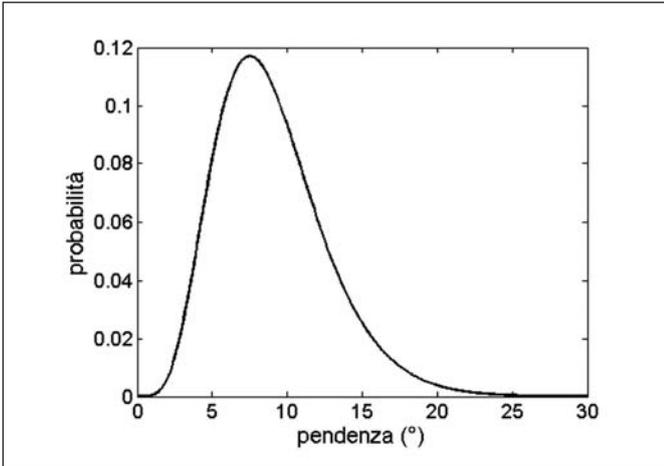


Figura 7 – Funzione di probabilità usata per la stima del grado di suscettività di frana per il tipo 3

utilizzata è rappresentata in Figura 7 dove è possibile vedere come la probabilità più alta corrisponde a inclinazioni di 8°. La mappa della suscettività di frana risultante da questa analisi è riportata in Figura 8, mentre in Figura 9 è riportato un ingrandimento.

4) *Movimenti traslativi di roccia in blocco su versanti strutturali*

Questo tipo di movimento franoso fa riferimento al tipo “j<sub>2</sub>”. Le litologie comprese nel bacino del Torrente Conca dove possono osservarsi movimenti di questo tipo sono le Arenarie poco cementate alternate a peliti marnose e le Calcareni stratificate (Alberese). Anche per questa tipologia i versanti sono piani e la superficie di stratificazione è parallela al piano di campagna, condizione che

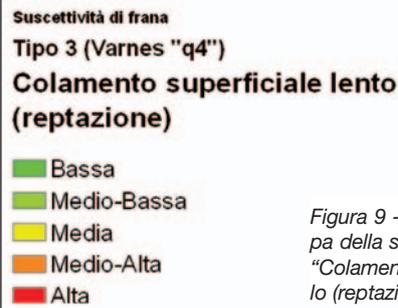
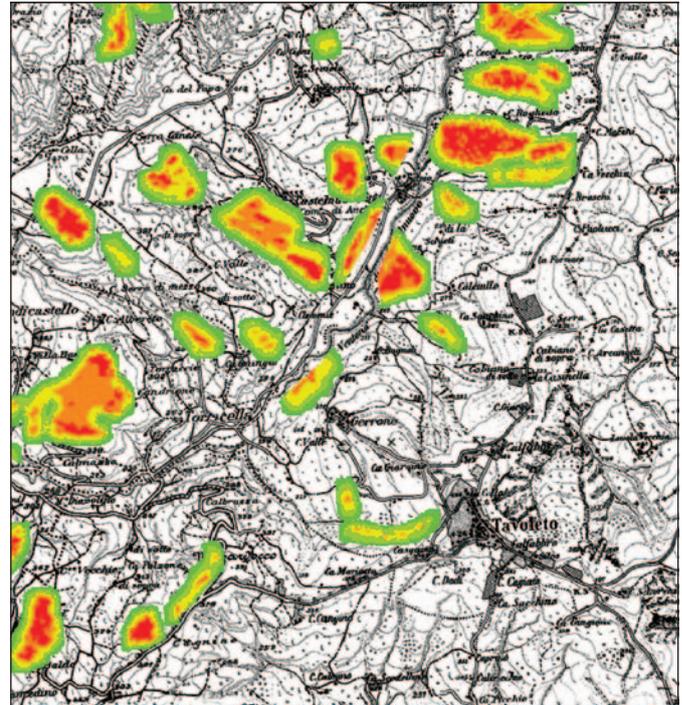


Figura 9 – Ingrandimento della mappa della suscettività di frana di tipo 3 “Colamento superficiale lento di suolo (reptazione)”

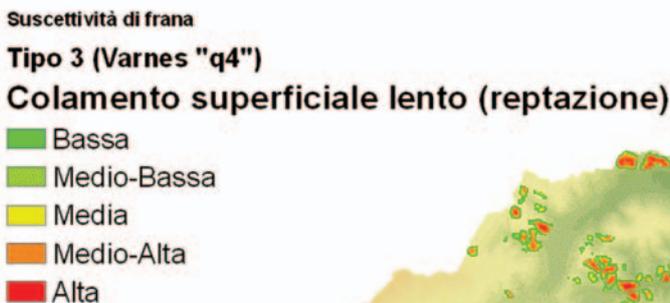
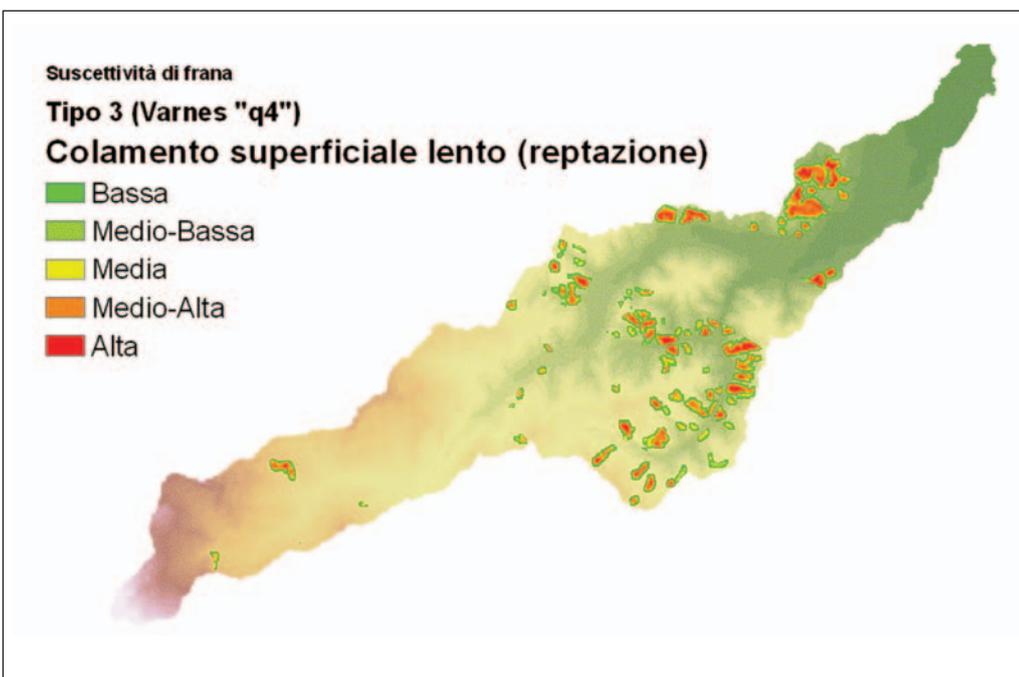


Figura 8 – Mappa della suscettività di frana di tipo 3 “Colamento superficiale lento di suolo (reptazione)”.

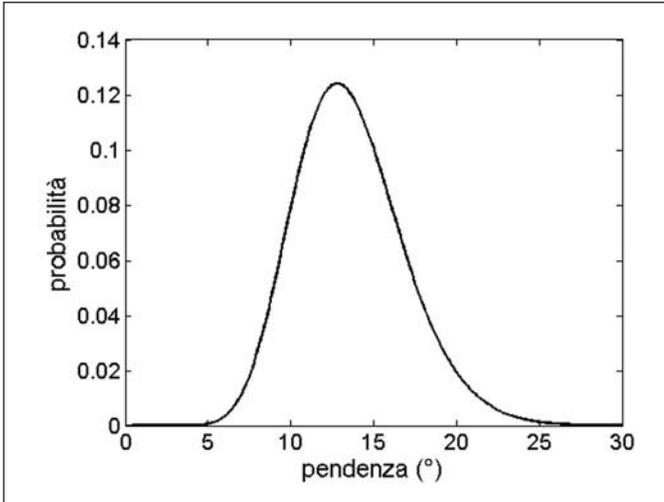


Figura 10 - Funzione di probabilità usata per la stima del grado di suscettività di frana per il tipo 4.

favorisce lo scorrimento lungo i giunti al contatto fra strati a diversa resistenza. La pendenza di massima correlazione è di circa 13°. Questa condizione si verifica a causa della pressione neutra che riduce le resistenze attrittive disponibili. La pressione neutra potrebbe ritenersi correlata positivamente alla distanza dallo spartiacque: esso infatti rappresenta la zona sorgente, di alimentazione, dell'acqua infiltratasi nel suolo ed allo stesso tempo il punto in cui la pressione dell'acqua è più bassa. Da quel punto in poi procedendo verso valle la

pressione cresce come in una falda confinata. Per questo si potrebbe considerare anche la pericolosità di frana correlata positivamente con la distanza dallo spartiacque.

Altra condizione necessaria perchè si realizzi il movimento è la presenza di una discontinuità strutturale al coronamento (diaciasi) e una rottura di pendenza secante la stratificazione (erosione al piede del versante). L'identificazione dei versanti potenzialmente interessati da questo tipo di frana è basata quindi sulle caratteristiche morfologiche (versante piano), mentre l'attribuzione di un grado di suscettività è basata sul prodotto di un indice topografico, che dipende dalla distanza dallo spartiacque, per una funzione di probabilità simile a quella definita per il caso precedente con probabilità massima in corrispondenza di 13°.

Queste frane, di neoformazione, si attivano in genere in versanti non ricompresi in aree in frana, tagliati al piede da processi di erosione fluviale. Hanno velocità elevata (m/ora) e dimensioni anche rilevanti, con larghezze superiori alle lunghezze. (Fig 10)

## 6) ESEMPIO DI UN VERSANTE DELLA BASSA COLLINA RIMINESE

L'esempio che vogliamo rappresentare è quello di un versante posto in comune di S. Clemente (RN) entro la cella idrografica del Rio Cibattina (Foto 1).



**Foto 1** – Il versante occidentale del Rio Cibattina fotografata dalla S.P. 35 bis S. Clemente-Morciano.

In basso a sinistra un piccolo laghetto posto in prossimità dell'alveo del corso d'acqua (Foto Zaghini).

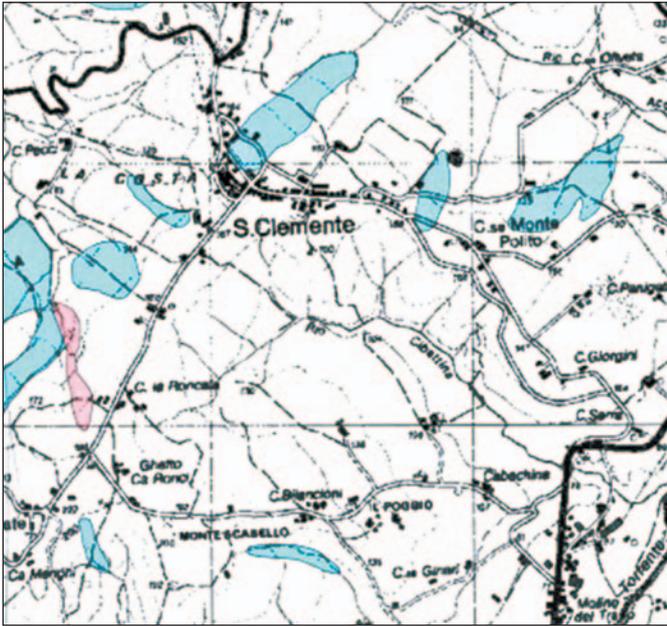


Figura 11 - Stralcio Carta Inventario del Dissesto RER (da Situa Prov. Rimini) per l'area in esame. In rosso chiaro le frane attive, in azzurro le quiescenti.

Si tratta di un versante, situato a sud del capoluogo di S. Clemente, che degrada con modeste pendenze (dell'ordine di 5°-6° circa) da Monte Scabello (199,8 m

s.l.m.) verso il Rio Cibattina. I terreni in affioramento sono rappresentati dalle "Argille azzurre" del Pliocene medio.

La Carta geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo della R.E.R. alla scala 1:10.000 individua il versante come strutturalmente disposto a franapoggio con strati che immergono verso mare con pendenze dell'ordine di 10° circa (cioè leggermente superiore alla pendenza del versante).

La Carta Inventario del Dissesto della R.E.R. alla scala 1:25.000 che si riporta in stralcio in Fig. 11 indica solo alcuni movimenti franosi quiescenti. Nella Figura 12, viene riportato l'aggiornamento della cartografia geologica annessa al PTCP recentemente adottato, in cui sono presenti ulteriori circoscritti movimenti franosi attivi.

La carta della suscettività da noi elaborata secondo i criteri esposti al capitolo precedente riporta ampie porzioni di versante ad elevato/alto rischio di frana (del tipo reptazione) (Fig. 13-14).

La carta geomorfologica (Fig. 15) eseguita attraverso fotointerpretazione riporta per la stessa area estesi movimenti franosi (cartografati come 'frana di scorrimento') per cui si è portati a concludere dall'esempio citato, e di molti altri riscontri avuti nel bacino del Conca, che ai fini della pianificazione

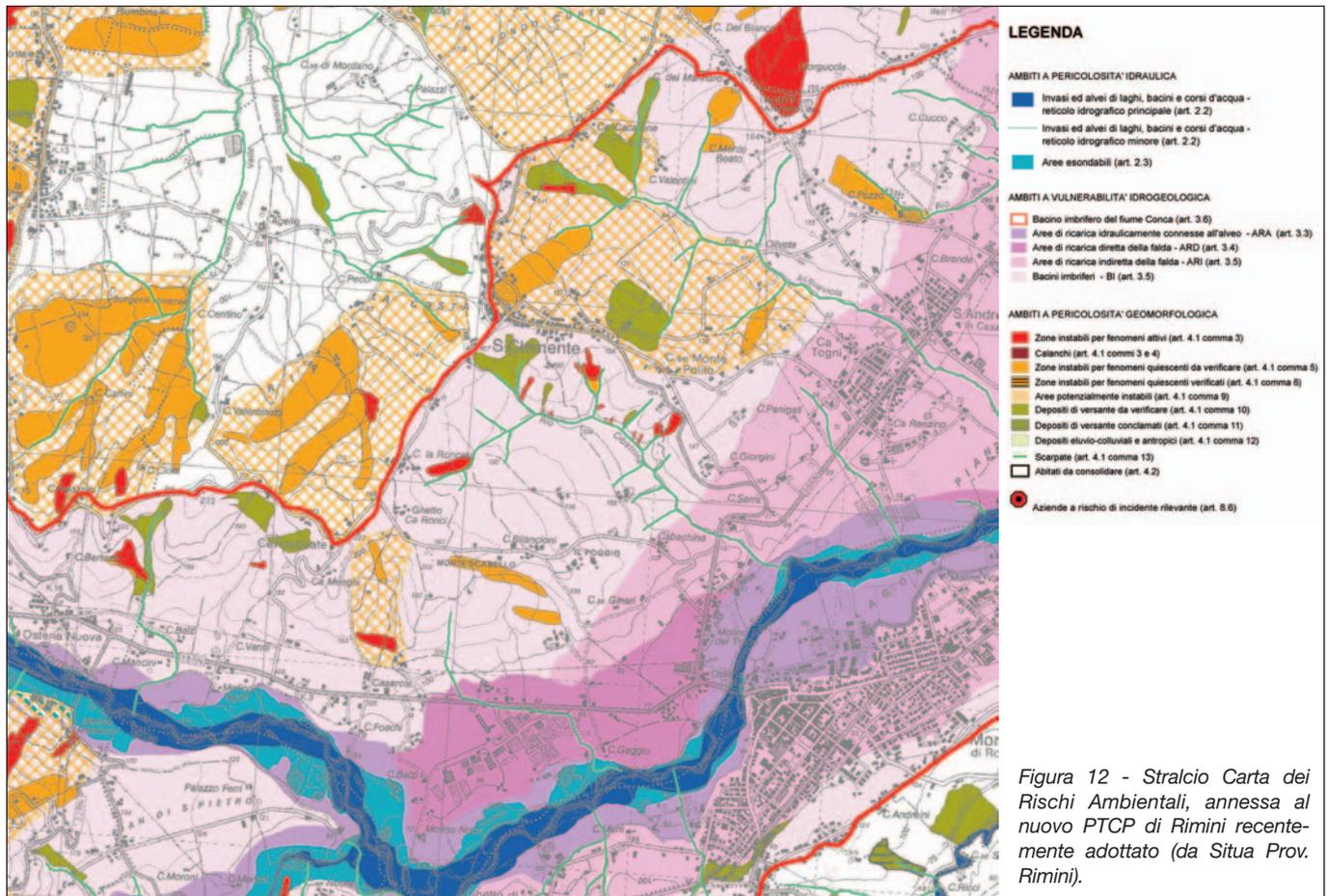
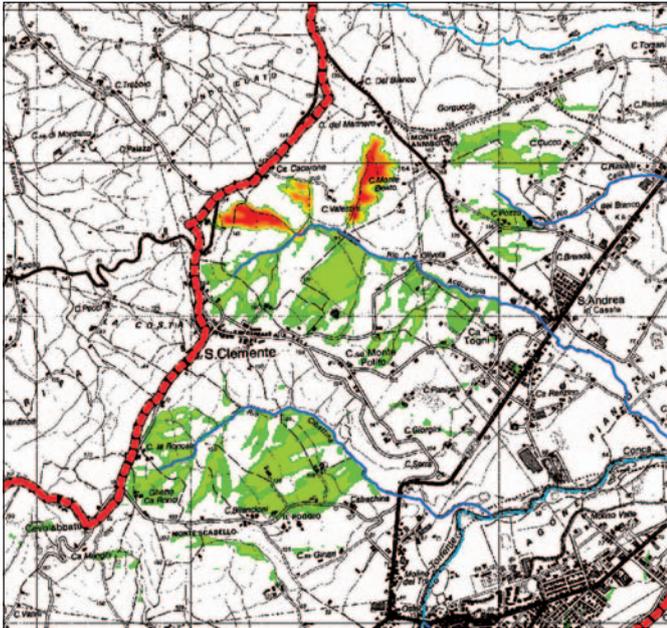


Figura 12 - Stralcio Carta dei Rischi Ambientali, annessa al nuovo PTCP di Rimini recentemente adottato (da Situa Prov. Rimini).



**Legenda**

**Tipo 1 (Varnes "a")**

**Crollo**



**Tipo 2 (Varnes "r3" e "s5")**

**Scorrimento rotazionale e colate di terra**



Bassa



Medio-Bassa



Media



Medio-Alta



Alta

Figura 13- Stralcio Carta della suscettività di frana del bacino del Conca Tipo 1 (Varnes a) Tipo 2 (Varnes r<sub>3</sub> e s<sub>5</sub>).

territoriale la combinazione di carte geomorfologiche elaborate attraverso analisi sequenziale di fotogrammi aerei, specie se l'intervallo di tempo è significativamente ampio, unitamente a carte della suscettività da frana, consentono di rappresentare la pericolosità dei versanti in modo più efficace che non le carte inventario e consentire quindi all'Autorità di Bacino competente di mettere in atto una più calibrata azione di pianificazione del territorio.

**7) CONCLUSIONI**

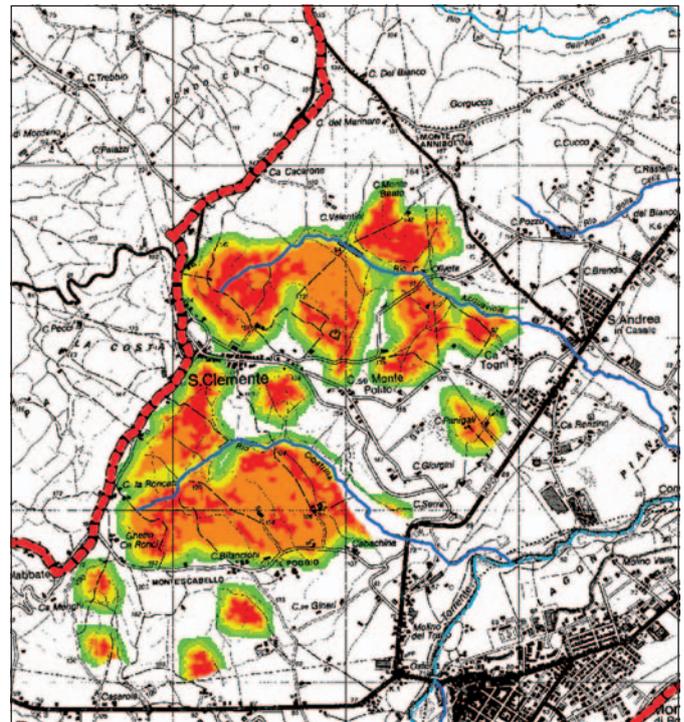
Nelle *carte geomorfologiche* i "processi" di versante, ed in particolare le frane, sono difficilmente rappresentabili, appunto per via della loro continua evolu-

zione, a differenza delle "forme" in generale, che sono l'oggetto classicamente rappresentato in questo tipo "fisso" di elaborato.

La carta geomorfologica è un'istantanea e non un "video" del territorio, e richiede continui aggiornamenti.

Rimane il fatto che l'aggiornamento di queste cartografie, ossia delle carte geomorfologiche, non può che essere di tipo *ex post* e quindi non possono essere considerate carte di previsione ai fini della pianificazione.

Le *carte della suscettività* ai movimenti franosi sono, per contro, un elemento conoscitivo molto più utile ai fini della pianificazione, in quanto costituiscono una previsione della pericolosità da frana, fatta in base alla conoscenza del territorio stesso e dei processi morfogenetici che in esso si sviluppano.



**Legenda**

**Tipo 3 (Varnes "q4")**

**Colamento superficiale lento (reptazione)**



Bassa



Medio-Bassa



Media



Medio-Alta



Alta

Figura 14 - Stralcio Carta della suscettività di frana del bacino del Conca Tipo 3 (Varnes q4).

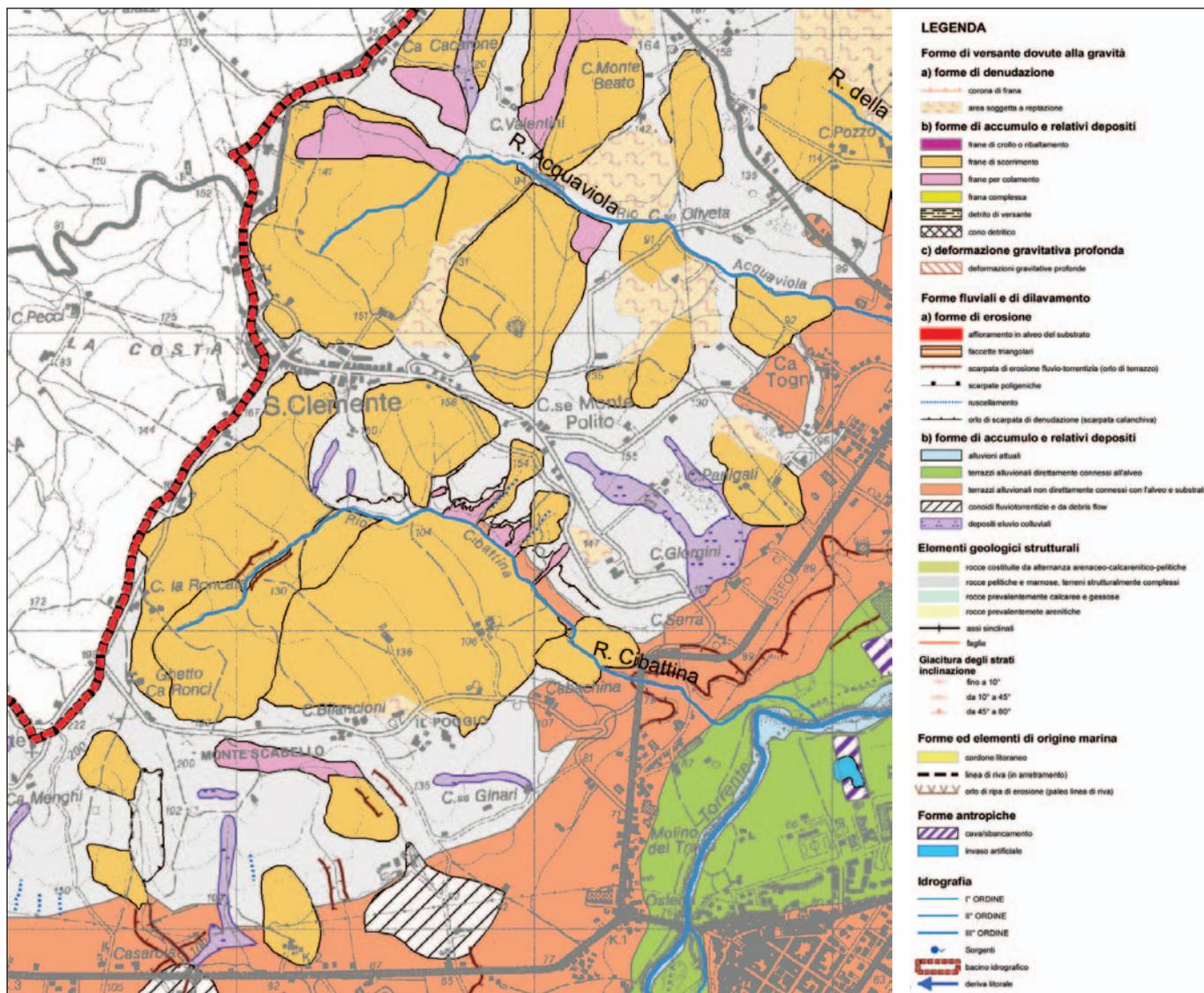


Figura 15 – Stralcio della Carta geomorfologica elaborata per PAI Marecchia-Conca relativa all'area in esame.

La suscettività è infatti intesa come la propensione al verificarsi di processi (tra cui i fenomeni franosi) in relazione a diverse combinazioni di fattori preparatori e innescanti, indipendentemente dal fatto che tali fenomeni si siano già realizzati, e perciò presenti negli inventari del dissesto, o non si siano ancora realizzati.

### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Autorità Interregionale di Bacino Marecchia-Conca: Progetto di piano stralcio per l'assetto idrogeologico (2001).  
 Ciarapica L., Corsi E., Morgagni A., Todini E.: Analisi territoriale e pianificazione ambientale: erosione e inquinamento diffuso in un piccolo bacino. Tesi di

laurea della Facoltà di Ingegneria, A.A. 2000-01. Università di Bologna.

Elmi C., Nesci O.: Landslides in Flysch formations in the Northern Apennines, Italy. In: Geomorphic Hazards, O. Slaymaker ed. Wiley & S., 1996.  
 D. Bastianelli, F. Carlini, M. Zaghini: Aspetti geologici, geomorfologici e geotecnici dei versanti collinari pliocenici del riminese. In: Il Geologo dell'Emilia-Romagna, Anno VI/2006 n. 22 nuova serie.  
 Elmi C., Nesci O., Tentoni L. : La piana del Torrente Conca e le pianure minori nord-marchigiane: forme, depositi ed evoluzione - Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, vol. 14 (1) 1991 pp. 113-117.  
 ARPA - Ingegneria Ambientale di Bologna: Progetto di Piano di Bacino Interregionale Marecchia-Conca – Difesa della costa – 2000.