

AUTORITA' DI BACINO INTERREGIONALE
MARECCHIA – CONCA


DIPARTIMENTO di SCIENZE della TERRA e GEOLOGICO-AMBIENTALI

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



CONVENZIONE DI RICERCA PER L' ELABORAZIONE DELLA CARTA
GEOMORFOLOGICA E DELLA CARTA DELLA SUSCETTIVITA' DI FRANA DEL
TERRITORIO DELL' AUTORITA' DI BACINO MARECCHIA E CONCA.

Gruppo di lavoro:

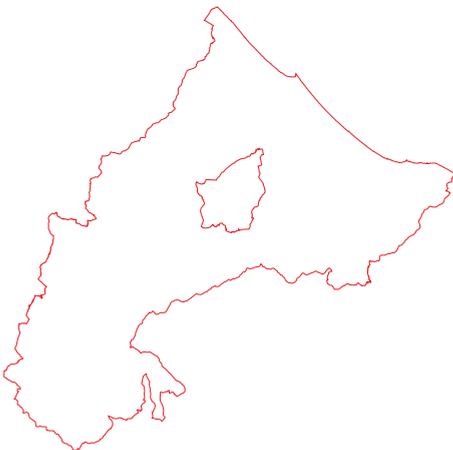
2011

Prof. Carlo Elmi
Prof.ssa Monica Ghirotti
Dott. Ing. Mario L.V. Martina
Dott.ssa Lucilla Tentoni
Dott.ssa Mara Marafioti
GeocoopRimini soc. coop.

RELAZIONE

TAVOLA:

C.01.01



INDICE

1	PREMESSA	2
2	LA CARTA GEOMORFOLOGICA	3
2.1	Inquadramento geologico	4
3	LITOLOGIA E STRUTTURE	7
4	PROCESSI DI VERSANTE (GRAVITÀ)	9
5	ANALISI DI SUSCETTIVITÀ DI FRANA PER IL BACINO DEL MARECCHIA	12
5.1	Premessa	12
5.2	Utilità delle carte di suscettività di frana	15
5.3	Classificazione dei movimenti franosi utilizzata	18
5.4	Metodologia adottata	19
5.4.1	Frane di colamento	19
5.4.2	Scivolamenti traslativi di roccia in blocco	20
5.4.3	Frane di crollo, ribaltamento, espansione laterale	21
5.4.4	Versanti irregolari da creep o da fenomeni complessi	21

1 Premessa

Nel 2006 si è conclusa tra questo dipartimento e l'Autorità di Bacino del Marecchia-Conca una convenzione di ricerca per attività di studio sui processi erosivi e di trasporto solido nel bacino del torrente Conca. Nell'ambito di questa convenzione è stata proposta e adottata una metodologia per la stima della suscettività di frana per il bacino del torrente Conca; sono stati altresì presentati diversi elaborati a corredo, fra cui la carta della suscettività relativa a diversi tipi di frana e la carta geomorfologica che ha uniformato e completato le differenti carte geomorfologiche esistenti nel bacino del Conca. Con questa convenzione si propone di estendere la metodologia ed i risultati ottenuti per la stima della suscettività di frana al bacino del Marecchia.

Lo scopo della convenzione proposta è di elaborare sul territorio dei bacini idrografici del F. Marecchia e del T. Conca una carta di suscettività di frana alla scala 1:25000 che identifichi il grado di pericolosità distinguendo fra i più comuni tipi di movimenti franosi quali: colata di terra, scorrimento rotazionale, scivolamento di roccia in blocco, crollo e ribaltamento, reptazione o creep e soliflusso.

A tal fine è stata aggiornata la carta geomorfologica, con rielaborazione di una legenda semplificata, finalizzata alla costruzione della carta della suscettività.

La metodologia proposta è la stessa che è stata adottata nel bacino del T. Conca nella convenzione 2006. In particolare si è fatto riferimento alla classificazione delle frane di Varnes 1978. Per ciascun tipo è stata implementato un metodo diversificato e adattato al caso in esame, con una procedura divisa in due fasi: nella prima fase si sono analizzati statisticamente i dati morfologici, litologici e topografici delle frane rilevate e si sono determinate le combinazioni dei parametri geomorfologici osservabili nei movimenti stessi. Nella seconda fase viene stimato per tutto il territorio un indice di suscettività di frana in base alle condizioni geomorfologiche, topografiche e idrogeologiche: l'indice di suscettività è massimo dove le condizioni individuate nella prima fase sono tutte contemporaneamente verificate, mentre cala all'allontanarsi da queste.

I risultati del presente studio sono orientati alla definizione non tanto dei dettagli geomorfologici quanto della pericolosità generale, utile all'AdB per la pianificazione del territorio. In altri termini, il criterio generale è quello di individuare e descrivere non solo lo stato di dissesto attuale, nelle varie condizioni di attività o quiescenza – dati per altro contenuti nelle carte già in possesso dell'AdB - ma anche e soprattutto la pericolosità da frana attesa in tutte le aree, cioè anche in quelle in cui le carte geomorfologiche non indicano la presenza di movimenti pregressi. In questo senso è inteso il titolo adottato di “carta della suscettività”.

Sono state elaborate e sono qui presentate:

- a) una carta geomorfologica alla scala 1:25000 elaborata attraverso fotointerpretazione e confrontata con le carte geotematiche della Regione Marche e Regione Emilia-Romagna e dalle relative banche dati informatizzate disponibili, con una uniformazione e semplificazione dei criteri e dei simboli della legenda.
- b) una carta alla scala 1:25000 della suscettività di frana per ciascun tipo di movimento franoso considerato;
- c) le note illustrative dei dati esaminati, delle metodologie adottate e dei risultati ottenuti.

2 La carta geomorfologica

Il criterio informativo della carta geomorfologica è stato quello di uniformare i dati provenienti dallo studio fotogeologico condotto con le carte disponibili, elaborate da tre diverse regioni. Tale omogenizzazione è stata condotta sulla base di una semplificazione generale, adattata sia alla scala del lavoro (1:25.000), sia alla finalità della carta, ossia come base della carta della suscettività. Sono quindi stati scartate tutte le voci che attenevano ad una descrizione puramente classificatoria delle forme, il cui impiego avrebbe inutilmente appesantito la carta limitandone la leggibilità. Nelle carte esaminate, che costituiscono la base e che sono servite per l'elaborazione di quella qui presentata, erano infatti descritte e distinte sia dal punto di vista genetico sia da quello morfologico o puramente geometrico, numerose forme, che abbiamo ritenuto non significative ai fini della costruzione dell'elaborato sostanziale di questa convenzione.

Nei limiti della scala adottata e dei tempi e modi della convenzione, la carta geomorfologica è stata aggiornata mediante l'analisi aerofografica, sempre nell'ambito dei processi di versante e nell'ottica della previsione delle frane, in particolare di quelle di grandi dimensioni nelle aree più vulnerabili e a maggior rischio.

La carta è suddivisa in 6 fogli. È stata inoltre allegata in un unico foglio una versione dell'intero bacino Marecchia-Conca.

2.1 Inquadramento geologico

Per la compilazione della carta geomorfologica, si sono prese in considerazione tutte le unità formazionali rappresentate nelle varie carte geologiche, di varia scala e contenuto, disponibili nell'area, con lo scopo di uniformare le diverse legende e di accorpate le unità in gruppi omogenei e confrontabili dal punto di vista delle risposte ai processi morfogenetici in atto.

Nel bacino del T. Conca e in quello del F. Marecchia, sinteticamente, sono presenti due domini strutturali, comprendenti successioni distinte, una di genesi autoctona e l'altra alloctona.

Il dominio Umbro-Marchigiano–Romagnolo o **serie autoctona** (Fogli 101, 108 e 109 della Carta Geologica d'Italia) è costituita da formazioni marine a prevalente composizione arenacea e argillo-marnosa, di età compresa tra il Miocene e il Pliocene, deposte in un bacino coincidente con la loro attuale posizione

Nella serie autoctona è intercalata, a livello del Pliocene inferiore, una coltre costituita da terreni di provenienza "ligure" o **serie alloctona**, nota come "Gruppo della Val Marecchia". Questa è costituita da un accorpamento più o meno disordinato di unità formate da argilliti caotiche ("Unità liguri") e, ad esse sovrapposte, da marne, arenarie, argille e calcari ("Unità epiliguri") di età compresa tra l'Eocene e il Messiniano. Queste si sono deposte in bacini non coincidenti con l'area di affioramento ma sono state traslate nella loro attuale posizione da prolungati trasporti di tipo tettonico.

Lo stile tettonico dell'area di studio è caratterizzato da una serie di pieghe parallele, ossia di larghe sinclinali separate da strette anticlinali, con vergenza adriatica, disposte a

formare un ampio arco che dalla Pianura Padana si sviluppa verso SE sino all'altezza del fiume Esino (Arco Nord-Marchigiano). La piana del torrente Conca in particolare è posta in corrispondenza di una linea ad andamento antiappenninco NE-SW (Linea del Conca).

L'intera fascia è in sollevamento, come mostrano la presenza a quote elevate oltre 1 200 m di depositi litorali tardo-pliocenici e del Pleistocene inferiore e nelle valli la presenza di terrazzi multipli e convergenti.

Le unità della Serie autoctona si presentano con un grado ridotto di deformazione, mentre le unità della Serie alloctona sono invece molto più deformate, con influenze evidenti sulle caratteristiche geomorfologiche (franosità, erodibilità) e idrogeologiche (tipo e grado di permeabilità).

Le sigle e le definizioni litostratigrafiche delle varie unità formazionali sono riassunte nella tab. 1 seguente.

Tab.1 Schema riassuntivo delle Unità litostratigrafiche

Sigle (C.G.d'Italia, Carte geol. regionali)	Unità autoctone appartenenti alla Serie Umbro-Marchigiano- Romagnola	Sigle C.G.d'Italia, Carte geol. regionali)	Unità alloctone "liguri" ed "epiliguri" appartenenti alla "Serie della Val Marecchia" o ai "Complessi Tosco- emiliani.
a	alluvioni attuali di fondovalle e corrispondenti depositi litorali. Sabbie e ghiaie		
f ₄	alluvioni ghiaiose e sabbiose (terrazzi IV ordine); depositi litoranei sabbioso-ghiaiosi recenti (Olocene)		
f ₃	alluvioni ghiaiose e sabbiose (terrazzi III ordine); conoidi limose dei corsi d'acqua minori (Pleistocene)		
f ₂	alluvioni ghiaioso-sabbioso limose, alterate e arrossate (terrazzi II ordine) Pleistocene		
P _a ³ P _a ² - P _a ¹ FAA	argille marnose azzurre, siltose, talora lievemente sabbiose Pliocene inf.med.sup.		
P ₂ ^s - P ₁ ^s FAA3 FAA2ap	sabbie e arenarie debolmente cementate, talora alternate ad argille marnoso siltose		

	Pliocene medio e inferiore		
M ⁵ _{3s} FCO FSD GHT	arenarie debolmente cementate con frequenti intercalazioni argillose FORMAZIONE A COLOMBACCI (e/o Fm. di San Donato p.p.) Messiniano superiore e medio		
M ⁵ ₂ GES	Gesso microcristallino, calcare talora solfifero, arenarie gessifera, con strati sabbiosi e marnoso argillosi interalati; FORMAZIONE GESSOSO-SOLFIFERA. Miocene, Messiniano medio e inferiore	g	Gesso selenitico (**)
M ⁵ ₁	marne argillose bianco-grigiastre a volte ocracee, bituminose, talora con frequenti strati sabbiosi intercalati Miocene Messiniano inferiore FORMAZIONE DEI GHIOLI DI LETTO (o Fm Marnoso-arenacea p.p. FAM)	cg CGE	argille azzurre e grigie, arenacee, con intercalazioni lignitifere Miocene Messiniano inferiore Tortoniano FORMAZIONE DI CASA I GESSI
		ms	arenarie poco cementate, con sottili interstrati argillosi e marnosi bruni. Talora conglomerati ad elementi grossolani FORMAZ. DI CASA MONTE SABATINO
M ⁴ ₃ SCH	alternanza di marne calcaree e calcari marnosi bianco grigiastri, talora con orizzonti di argille montmorillonitiche. Miocene Elveziano Tortoniano FORMAZIONE DELLO SCHLIER		
M ₂ bi	calcari marnosi grigio chiari, ben stratificati, talora selciferi, con marne grigie intercalate Miocene Langhiano FORMAZIONE DEL BISCIARO		
		sm SMN	calcari organogeni compatti e grigiastri Miocene Langhiano FORMAZIONE DI SAN

			MARINO
		mp	arenarie micacee brune, argilliti marnose policrome. Eocene - Oligocene FORMAZIONE DELLE MARNE DI MONTEPIANO
		al MML	torbiditi calcarenitiche, calcari marnosi bianco-giallastri, a grana fine e con frattura concoide; marne fogliettate Eocene FORMAZIONE DELL'ALBERESE (o di MONTE MORELLO)
		c AVV	terreni caotici eterogenei, prevalentemente argillosi con frammenti calcarei, marnosi, arenacei (o Argille varicolori)

3 Litologia e strutture

La base della carta geomorfologica è costituita da litologia e strutture. Le unità formazionali presenti nei due bacini e descritte nel precedente capoverso, sono state raggruppate in **quattro** tipi litologici fondamentali. Il criterio seguito in questa unificazione è stato quello del comportamento delle diverse formazioni nei riguardi dei processi morfogenetici ed in particolare di quelli gravitativi ed erosivi.

“PELITI”. Sono rappresentati come “PELITI” tutti terreni di tipo argilloso, limoso e marnoso, che vanno dalle unità pleistoceniche del margine appenninico, a quelle mioceniche della fascia mediana dei due bacini. Sono infatti analoghi i comportamenti nei riguardi dei porocessi di dilavamento e di franamento e simili le forme che ne derivano, come aree calanchive, frane di colamento, reptazione ecc. Comprendono le seguenti unità:

P_a^3 P_a^2 - P_a^1 FAA argille marnose azzurre, siltose, talora lievemente sabbiose Pliocene inf.med.sup.

“ARENARIE, ALTERNANZE ARENACEO-PELITICHE”: comprendono tutte le formazioni mioceniche in cui la componente arenacea è dominante, sia come litotipo prevalente in assetto stratificato o massiccio, sia come alternanza, gradata o meno, con peliti (siltiti e argille marnose). Sono incluse le seguenti unità formazionali:

P_2^S - P_1^S - FAA₃ - FAA_{2ap} - sabbie e arenarie debolmente cementate, talora alternate ad argille marnoso siltose Pliocene medio e inferiore

M_{3S}^5 - FCO - FSD - GHT - arenarie debolmente cementate con frequenti intercalazioni argillose Formazione a Colombacci (e/o Fm. di San Donato p.p.) Messiniano superiore e medio

ms - arenarie poco cementate, con sottili interstrati argillosi e marnosi bruni. Talora conglomerati ad elementi grossolani Formaz. di Casa Monte Sabatino

“TERRENI ARGILLOSI STRUTTURALMENTE COMPLESSI”: sotto la voce compaiono le unità, note col termine generico di argille scagliose: c, AVV, terreni caotici eterogenei, prevalentemente argillosi con frammenti calcarei, marnosi, arenacei (o Argille varicolori)

“CALCARI, ALTERNANZE CALCAREO-PELITICHE, GESSI”: sono infine stati rappresentati sotto questa voce tutte quelle formazioni incluse o sovrapposte alla coltre alloctona della Val Marecchia (unità epiliguri), aventi consistenza lapidea, spesso intensamente fratturate, caratterizzate da più elevata resistenza all'erosione e predisposte a fenomeni di crollo, espansione laterale o ribaltamento.

Sono comprese le seguenti unità formazionali:

MML, al, torbiditi calcarenitiche, calcari marnosi bianco-giallastri, a grana fine e con frattura concoide; marne fogliettate Formazione dell'Alberese o di Monte Morello

Sm, SMN, calcari organogeni compatti e grigiastri Miocene Langhiano Formazione di San Marino

M52, GES, Gesso microcristallino, calcare talora solfifero, arenarie gessifera, con strati sabbiosi e marnoso argillosi interalati, formazione gessoso- solfifera. Miocene

Gli elementi strutturali, presenti in legenda, sono le scarpate e i versanti strutturali, legati rispettivamente ai crolli-ribaltamenti e agli scivolamenti di roccia in blocco, la direzione e l'inclinazione degli strati, le faglie. Questi elementi sono significativi ai fini della ricostruzione della pericolosità di frana.

4 Processi di versante (gravità)

Per questi processi e per le forme ad essi correlate, con riferimento alla classificazione di Varnes, si è operata una semplificazione, adattando lo schema alla realtà geomorfologica locale.

I tipi di movimento che si sono osservati nell'area del BMC, in ordine di importanza e di diffusione sono le colate di terra, gli scorrimenti traslativi e rotazionali e i crolli. Sono altresì frequenti i fenomeni di tipo complesso, come i casi di scorrimento rotazionale e colata, crollo e colata.

Si è operata la scelta di non distinguere i casi diversi, raggruppando i fenomeni in classi semplificate, che si riducono sostanzialmente a tre:

1. colate, (r-2, r-3, s-5,)
2. scorrimenti traslativi (l) e rotazionali (i)
3. crolli, ribaltamenti ed espansioni laterali (a, d-1, m-2)

È stato introdotto un quarto tipo, ossia:

4. versante irregolare (da frane o reptazione)

Questa scelta è legata alla scala impiegata che non consente rappresentazioni troppo dettagliate e minuziose. Sono frequenti infatti dei versanti in cui si osservano irregolarità, contropendenze o variazioni di pendenza non legate alla litologia del substrato. Non sono visibili distacchi, fessurazioni o movimenti in atto o recenti e non sono ricostruibili o rappresentabili cartograficamente i processi che sono all'origine questa morfologia. È possibile che le forme siano legate a eventi separati nel tempo, ad accumuli di frana rimodellati naturalmente o artificialmente oppure a processi in atto di velocità molto ridotta, come la reptazione. I versanti irregolari presentano spesso una caratteristica conformazione ondulata, legata verosimilmente a scivolamento e "insaccamento" della copertura detritico- eluviale (versante a *toboga*, Elmi 2009).

A titolo esemplificativo si riportano le metodologie seguite per le classi dei movimenti franosi riportati in Tabella 2.

Tabella 2 - Tipologia di movimenti franosi considerati nello studio della suscettività di frana

	Tipo	Sigla Varnes	Litotipi di riferimento
1	Colata di terra Scorrimento rotazionale + colata di terra	r-3 r-2 s-5	Argille, Argille Marnose Terreni argillosi strutturalmente complessi
2	Scorrimento traslativo di roccia in blocco (rocce stratificate) su versanti strutturali	j-2	Arenarie, alternanze arenaceo-pelitiche e calcareo-pelitiche
3	Crolli, rotolamenti e espansioni laterali su versanti lapidei	a, d-1, m-2	Calcareniti, Calcari, Calcari marnosi, Gessi, Arenarie
4	Versante irregolare (da frane, reptazione o creep)	q-4	Argille e arg. marnose, Terreni argillosi strutturalm. compl.,

Sul criterio classificativo adottato, che può apparire alquanto semplificato, occorre spendere alcune parole.

In primo luogo non si è volutamente tenuto conto dello stato di attività delle frane. Il criterio di suddivisione in frane attive, quiescenti, stabilizzate e relitte è generalmente soggettivo, in particolare per le prime due classi, e necessiterebbe di misure di velocità e dati storici non disponibili. Inoltre la suddivisione meticolosa in queste classi, che unitamente alla classificazione del tipo di movimento porterebbe ad una legenda complicata, formata di 25 o 30 simboli, non è rilevante ai fini che ci siamo proposti. Più che lo stato di fatto, attuale, del processo, interessa conoscere la propensione alla franosità del versante, qualunque sia la forma, il processo, il deposito e il tipo litologico presente.

Quanto all'attività o alla quiescenza delle frane, va detto che tutte le frane presenti nel bacino hanno in genere evoluzione rapida, con tempi che variano da secondi (crolli) a giorni e mesi; per questo motivo si può affermare che tutte le frane sono di tipo

“quiescente” o al più “naturalmente stabilizzato” . Non risultano frane relitte o almeno non ci sono le conoscenze per considerarle inequivocabilmente tali. Le sole aree che indicano una “attività” dei movimenti sono quelle dei citati “versanti irregolari”, in cui il processo di traslazione è estremamente lento ma pur sempre in atto. Si faccia riferimento alla tabella seguente.

Classificazione dei movimenti franosi in base alle velocità

estremamente rapido velocità superiore a 3 m/s

molto rapido tra 3 m /s e 0,3 m /min

rapido tra 0,3 m al minuto e 1,5 m/giorno

moderato tra 1,5 m al giorno e 1,5 m/mese

lento tra 1,5 m al mese e 1,5 m /anno

molto lento tra 1,5 e 0,06 m /anno

estremamente lento inferiore a 0,06 m/anno

Occorre poi precisare che la frana in sé indica un adeguamento del versante a condizioni di sforzi in atto o pregressi e il raggiunto stato di maggiore stabilità rispetto alle condizioni iniziali. In tal senso è possibile che le condizioni di stabilità di un area corrispondente all'accumulo di frana siano analoghe a quelle di terreni simili non ancora franati.

Risulta perciò più completo individuare i tipi di processo gravitativo possibili e prevedibili sia nelle aree già interessate da frane, sia in quelle non ancora franate. In altri termini non si è fatta distinzione tra terreni già “ammalati”, con frane quiescenti o stabilizzate, e terreni ancora “sani” .

Nella rappresentazione delle frane, la scala usata, di scarso dettaglio, non consente inoltre di distinguere e individuare tutte le componenti del fenomeno: la frana comprende diverse parti, ossia la corona di distacco, la zona di trasporto e quella di accumulo, che possono talora essere anche a distanza considerevole le une dalle altre. Va precisato che a motivo della ridotta energia di rilievo, le tre componenti, ossia origine, zona di trasporto e accumulo, sono in prevalenza congiunte spazialmente. Il criterio adottato è stato pertanto quello di delimitare l'intera area in cui si sviluppa o si è sviluppato il processo, unendo area di acumulo e corona, almeno nelle frane di tipo r3, r2 e s5.

5 Analisi di suscettività di frana per il Bacino del Marecchia

5.1 Premessa

Lo scopo dello studio è quello di analizzare la suscettività di frana, intesa come la predisposizione del territorio ad eventi di instabilità, basandosi sulle informazioni cartografiche disponibili (DTM, carta geologica, carta geomorfologica), integrate da controlli estensivi mediante le fotografie aeree e da controlli puntuali sul terreno

Uno dei principali problemi di carattere geologico che ci siamo trovati ad affrontare è stata la diversità di informazioni cartografiche (di tipo geologico e geomorfologico disponibili).

Il bacino del fiume Marecchia ricade infatti dal punto di vista amministrativo entro le regioni Emilia-Romagna e Marche e parzialmente regione Toscana.

Per la Regione Marche avevamo a disposizione 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 presi in considerazione: la litologia del substrato, i depositi quaternari, le forme gravitative, le forme dovute alle acque correnti superficiali, forme antropiche ecc).

Per contro per la Regione Emilia-Romagna si disponeva della Carta Geologica dell'Appennino rilevata alla scala 1:10.000 agli inizi degli anni '90 (rilevamento anni 1990/95).

Da questa carta geologica, rilevata soprattutto attraverso rilievi diretti di campagna, sono state derivate, a partire dal 1996, delle Carte Inventario del Dissesto, originariamente alla scala 1:25.000. In tali carte vengono cartografati i principali fenomeni di dissesto ed 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).

Per quanto riguarda la cartografia a carattere geomorfologico i problemi incontrati sono risultati assai più complessi.

Innanzitutto la Carta Inventario del Dissesto della Regione E-R non può essere considerata una vera e propria Carta geomorfologica e quindi non era confrontabile con la corrispondente della Regione Marche. Infatti la carta era tratta da una precedente carta

geologica, in cui le frane erano rappresentate non tanto come forme e processi, ma come accumuli o prodotti di processi deposizionali in ambiente continentale emerso.

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

Per cercare di mettere ordine, considerato anche le finalità del nostro lavoro, abbiamo ritenuto utile e necessario eseguire una nuova carta geomorfologica estesa a tutto il bacino eseguita attraverso fotointerpretazione utilizzando i voli GAI 1955, IGMI 1996 messi a disposizione dall'AdB.

Lo studio di differenti strisciate aeree eseguite lungo l'arco di vent'anni è stato utile per studiare l'evoluzione dei movimenti franosi. Gli elementi desunti in tale studio sono stati restituiti su cartografia 1:25.000.

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.

Nel bacino del Marecchia la particolare natura geologica determina la presenza e la maggiore frequenza, fra i vari tipi di movimenti, delle colate e dei colamenti o scorrimenti superficiali di suolo. Per 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? E' 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 sopra esposte è stata redatta la carta geomorfologica e la sua successiva rielaborazione in termini di "susceptività". Per questa ultima si è tentato, attraverso approcci sistematici o in base a esperienza o a giudizi soggettivi, di definire un grado, variabile da basso a medio-basso, medio, medio-alto, alto.

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 susceptività 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. Lo studio fotogeologico del territorio diventa particolarmente utile in questo caso. Si tenga presente che certi particolari possono sfuggire nel rilevamento diretto di campagna, per la presenza di vegetazione, per il rimodellamento naturale o

artificiale (aratura) o semplicemente per il fatto che fenomeni complessi e arealmente estesi sfuggono ad una osservazione localizzata.

Per quanto riguarda l'attività delle frane, lo studio fotogeologico offre l'opportunità di studiarne la loro evoluzione negli intervalli di tempo delle varie riprese aeree utilizzate. E' 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. Lo stesso dicasi per fenomeni di frana in cui lo spostamento della massa franata è ridotto a pochi m.

Un'ulteriore possibilità che lo studio fotogeologico offre e di cui abbiamo avuto riprova nello studio citato sono poi la individuazione delle aree interessate da possibili deformazioni gravitative profonde. Si tratta spesso di scorrimenti traslativi o debolmente rotazionali, di masse rocciose poco o affatto scompaginate. Non si tratta di veri e propri depositi ma di morfologie che possono avere molta importanza nella valutazione del rischio di frana.

Per scorrimenti in blocco si intendono scorrimenti 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 scompaginare gli elementi strutturali ed ad influenzare il reticolo idrografico.

In particolare nel bacino studiato del fiume Marecchia gli scorrimenti in blocco di maggiore estensione coinvolgono interi versanti, caratterizzati da trincee, reticolo idrografico in approfondimento e confluenze sospese rispetto alla piana alluvionale. Spesso tale assetto favorisce fenomeni franosi di scorrimento-colamento per scalzamento al piede che rappresentano morfologie sovrapposte allo scorrimento in blocco. 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 tali deformazioni profonde presumibilmente perché derivata dalla carta geologica, quest'ultima eseguita, come già detto attraverso rilevamento diretto di campagna, il quale difficilmente consente di riconoscere tali fenomeni che richiedono per essere evidenziati una visione d'insieme tipica dell'analisi fotogeologica.

5.2 Utilità delle carte di suscettività di frana

Le carte della suscettività ai movimenti franosi sono uno strumento di analisi della pericolosità più raffinato e previsionale delle Carte inventario del dissesto. A differenza di queste, infatti, l'analisi della suscettività non si basa direttamente sul rilievo del territorio, (e delle sue forme derivate da fenomeni "pregressi"), ma è generalmente basata su semplici modelli di instabilità dei pendii o sulla analisi statistica dei parametri geomorfologici del territorio interessato da movimenti franosi. Le analisi sono fortemente condizionate dalla tipologia di evento franoso considerato 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. La suscettività è infatti 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, 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 le carte di suscettività, stimando la propensione al verificarsi di un dato evento sulla base di tutti i dati rilevati e disponibili e non solo sulla base della registrazione di eventi pregressi, offrono una lettura del territorio più completa, in chiave di "previsione" spaziale di un evento pericoloso.

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 sono 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: geologia, 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, attività antropica, ecc. L'analisi dei fattori preparatori permette la previsione spaziale della pericolosità o "suscettibilità", mentre quella dei fattori di innesco la previsione temporale: quest'ultima è ovviamente non realizzabile in questo contesto.

L'elevata difficoltà o l'impossibilità della valutazione temporale di occorrenza di un fenomeno franoso permette di redigere con sufficiente affidabilità solo carte di suscettibilità alla franosità, che sono in grado di mostrare la propensione del territorio ad essere soggetto a 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 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, inventario del dissesto, morfologia dei versanti, condizioni idrogeologiche generali), 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 descrizione dello stato naturale presente. La procedura è basata su una sequenza di livelli che portano alla definizione finale. Le carte della suscettibilità 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 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) il tipo litologico su cui si verifica il movimento franoso e (3) le condizioni geomorfologiche e idrogeologiche del territorio. Questi dati sono allo stesso tempo caratteristiche osservabili sui movimenti già avvenuti e criteri per la individuazione della porzione di territorio che, possedendo gli stessi requisiti, può essere potenzialmente interessata dallo stesso tipo di movimento franoso.

5.3 Classificazione dei movimenti franosi utilizzata

Nello studio condotto sul bacino del Conca si è ad esempio adottata la classificazione riportata in Tabella 2. Per ciascun tipo è stata adottata una metodologia diversa più adatta al caso in esame. Tuttavia le diverse metodologie hanno in comune 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 i criteri utilizzati per le classi di tipologia dei movimenti franosi riportati in Tabella 2

Tabella 3- Tipologia di movimenti franosi e relativi criteri per la suscettività di frana

	Tipo	Litologia	Criteri
1	Frane di colamento	Peliti Terreni strutturalmente complessi	<ul style="list-style-type: none"> • Zona di impluvio • A valle di una zona ad alta pendenza (> 35°) sempre in argilla • Zona di accumulo con pendenza inferiore 10° • Versante concavo
2	Frane di scorrimento traslativo e di rocce in	alternanza arenacea e	<ul style="list-style-type: none"> • Versanti strutturali • Pendenza 10 ÷ 11°

	blocco, versante a franapoggio (strutturale)	calcareo-pelitica rocce stratificate in genere	<ul style="list-style-type: none"> • Formazioni stratificate • Probabilità di frana crescente con la distanza dallo spartiacque
3	Frane di crollo, ribaltamento, espansione laterale	Areniti, calcari massicci, calcareniti gesso	<ul style="list-style-type: none"> • Pendenza superiore a 40°
4	Versanti irregolari (creep)	Argille, arg. marnose alternanze peliti-arenarie terreni strutturalmente complessi	<ul style="list-style-type: none"> • Pendenza intorno a 8° • Zona di potenziale accumulo di acqua nel suolo (compluvio) • Versante piano • Contropendenze • Variabilità della pendenza • "Toboga" = ondulazioni ripetute del versante

5.4 Metodologia adottata

5.4.1 Frane di colamento

Per queste tipologie di movimenti franosi si fa riferimento alla classificazione secondo Varnes 1978, rispettivamente il tipo "r3" ed il tipo q4". Le litologie potenzialmente interessate da questo tipo di movimento franoso sono argille, argille marnose e terreni strutturalmente complessi. 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.

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 limita le analisi a stessa litologia e tipo di suolo come nel nostro caso):

$$w_i = \frac{\ln a}{\ln \beta} \quad (1)$$

dove a è l'area contribuente a monte del punto considerato per unità di lunghezza del tratto di deflusso, mentre β è la pendenza del terreno.

5.4.2 Scivolamenti traslativi di roccia in blocco

Questo tipo di movimento franoso fa riferimento al tipo "j2" della classificazione del Varnes 1978. Le litologie comprese nel bacino Marecchia Conca dove possono osservarsi movimenti di questo tipo sono le Arenarie poco cementate alternate a peliti marnose e le alternanze calcareo-pelitiche. Anche per questa tipologia i versanti sono piani e la stratificazione è parallela al piano di campagna, condizione che favorisce lo scorrimento lungo i giunti al contatto fra diversi strati a diversa resistenza. La pendenza di massima correlazione è di circa 10-11°. Questa condizione è aggravata dall'incremento della pressione neutra che riduce le resistenze 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 o la profondità della superficie piezometrica è maggiore. Da quel punto in poi procedendo verso valle la pressione cresce come in una falda confinata. Per questo si potrebbe considerare la pericolosità di frana correlata positivamente con la distanza dallo spartiacque.

Altra condizione necessaria perché si realizzi il movimento è la presenza di una discontinuità strutturale (sistemi di diaclasi o faglie) o incremento di pendenza, (scarpata al piede) secante la stratificazione. Per questa caratteristica si potrebbe definire il versante convesso.

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.

5.4.3 Frane di crollo, ribaltamento, espansione laterale

Per questo tipo di movimento di franoso si fa riferimento al tipo “a” della classificazione secondo Varnes 1978 e subordinatamente ai tipi d-1 ribaltamento, m-2 espansione laterale. Fra quelle presenti nel bacino del Marecchia, le litologie potenzialmente interessate da questo tipo di frana sono le Calcareniti, i Calcari, i Calcari Marnosi, i Gessi, le Arenarie. Per il tipo di dinamica (crollo) e di litogia (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, espansione, ribaltamento o in casi eccezionali scorrimenti rotazionali.

5.4.4 Versanti irregolari da creep o da fenomeni complessi

Per questa tipologia di movimento franoso si fa riferimento alla classificazione secondo Varnes 1978 nominata q-4. I litotipi potenzialmente interessati da questo tipo di movimento franoso sono argille, argille marnose, terreni strutturalmente complessi (argille scagliose) e suoli sviluppati su substrati di questo tipo. 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 al terreno. Inoltre le zone interessate da questo tipo di fenomeno di solito sono zone di accumulo di acqua nel suolo dove quindi il grado di saturazione del terreno favorisce il movimento. In fine la correlazione dei fenomeni di questo tipo con la pendenza è massima per pendenze dell'ordine degli 8°, in quanto pendenze minori non consentirebbero il movimento mentre pendenze maggiori favorirebbero altro meccanismi di instabilizzazione.

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.