

DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE 5 novembre 2021, n. 1776

Valutazione integrata di dissesti geo-idrologici nel territorio della Regione Puglia, modelli interpretativi dei fenomeni e definizione di soglie di pioggia per il possibile innesco di frane superficiali. Presa d'atto e pubblicazione della "Carta Inventario delle Frane del Sub-Appennino Dauno".

Il Presidente, sulla base dell'istruttoria effettuata dal funzionario geol. Fabrizio Panariello, dalla P.O. Responsabile del Centro Funzionale Decentrato, ing. Tiziana Bisantino e confermata dal Dirigente della Sezione Protezione Civile, dott. Antonio Mario Lerario, riferisce quanto segue:

Premesso che:

- in ottemperanza alla direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 27 febbraio 2004 la Regione Puglia, con Delibera di Giunta regionale 26 novembre 2013, n. 2181 *"Procedure di allertamento del sistema regionale di protezione civile per rischio meteorologico, idrogeologico ed idraulico"*, ha istituito il Sistema di Allertamento regionale per il Rischio idrogeologico e idraulico in Puglia ai fini di Protezione Civile;
- tra i compiti del Centro Funzionale Decentrato, vi è quello di valutare gli scenari di rischio probabili dal punto di vista idrogeologico ed idraulico, di emettere eventuali avvisi di criticità idrogeologica ed idraulica regionale sulla base del raggiungimento e/o superamento dei livelli di criticità adottati in funzione di prefissate soglie pluviometriche, oltre che eseguire attività di monitoraggio e sorveglianza e di verifica dei livelli di criticità in essere e/o previsti;
- con decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 24 luglio 2013, pubblicato sulla GURI n. 220/2013, l'IRPI (Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica) del CNR è stato individuato quale Centro di Competenza del servizio nazionale di Protezione Civile operante, nell'ambito disciplinare di competenza esclusiva, nella definizione operativa delle metodologie per l'identificazione dei processi di innesco di fenomeni gravitativi e sviluppo delle modellazioni e della definizione delle procedure di valutazione della pericolosità dei fenomeni franosi e delle loro soglie idrometeorologiche;
- la Sezione Protezione Civile, sulla base di intese intercorse con il Dipartimento Nazionale di Protezione Civile, ha avviato, a partire dal luglio 2012, di concerto con il CNR-IRPI, attività finalizzate alla definizione di soglie pluviometriche di innesco dei movimenti franosi nell'area del Sub-appennino Dauno; tali attività hanno consentito la raccolta e l'analisi di dati confluiti in un catalogo degli eventi franosi superficiali pluviometrici, avvenuti nella Regione Puglia, contenente n. 22 eventi pluviometrici responsabili dell'innesco di n. 52 frane superficiali (numero insufficiente alla definizione di soglie con incertezza relativa inferiore al 10%, e quindi utilizzabili in sistemi di allertamento); sono state pertanto definite soglie preliminari per il Sub-appennino Dauno, che tuttavia necessitano di un incremento della popolazione di dati e di validazione;
- ritenuto opportuno proseguire le suddette attività, integrandole con un'attività di ricognizione sul territorio relativa alla verifica delle condizioni di stabilità dei versanti a seguito di eventi pluviometrici giudicati significativi in relazione ai valori preliminari di soglia attualmente disponibili, in modo da consentire una progressiva taratura ed affinamento delle stesse, con Delibera di Giunta regionale 30 dicembre 2013, n. 2612, la Regione Puglia ha approvato lo schema di convenzione tra Sezione Protezione Civile e CNR-IRPI, finalizzata alla *"Definizione di soglie pluviometriche connesse al possibile innesco di frane nell'area del Sub-Appennino Dauno"*;
- successivamente, con Atto dirigenziale 12 dicembre 2016, n. 239, è stato approvato l'accordo tra la Regione Puglia – Sezione Protezione Civile e CNR-IRPI, per l'attuazione del progetto P.O.R. Puglia 2014-2020, Asse V, Azione 5.1 *"Valutazione integrata di dissesti geo-idrologici nel territorio della Regione Puglia, modelli interpretativi dei fenomeni e definizione di soglie di pioggia per il possibile innesco di frane superficiali"*, nell'ambito del quale è stata prodotta cartografia tematica sulle frane del Sub-Appennino Dauno.
- con nota del 20 luglio 2021, acquisita al prot. n. AOO_026_8435 del 26 luglio 2021 di questa Sezione, a conclusione dei lavori previsti dal pacchetto WP5 – Redazione di cartografia tematica su frane del Sub-

Appennino Dauno, il CNR-IRPI ha trasmesso la “*Carta Inventario delle Frane del Sub-Appennino Dauno*” ed il relativo archivio digitale.

Visti:

- la deliberazione della Giunta regionale 26 novembre 2013, n. 2181, con la quale è stata dichiarata l’attivazione del Centro Funzionale Decentrato regionale;
- l’art. 11 del decreto legislativo 2 gennaio 2018, n. 1, che stabilisce le funzioni delle Regioni nell’ambito della Pianificazione territoriale di Protezione Civile;
- la legge regionale 12 dicembre 2019, n. 53, “*Sistema regionale di protezione civile*”;

Considerato che:

- la sopra citata “*Carta Inventario delle Frane del Sub-Appennino Dauno*” risulta funzionale alle attività del Centro Funzionale Decentrato regionale circa la valutazione degli scenari di rischio probabili dal punto di vista idrogeologico ed idraulico e conseguenti determinazioni ed azioni, oltre che al rafforzamento del sistema di pianificazione e gestione delle emergenze di protezione civile, nonché necessaria e fondamentale per il governo del territorio, la progettazione e pianificazione territoriale, attraverso l’aggiornamento del catalogo IFFI e del PAI;
- risulta necessario, per quanto sopra descritto, prendere atto del documento “*REDAZIONE DI CARTOGRAFIA TEMATICA SU FRANE NEL SUBAPPENNINO DAUNO*”, di cui all’allegato A, e della “*CARTA INVENTARIO DELLE FRANE DEL SUB-APPENNINO DAUNO*”, di cui all’allegato B, facenti parte integrante della presente deliberazione, realizzati nell’ambito del progetto P.O.R. Puglia 2014-2020, Asse V, Azione 5.1 “Valutazione integrata di dissesti geo-idrologici nel territorio della Regione Puglia, modelli interpretativi dei fenomeni e definizione di soglie di pioggia per il possibile innesco di frane superficiali” svolto in collaborazione con il CNR-IRPI;
- risulta altresì necessario rendere nota, attraverso la pubblicazione su apposita sezione del sito www.protezionecivile.puglia.it del documento “*REDAZIONE DI CARTOGRAFIA TEMATICA SU FRANE NEL SUBAPPENNINO DAUNO*” e della “*CARTA INVENTARIO DELLE FRANE DEL SUB-APPENNINO DAUNO*”, l’attività svolta dalla Sezione Protezione Civile di concerto con il CNR-IRPI.

GARANZIE DI RISERVATEZZA

La pubblicazione sul BURP, nonché la pubblicazione all’Albo o sul sito istituzionale, salve le garanzie previste dalla legge n. 241/1990 in tema di accesso ai documenti amministrativi, avviene nel rispetto della tutela della riservatezza dei cittadini secondo quanto disposto dal Regolamento UE n. 679/2016 in materia di protezione dei dati personali, nonché dal decreto legislativo n. 196/2003 e ss.mm.ii., ed ai sensi del vigente regolamento regionale n. 5/2006 per il trattamento dei dati sensibili e giudiziari, in quanto applicabile. Ai fini della pubblicità legale, il presente provvedimento è stato redatto in modo da evitare la diffusione di dati personali identificativi non necessari ovvero il riferimento alle particolari categorie di dati previste dagli articoli 9 e 10 del succitato Regolamento UE.

COPERTURA FINANZIARIA AI SENSI DEL D.LGS. N. 118/2011

La presente deliberazione non comporta implicazioni dirette e/o indirette, di natura economica-finanziaria e/o patrimoniale e dalla stessa non deriva alcun onere a carico del bilancio regionale.

Il Presidente, sulla base delle risultanze istruttorie come innanzi illustrate, ai sensi dell’articolo 4, comma 4, lettera d) della legge regionale 4 febbraio 1997, n. 7, propone alla Giunta Regionale l’adozione del conseguente atto deliberativo.

DISPOSITIVO DELLA PROPOSTA

1. di prendere atto del documento “*REDAZIONE DI CARTOGRAFIA TEMATICA SU FRANE NEL SUBAPPENNINO*”

DAUNO”, di cui all’allegato A, e della “*CARTA INVENTARIO DELLE FRANE DEL SUB-APPENNINO DAUNO*”, di cui all’allegato B, facenti parte integrante della presente deliberazione, realizzati nell’ambito del progetto P.O.R. Puglia 2014-2020, Asse V, Azione 5.1 “Valutazione integrata di dissesti geo-idrologici nel territorio della Regione Puglia, modelli interpretativi dei fenomeni e definizione di soglie di pioggia per il possibile innesco di frane superficiali” svolto in collaborazione con il CNR-IRPI;

2. di rendere nota, attraverso la pubblicazione su apposita sezione del sito www.protezionecivile.puglia.it del documento “*REDAZIONE DI CARTOGRAFIA TEMATICA SU FRANE NEL SUBAPPENNINO DAUNO*” e della “*CARTA INVENTARIO DELLE FRANE DEL SUB-APPENNINO DAUNO*”, l’attività svolta dalla Sezione Protezione Civile di concerto con il CNR-IRPI;
3. di considerare i suddetti documenti funzionali al rafforzamento del sistema di pianificazione e gestione delle emergenze di protezione civile, nonché necessaria e fondamentale per il governo del territorio, la progettazione e pianificazione territoriale, attraverso l’aggiornamento del catalogo IFFI e del PAI;
4. di presentare i contenuti dei suddetti documenti agli Enti territoriali mediante apposito webinar organizzato dalla Sezione Protezione Civile;
5. di disporre la pubblicazione del presente provvedimento sul Bollettino Ufficiale della Regione Puglia.

I sottoscritti attestano che il procedimento istruttorio loro affidato è stato espletato nel rispetto della vigente normativa regionale, nazionale e europea e che il presente schema di provvedimento, dagli stessi predisposto ai fini dell’adozione dell’atto finale da parte della Giunta regionale, è conforme alle risultanze istruttorie.

Il funzionario
(geol. Fabrizio Panariello)

Il Responsabile del Centro Funzionale Decentrato
(ing. Tiziana Bisantino)

Il Dirigente della Sezione Protezione Civile
(dott. Antonio Mario Lerario)

Il sottoscritto Direttore di Dipartimento, in applicazione di quanto previsto dal decreto del Presidente della Giunta regionale n. 22/2021, non ravvisa la necessità di esprimere sulla proposta di deliberazione alcuna osservazione.

Direttore del Dipartimento Personale e Organizzazione
(dott. Ciro Giuseppe Imperio)

Il Presidente
(dott. Michele Emiliano)

LA GIUNTA REGIONALE

Udita la relazione e la conseguente proposta del Presidente;

Viste le sottoscrizioni poste in calce alla proposta di deliberazione;

A voti unanimi e palesi espressi nei modi di legge;

DELIBERA

1. di prendere atto del documento "*REDAZIONE DI CARTOGRAFIA TEMATICA SU FRANE NEL SUBAPPENNINO DAUNO*", di cui all'allegato A, e della "*CARTA INVENTARIO DELLE FRANE DEL SUB-APPENNINO DAUNO*", di cui all'allegato B, facenti parte integrante della presente deliberazione, realizzati nell'ambito del progetto P.O.R. Puglia 2014-2020, Asse V, Azione 5.1 "Valutazione integrata di dissesti geo-idrologici nel territorio della Regione Puglia, modelli interpretativi dei fenomeni e definizione di soglie di pioggia per il possibile innesco di frane superficiali" svolto in collaborazione con il CNR-IRPI;
2. di rendere nota, attraverso la pubblicazione su apposita sezione del sito www.protezionecivile.puglia.it del documento "*REDAZIONE DI CARTOGRAFIA TEMATICA SU FRANE NEL SUBAPPENNINO DAUNO*" e della "*CARTA INVENTARIO DELLE FRANE DEL SUB-APPENNINO DAUNO*", l'attività svolta dalla Sezione Protezione Civile di concerto con il CNR-IRPI;
3. di considerare i suddetti documenti funzionali al rafforzamento del sistema di pianificazione e gestione delle emergenze di protezione civile, nonché necessaria e fondamentale per il governo del territorio, la progettazione e pianificazione territoriale, attraverso l'aggiornamento del catalogo IFFI e del PAI;
4. di presentare i contenuti dei suddetti documenti agli Enti territoriali mediante apposito webinar organizzato dalla Sezione Protezione Civile;
5. di disporre la pubblicazione del presente provvedimento sul Bollettino Ufficiale della Regione Puglia.

Il Segretario generale della Giunta

ANNA LOBOSCO

Il Presidente della Giunta

MICHELE EMILIANO



ACCORDO
tra
REGIONE PUGLIA
SEZIONE PROTEZIONE CIVILE
e
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
ISTITUTO DI RICERCA PER LA PROTEZIONE IDROGEOLOGICA
per l'attuazione del Progetto di
VALUTAZIONE INTEGRATA DI DISSESTI GEO-IDROLOGICI
NEL TERRITORIO DELLA REGIONE PUGLIA,
MODELLI INTERPRETATIVI DEI FENOMENI E DEFINIZIONE DI SOGLIE DI PIOGGIA
PER IL POSSIBILE INNESCO DI FRANE SUPERFICIALI

WP5 - REDAZIONE DI CARTOGRAFIA TEMATICA SU FRANE NEL SUB- APPENNINO DAUNO

ID: D05-04

Relazione finale WP5

Firmato digitalmente da:Antonio
Mario Lerario
Limite d'uso:Explicit Text: Ques
to certificato rispetta le racco
mandazioni previste dalla Determ
inazione Agid N. 121/2019
Data:21/10/2021 10:01:13

AUTORI

AUTORI

Il documento è stato redatto da:

- Dott.ssa Francesca Ardizzone
- Dott. Francesco Bucci
- Dott. Mauro Cardinali
- Dott.ssa Federica Fiorucci
- Dott. Michele Santangelo
- Dott. Luca Pisano
- Dott.ssa Veronica Zumpano



SOMMARIO

Il presente documento illustra le attività realizzate nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione tra la Regione Puglia e l'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) per la "*Valutazione Integrata di Dissesti Geo – Idrologici nel Territorio della Regione Puglia, Modelli Interpretativi dei Fenomeni e Definizione di Soglie di Pioggia per il possibile innesco di frane superficiali*".

Il documento è stato realizzato nell'ambito del WP5: *Redazione di cartografia tematica su frane nel Sub-Appennino Dauno*, e descrive la "**Attività per la realizzazione di una carta inventario delle frane attraverso l'interpretazione di immagini aeree stereoscopiche**".

Gli argomenti trattati sono i seguenti:

- (i) Metodologie di realizzazione della carta inventario geomorfologica delle frane.
- (ii) Descrizione dei risultati della carta inventario geomorfologica delle frane.
- (iii) Descrizione dell'archivio digitale.
- (iv) Analisi della qualità della carta inventario delle frane.
- (v) Confronto con gli inventari delle frane preesistenti.
- (vi) Allineamento della banca dati con le specifiche di IFFI (in Appendice).



INDICE

Autori	2
Sommario	3
Indice	4
Acronimi e abbreviazioni.....	6
Documenti di riferimento	7
1. Introduzione	8
1.1. Terminologia	10
2. Metodologie	11
2.1. Acquisizione delle informazioni cartografiche e tematiche disponibili	12
2.2. Immagini aeree stereoscopiche e sistemi per la visione stereoscopica digitale.....	13
2.3. Realizzazione di stereo-blocchi per la foto-interpretazione	17
2.4. Interpretazione delle immagini aeree stereoscopiche	18
2.5. Attività di Campagna	21
3. Legenda della carta inventario delle frane di tipo geomorfologico	27
3.1. Classificazione delle frane	27
3.1.1. Età relativa	28
3.1.2. Tipologia del movimento	29
3.1.3. Profondità stimata	31
3.2. Franosità diffusa.....	32
3.3. Elementi geomorfologici.....	33
4. Risultati	34
4.1. Descrizione dell'Inventario	35
4.1.1. Esempi di frane molto vecchie relitte.....	38
4.1.2. Esempi di frane molto vecchie	41
4.1.3. Esempi di frane vecchie	43
4.1.4. Esempi di frane recenti	52
4.1.5. Caratteristiche della franosità diffusa	56
4.1.6. Caratteristiche degli elementi geomorfologici.....	57
4.2. Analisi statistica delle frane presenti nella carta inventario geomorfologica.....	58
4.3. Unità tettono-stratigrafiche e franosità	60
4.3.1. Franosità nell'Unità Tettonica del Fortore.	62



INDICE

4.3.2. Franosità nell'Unità Tettonica della Daunia.....	63
4.3.3. Franosità nell'Unità Tettonica della Fossa Bradanica.....	63
4.3.4. Franosità nell'Unità dei Bacini di Thrust Top.....	64
5. Archivio digitale.....	65
6. Qualità dell'inventario.....	76
6.1. Introduzione.....	76
6.2. Valutazione degli errori di mappatura.....	78
6.2.1. Accuratezza geografica.....	78
6.2.1.1. Metodologia per valutare l'accuratezza geografica.....	79
6.2.1.2. Risultati dell'analisi di accuratezza geografica.....	79
6.2.2. Completezza.....	81
6.2.2.1. Metodologia per valutare la completezza.....	85
6.2.2.2. Risultati dell'analisi di completezza.....	85
6.2.3. Accuratezza tematica.....	90
6.2.3.1. Metodologia per valutare l'accuratezza tematica.....	90
6.2.3.2. Risultati dell'analisi di accuratezza tematica.....	90
6.3. Considerazioni conclusive.....	92
7. Confronto con gli inventari preesistenti.....	93
8. Bibliografia.....	101
APPENDICE - A: Allineamento banca dati con specifiche IFFI.....	103



ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

AdBP	Autorità di Bacino della Puglia
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche
CTR	Carta Tecnica Regionale
DAM	Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale
DEM	Modello Digitale di Elevazione
IRPI	Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica
LiDAR	Light Detection and Ranging
MATTM	Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, oggi Ministero della Transizione Ecologica, oggi MiTE
MiTE	Ministero della Transizione Ecologica
PST-A	Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale
SIT	Sistema Informativo Territoriale
WP	Work Package
WP5	Redazione di cartografia tematica su frane nel Sub-Appennino Dauno
WP6	Valutazione del rischio da frana per dieci centri abitati del Sub-Appennino Dauno
ZA	Zona di Allerta



DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- D05-01 Relazione: metodologia per la realizzazione degli Stereo-blocchi per l'interpretazione di immagini aeree stereoscopiche
- D05-02 Relazione: criteri per la interpretazione delle frane da immagini aeree e satellitari
- D06-04 Valutazione del rischio da frana per dieci centri abitati del Sub-Appennino Dauno
- DA-01 Allegato Tecnico: valutazione integrata di dissesti geo-idrologici nel territorio della regione Puglia, modelli interpretativi dei fenomeni e definizione di soglie di pioggia per il possibile Innesco di frane superficiali



1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione saranno illustrate le principali attività svolte nell'ambito del **WP5** finalizzato alla “**realizzazione di una carta inventario delle frane di tipo geomorfologico nel Sub-Appennino Dauno**”, prodotta attraverso l'interpretazione di uno o più voli di fotografie aeree stereoscopiche, associata a controlli di campagna adeguati.

L'area di studio sulla quale è stata realizzata la mappatura e l'archivio digitale delle frane copre un territorio di circa 1800 km² e si estende dal Fiume Fortore a nord e gli abitati di Candela e Rocchetta Sant'Antonio a sud (**Figura 1-1**). L'area di studio comprende il territorio della Zona di Allerta (ZA) del Sub-Appennino Dauno (linea rossa in **Figura 1-1**) e la porzione di territorio sul Tavoliere delle Puglie, fino a lambire gli abitati di San Paolo di Civitate, Lucera, Foggia e Ascoli Satriano (linea blu in **Figura 1-1**). L'andamento della linea blu segue i limiti delle carte tecniche regionali usati come base topografica per l'intero inventario delle frane.

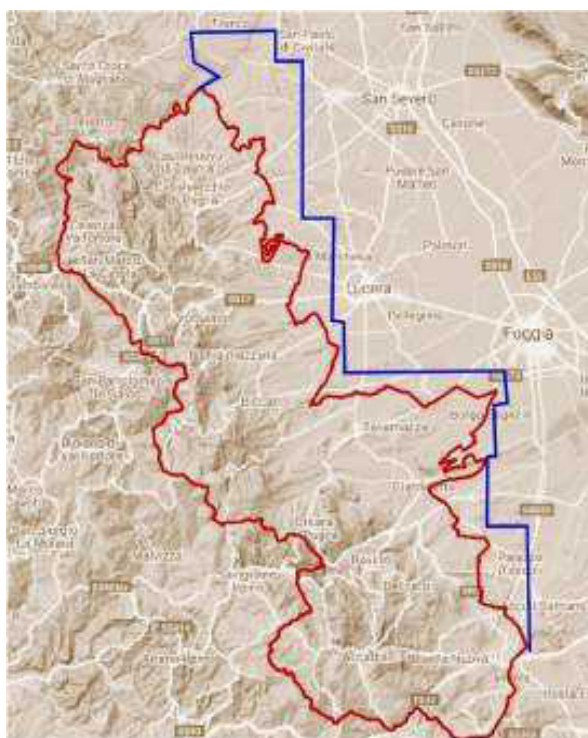


Figura 1-1. Area di studio comprende la ZA del Sub-Appennino Dauno (poligono rosso) e la porzione di territorio del Tavoliere delle Puglie, delimitata verso est dalla linea blu.



INTRODUZIONE

La carta inventario delle frane è stata prodotta attraverso l'interpretazione di due voli di fotografie aeree stereoscopiche, del 1954/55 e del 2003, integrata da mirati controlli di campagna.

Le fotografie aeree del 2003 sono state esaminate in modo sistematico su tutta l'area di studio, integrando localmente l'interpretazione con l'osservazione e il confronto delle immagini aeree del 1954/55 in ambiti geomorfologici e geologici complessi, o in aree densamente vegetate o urbanizzate.

Per la realizzazione della carta inventario delle frane, l'attività di acquisizione dei dati mediante l'interpretazione delle immagini aeree stereoscopiche ha richiesto oltre tre anni di lavoro, nel corso dei quali sono state realizzate anche mirate campagne di raccolta dati e verifiche di terreno dei dati foto-interpretati.

Le attività descritte in questo rapporto sono consistenti con quanto previsto dall'Allegato Tecnico dell'Accordo tra la Regione Puglia e l'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del CNR, e sono state realizzate nelle seguenti fasi di lavoro:

- (i) Acquisizione delle informazioni cartografiche e tematiche disponibili.
- (ii) Produzione di stereo blocchi.
- (iii) Definizione di una legenda della carta inventario geomorfologica delle frane.
- (iv) Interpretazione delle immagini aeree stereoscopiche.
- (v) Attività di campagna per la validazione della mappatura da fotointerpretazione.
- (vi) Realizzazione di un archivio digitale associato alla cartografia.
- (vii) Analisi della qualità della carta Inventario delle frane.



1.1. TERMINOLOGIA

È opportuno mettere in evidenza alcuni aspetti relativi alla terminologia utilizzata nel presente Rapporto. In particolare, in [Tabella 1-1](#) sono riportate espressioni utilizzate come sinonimo.

Ad esempio, ci si riferisce alle frane recenti anche come “frane evento 2003”, così come leggere “frane Pre-2003” è come leggere “Frane vecchie” o “frane pregresse”.

Tabella 1-1. Termini utilizzati nel presente Report che assumono lo stesso significato.

1° TERMINE	2° TERMINE	3° TERMINE	DESCRIZIONE
Frane recenti	Frane evento 2003	Frane ev-03	Dissesti che appaiono con morfologie “fresche” sulle fotografie aeree del 2003.
Frane vecchie	Frane pregresse	Frane Pre-2003	Dissesti che presentano caratteri morfologici tipici dei versanti in frana
Frane madri	Frane di I generazione		Diverse generazioni di frane
Frane figlie	Frane di II generazione		
Frane nipoti	Frane di III generazione		
Frane pro-nipoti	Frane di IV generazione		



2. METODOLOGIE

Le frane possono essere identificate e cartografate attraverso l'applicazione di tecniche e strumenti differenti. Per la realizzazione di carte inventario delle frane su aree vaste, come nel caso del Sub-Appennino Dauno, una delle tecniche più utilizzate per l'identificazione e la mappatura delle frane è l'interpretazione di fotografie aeree (foto-interpretazione) (*Rib e Liang, 1978; Schuster et al., 1996*) che si dimostra particolarmente adatta per i seguenti motivi:

- a) Le fotografie aeree sono disponibili e reperibili presso Agenzie nazionali, regionali e locali, Organizzazioni di ricerca, e Compagnie private. La disponibilità di più voli di fotografie aeree realizzate in tempi diversi sulla stessa area, consente di effettuare valutazioni sull'evoluzione temporale e spaziale (areale) delle frane (*Guzzetti et al., 2005, 2012*).
- b) L'esagerazione stereoscopica determinata dalla visione tridimensionale delle fotografie aeree, permette ad un interprete esperto di identificare e classificare gli elementi del territorio. L'esagerazione stereoscopica amplifica infatti le caratteristiche morfologiche del terreno, consente di rivelare ed esaltare anche i più impercettibili cambiamenti topografici, facilitando quindi l'identificazione e l'interpretazione delle evidenze morfologiche tipiche di una frana (*Rib e Liang, 1978; Pike, 1988*).
- c) La dimensione (circa 21 cm × 21 cm) e la scala (da 1:5.000 a 1:70.000 circa) delle fotografie aeree permette la visualizzazione e l'analisi di territori anche estesi (da 1 km² a 200 km²), utilizzando un numero limitato di fotogrammi. La dimensione tipica di una frana (da qualche decina a molte centinaia di metri in lunghezza e larghezza) è molto spesso contenuta all'interno di un singolo modello stereoscopico. Questo consente al foto-interprete di osservare le caratteristiche morfologiche della frana nella sua globalità, con la possibilità di confrontarle con quelle delle aree circostanti.

Per queste ragioni, la carta inventario di tipo geomorfologico del Sub-appennino Dauno di cui si relaziona, è stata realizzata attraverso l'interpretazione di fotografie aeree stereoscopiche.

Prima di descrivere le caratteristiche e le procedure per l'identificazione delle frane da fotografie aeree (§ 2.4) è opportuno elencare e descrivere le attività di preparazione alla fotointerpretazione, che riguardano: l'acquisizione delle informazioni cartografiche e tematiche disponibili (§ 2.1); le caratteristiche delle immagini aeree stereoscopiche e dei sistemi per la visione stereoscopica digitale (§ 2.2); i passaggi metodologici (realizzazione di stereo-blocchi) propedeutici alla fotointerpretazione (§ 2.3). Seguirà una descrizione delle attività di terreno per la verifica delle informazioni foto-interpretate (§ 2.5).



2.1. ACQUISIZIONE DELLE INFORMAZIONI CARTOGRAFICHE E TEMATICHE DISPONIBILI

Nella prima fase di lavoro, sono state reperite informazioni e prodotti cartografici/tematici, utili per la realizzazione della carta inventario delle frane di tipo geomorfologico nel Sub-Appennino Dauno.

Alcuni di questi prodotti sono stati forniti dalla Regione Puglia, altri sono consultabili in rete, tramite Portali Cartografici o Web server.

I prodotti cartografici e tematici acquisiti ed utilizzati a vario titolo nel flusso di lavoro sono i seguenti:

- Carte Tecniche Regionali in formato digitale a scala 1:5.000, fornite dalla Regione Puglia (www.sit.puglia.it);
- Carte geologiche a scala 1:50.000 (CARG), consultabili dal portale cartografico dell'ISPRA;
- Carte geologiche a scala 1:100.000 (Carta Geologica d'Italia), consultabili dal portale cartografico dell'ISPRA;
- Carta idrogeomorfologica in scala 1:25.000 disponibile sul sito del SIT dalla Regione Puglia (<http://webapps.sit.puglia.it/freewebapps/ldrogeomorfologia/index.html>);
- Modello Digitale di Elevazione (DEM, cella 8×8m) fornito dalla Regione Puglia (www.sit.puglia.it);
- Modello Digitale di Elevazione (DEM) realizzato da LiDAR (cella 1×1m), realizzato nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A) e fornito dal Ministero della Transizione Ecologica (MiTE).
- Carta dell'urbanizzato e dell'uso del suolo, fornite dalla Regione Puglia (www.sit.puglia.it);
- Ortofotocarte fornite dalla Regione Puglia (www.sit.puglia.it);
- Carte inventario delle frane della Puglia provenienti da:
 - **Inventario IFFI**: Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia, redatto da ISPRA;
 - **Archivi ufficiali**: *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)* delle Autorità di Bacino della Puglia, della Basilicata, dei Fiumi Trigno, Biferno e minori Saccione e Fortore, e dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno; *Progetto Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI - aggiornamento 2006)*, redatto da ISPRA; *Progetto Censimento delle Aree Italiane storicamente Vulnerate da calamità geologiche ed idrauliche (AVI)*, redatto dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche (GNDCI-CNR);



- **Fotointerpretazione AdBP:** frane derivanti dallo *studio di fotointerpretazione condotto dall'AdBP*;
- **Provincia di Foggia:** trattasi delle frane rilevate dalla Provincia di Foggia nell'ambito delle convenzioni sottoscritte con l'AdBP relative ad "Attività di raccolta e classificazione di dati su fenomeni franosi della Provincia di Foggia" e "Conduzione di studi di approfondimento degli aspetti relativi ai fenomeni franosi classificati".

2.2. IMMAGINI AEREE STEREOSCOPICHE E SISTEMI PER LA VISIONE STEREOSCOPICA DIGITALE

Per l'intero territorio di studio del Sub-Appennino Dauno sono stati acquisiti un totale di 658 fotogrammi aerei stereoscopici, in bianco e nero, realizzati dall'Istituto Geografico Militare (IGMI), così ripartiti: (i) 274 fotogrammi del 1954 e 1955, (ii) 384 fotogrammi del 2003. I fotogrammi sono stati forniti dall'IGMI in formato digitale con una risoluzione pari a 800 dpi.

I fotogrammi del 1954-55 sono a scala 1:35.000 circa e sono organizzati per strisciate orientate in direzione Nord-Sud. I fotogrammi realizzati nel 2003 sono a scala 1:33.000 circa e sono organizzati per strisciate orientate in direzione Est-Ovest. Le informazioni sulle caratteristiche specifiche del singolo fotogramma, del volo aereo e della macchina da presa sono riportate in **Figura 2-1** e reperibili dal sito web dell'IGMI al seguente indirizzo: https://www.igmi.org/it/geoprodotti#b_start=0.



Figura 2-1. Caratteristiche delle immagini aeree dell'IGMI. A) fotogramma del volo 1954-55; B) fotogramma del volo 2003.

Per la visione stereoscopica delle immagini aeree digitali sono state predisposte due differenti tipologie di sistemi (stereoscopi digitali) (**Figura 2-2**). Questi sistemi consentono di identificare e digitalizzare in ambiente 3D le informazioni tematiche come elementi vettoriali georeferenziati.



Figura 2-2. Caratteristiche delle due tipologie di sistema per la visione stereoscopica di immagini digitali. A) Stereoscopio digitale ad occhiali 3D passivi, con monitor Stereo-Mirror™ Planar. B) Stereoscopio digitale ad occhiali 3D attivi, con monitor 3D Vision-Ready e Kit Nvidia 3D Vision.

In **Figura 2-2A** è rappresentata la prima tipologia di sistema per la **visione stereoscopica digitale ad occhiali 3D passivi**, *Stereo-Mirror™ Planar*, basato sull'utilizzo di: (i) un sistema hardware specifico prodotto dalla *Planar*, composto da *due monitor* per la visione stereoscopica di immagini digitali e da uno *specchio inclinato a 45°* posto sulla bisettrice dei due monitor (<http://www.planar.com/support/products/3d-stereoscopic/>), (ii) *occhiali passivi a lenti polarizzate*, e (iii) un *Computer* dedicato, dotato di un software fotogrammetrico per il pre-processing delle immagini stereoscopiche digitali, e del software ArcGis dotato del tool *3D Analyst extension*, necessario per la digitalizzazione del dato 3D in ambiente GIS.

In **Figura 2-2B** è rappresentato il secondo tipo di sistema per la **visione stereoscopica digitale ad occhiali 3D attivi**, costituito da: (i) un *monitor 3D Vision-Ready*, capace di raggiungere almeno i 120Hz, (ii) un *Kit Nvidia 3D Vision* che comprende un paio di *occhiali 3D attivi* ed un *ricevitore* da collegare ad una *scheda video compatibile*, e (iii) da un *Computer* dedicato, dotato di un software fotogrammetrico per il pre-processing delle immagini stereoscopiche digitali, e del software ArcGis dotato del tool *3D Analyst extension*, necessario per la digitalizzazione del dato 3D in ambiente GIS.



Entrambi questi sistemi sono stati installati in apposite postazioni fisiche all'interno dei laboratori di cartografia e fotointerpretazione delle sedi IRPI di Perugia e di Bari. Il loro utilizzo continuativo è stato pertanto possibile solo fino a febbraio 2020. Successivamente, le misure restrittive di confinamento sociale adottate dal Governo Italiano per arginare la pandemia da Covid-19, hanno impattato severamente sull'organizzazione lavorativa degli scriventi, riducendo drasticamente il numero degli accessi alle postazioni di lavoro predisposte nelle sedi IRPI di Perugia e di Bari, e impedendo il lavorare in team in presenza.

Per superare queste criticità, si è ricorso ad un terzo sistema per la visione stereoscopica delle immagini aeree digitali, basato sull'utilizzo del software freeware StereoPhoto Maker (<http://stereo.jpn.org/eng/stphmkr/>), facilmente installabile su computer fissi e portatili, o tablet, senza particolari specifiche, che consente la visualizzazione di immagini stereoscopiche in modalità anaglifo, mediante l'utilizzo di occhiali 3D passivi (**Figura 2-3**). L'anaglifo è una particolare immagine stereoscopica costituita da due scene sovrapposte (stereogramma), che vengono appositamente colorate, una in magenta e l'altra in ciano. L'anaglifo è osservato mediante appositi occhiali 3D passivi con lenti di colori diversi e corrispondenti a quelli delle due immagini magenta e ciano.

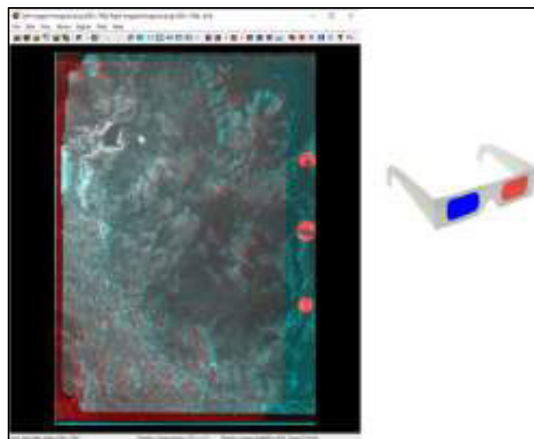


Figura 2-3. Caratteristiche del software StereoPhoto Maker che consente la visualizzazione di immagini stereoscopiche in modalità anaglifo, mediante l'utilizzo di occhiali con lenti di colore magenta e ciano.

Con StereoPhoto Maker è possibile ottimizzare la visione stereoscopica per diversi livelli di zoom, consentendo l'analisi multi-scala del territorio esaminato. Il sistema permette inoltre l'osservazione simultanea della stessa coppia di fotografie aeree (stereogramma) da parte di più foto-interpreti collegati da remoto. Questo facilita l'analisi, il confronto e la discussione della mappatura, limitando gli errori d'interpretazione.



D'altra parte, StereoPhoto Maker presenta anche dei limiti, riconducibili principalmente (i) all'affaticamento dell'operatore conseguente alla visione prolungata in modalità anaglifo, e (ii) all'impossibilità di digitalizzare in ambiente 3D.

Riguardo al punto (i), il disagio dell'operatore è stato limitato organizzando il lavoro in brevi sessioni continuative di fotointerpretazione, intervallate da frequenti pause, con una conseguente lieve riduzione della produttività generale, a fronte però di un sensibile miglioramento delle condizioni lavorative.

Riguardo al punto (ii), poiché StereoPhoto Maker non consente la digitalizzazione in ambiente 3D, si è provveduto a riportare le informazioni foto-interpretate direttamente in ambiente GIS 2D, appoggiandole su una topografia digitale composita, realizzata visualizzando le informazioni simboliche delle CTR sovrapposte al rilievo ombreggiato derivato dal DEM LiDAR ad alta risoluzione. Si tratta di un passaggio molto delicato, poiché si deve garantire che tutta l'informazione foto-interpretata venga trasferita nel GIS, limitando l'introduzione di errori ed incertezze.

Una procedura consolidata, che è stata anche utilizzata in questo lavoro, prevede il riporto "a vista" degli elementi riconosciuti sulle fotografie aeree, direttamente a video ed utilizzando le funzioni di editing del GIS (**Figura 2-4**).



Figura 2-4. Esempio della procedura di riporto a vista: sullo schermo di sinistra si interpreta l'immagine in modalità anaglifo; sullo schermo di destra si riporta in tempo reale l'informazione foto-interpretata in ambiente GIS 2D.

Nel caso del Sub-Appennino Dauno, si è potuto procedere al riporto a vista senza particolari criticità, grazie all'elevato dettaglio della topografia digitale disponibile, che ha permesso di riconoscere con precisione, nella foto più recente a disposizione (anno 2003), gli elementi omologhi antropici (strutture e infrastrutture) e naturali (pattern di boschi, coltivazioni, aree incolte).



2.3. REALIZZAZIONE DI STEREO-BLOCCHI PER LA FOTO-INTERPRETAZIONE

Per la visione stereoscopica delle immagini aeree digitali nelle postazioni di analisi fotogrammetrica è stato necessario procedere preliminarmente ad una elaborazione delle immagini (*pre-processing*) che permette la realizzazione di stereo-blocchi, tramite l'orientamento e la georeferenziazione dei fotogrammi. La generazione degli stereo-blocchi consente: (i) la visione stereoscopica necessaria per l'interpretazione delle immagini aeree, e (ii) la digitalizzazione delle informazioni tematiche in ambiente 3D, come elementi vettoriali georeferenziati.

Per la realizzazione degli stereo-blocchi è stato utilizzato: (i) un software fotogrammetrico "Image Photogrammetry" di Erdas, (ii) un Modello Digitale di Elevazione (DEM a 8×8m) da cui viene estratta l'informazione di quota (z), e (iii) una copertura di ortofotocarte da cui vengono estratte le informazioni relative alle coordinate (x,y).

La realizzazione degli stereo-blocchi è stato un passo fondamentale e propedeutico per avviare le attività di foto-interpretazione delle frane. La procedura di costruzione degli stereo-blocchi prevede la realizzazione dell'orientamento interno e dell'orientamento esterno dei fotogrammi che è stata descritta dettagliatamente in un Rapporto dedicato a cui si rimanda per ulteriori dettagli [D05-01].

Gli stereo-blocchi sono stati realizzati su oltre 300 fotogrammi appartenenti a 10 strisciate del volo del 1954 (**Figura 2-5A**) e 15 strisciate del volo del 2003 (**Figura 2-5B**).

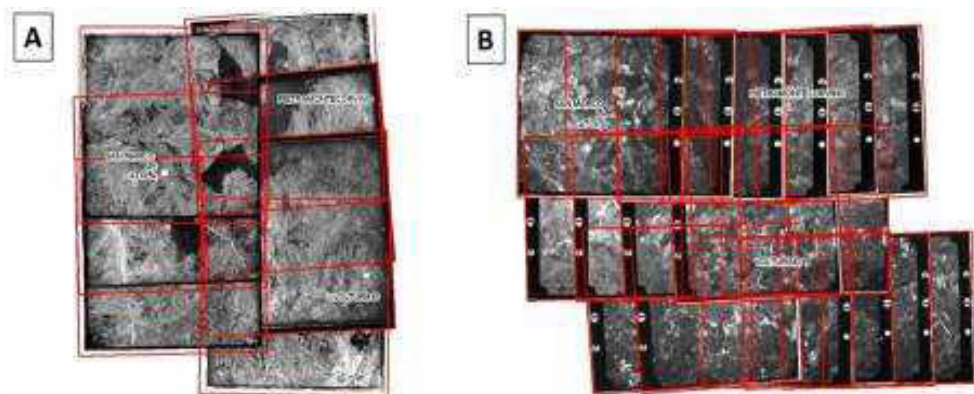


Figura 2-5. Esempio di stereo-blocchi realizzati per gli abitati di Pietramontecorvino, San Marco La Catola e Volturino. (A) Strisciate del volo del 1954 e (B) Strisciate del volo del 2003.



2.4. INTERPRETAZIONE DELLE IMMAGINI AEREE STEREOSCOPICHE

La foto-interpretazione è una tecnica efficace per mappature multi-scala e su area vasta, ed è basata su (i) procedure codificate di interpretazione; (ii) esperienza dell'operatore, in termini di livello di addestramento e background culturale dell'interprete; (iii) analisi comparata e deduttiva di elementi morfologici e geologico-strutturali. La foto-interpretazione è una tecnica non esente da errori e da incertezze, che si riducono lavorando in team, preferibilmente composti da foto-interpreti esperti con background complementari.

L'interpretazione delle frane è stata realizzata attraverso un'analisi comparata delle immagini aeree stereoscopiche dei due anni 1954 e 2003. L'analisi comparata di questi due voli permette di massimizzare le informazioni che si possono estrarre dall'interpretazione delle forme del paesaggio, incluse quelle riconducibili ai fenomeni franosi e alla loro evoluzione. L'assenza di agricoltura meccanizzata, la diffusa coltivazione dei boschi, e l'urbanizzazione limitata, sono caratteristiche comuni ai fotogrammi del 1954 e 1955, in scala 1:35.000, e rappresentano una condizione favorevole al riconoscimento delle frane principali (**Figura 2-6A**). D'altra parte i fotogrammi del 2003, in scala 1:33.000, presentano un dettaglio maggiore, una migliore qualità fotografica, e determinano la possibilità di analisi comparate dello stesso territorio a distanza di mezzo secolo (**Figura 2-6B**). In virtù della maggiore qualità e della recente data di acquisizione (che garantisce la visione di un paesaggio aderente a quello odierno), il volo del 2003 è stato usato come volo di riferimento.

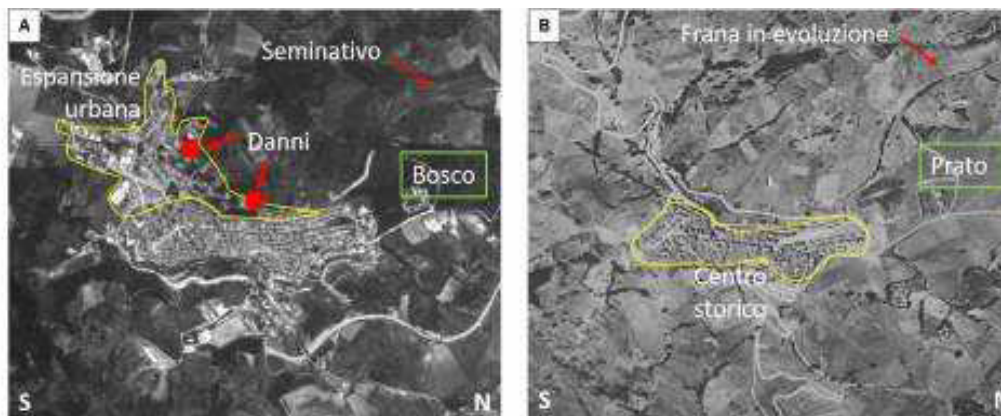


Figura 2-6. Principali differenze tra gli elementi del paesaggio rappresentati nelle foto del 1954-55 (A) e nelle foto del 2003; (B) per l'area di Volturino. Differenze dello stesso tipo sono riscontrabili in tutta la Daunia.

La **Figura 2-7** mostra la schematizzazione del flusso di lavoro adottato per lo studio foto-interpretativo nel Sub-Appennino Dauno.

L'interpretazione delle fotografie aeree è stata eseguita da un team di geomorfologi costituito da 5 operatori che hanno realizzato lo studio foto-interpretativo secondo l'organizzazione schematizzata in **Figura 2-7A**. La foto-interpretazione preliminare,



realizzata da coppie di foto-interpreti (A+B) e (C+D), è stata validata grazie al supporto di un terzo operatore (E) e alle informazioni raccolte a seguito delle verifiche di terreno (**Figura 2-7A**).

Coppie di foto-interpreti hanno lavorato assieme sulla stessa strisciata e su strisciate adiacenti delle fotografie aeree del 2003 (**Figura 2-7B**), al fine di confrontarsi e discutere sulle evidenze morfologiche legate alla identificazione e classificazione delle frane. La continua interazione tra foto-interpreti ha permesso di definire al meglio le caratteristiche dei dissesti identificati, limitando gli errori d'interpretazione da parte di operatori diversi. Ogni coppia di foto-interpreti ha lavorato all'interno di settori definiti con criteri morfologici (**Figura 2-7C**), evitando sovrapposizioni tra le due strisciate.

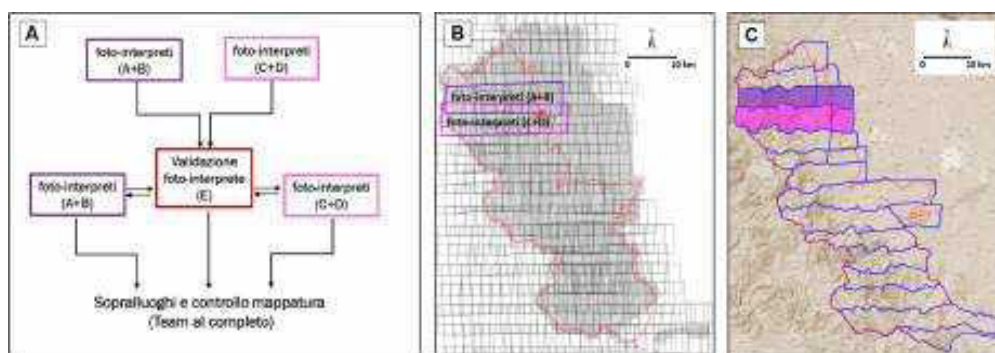


Figura 2-7. (A) Schematizzazione del flusso di lavoro adottato per lo studio foto-interpretativo nel Sub-Appennino Dauno. (B) Esempio di come due coppie di foto-interpreti, (A+B) e (C+D), hanno lavorato assieme sulla stessa strisciata e su strisciate adiacenti delle foto aeree del 2003. (C) Distribuzione dei settori di mappatura (linee blu) tra strisciate adiacenti, definiti con criteri morfologici.

La mappatura viene eseguita attraverso il disegno di elementi lineari, ai quali vengono associati codici univoci che identificano la tipologia e la natura dell'oggetto mappato. I codici sono associati a frane e ad elementi geomorfologici nella successiva fase di editing.

Questo sistema di codifica ha consentito a tutti i fotointerpreti di condividere i risultati dell'interpretazione preliminare, che sono stati poi oggetto di una sistematica validazione. L'attività di validazione è stata dedicata prioritariamente alla risoluzione delle incertezze interpretative, legate a possibili convergenze morfologiche e alla classificazione di frane complesse o cluster di frane molto articolati. Tuttavia, l'attività di validazione ha riguardato anche la revisione di possibili errori di posizionamento e ha consistito nella verifica: (i) della forma delle frane; (ii) della estensione delle frane; (iii) della posizione cartografica delle frane, soprattutto per quelle di piccole dimensioni (≤ 100 m di lunghezza). La fase di validazione è poi stata seguita da operazioni GIS funzionali alla corretta ricostruzione dei poligoni delle frane e degli elementi geomorfologici inizialmente mappati come linee.

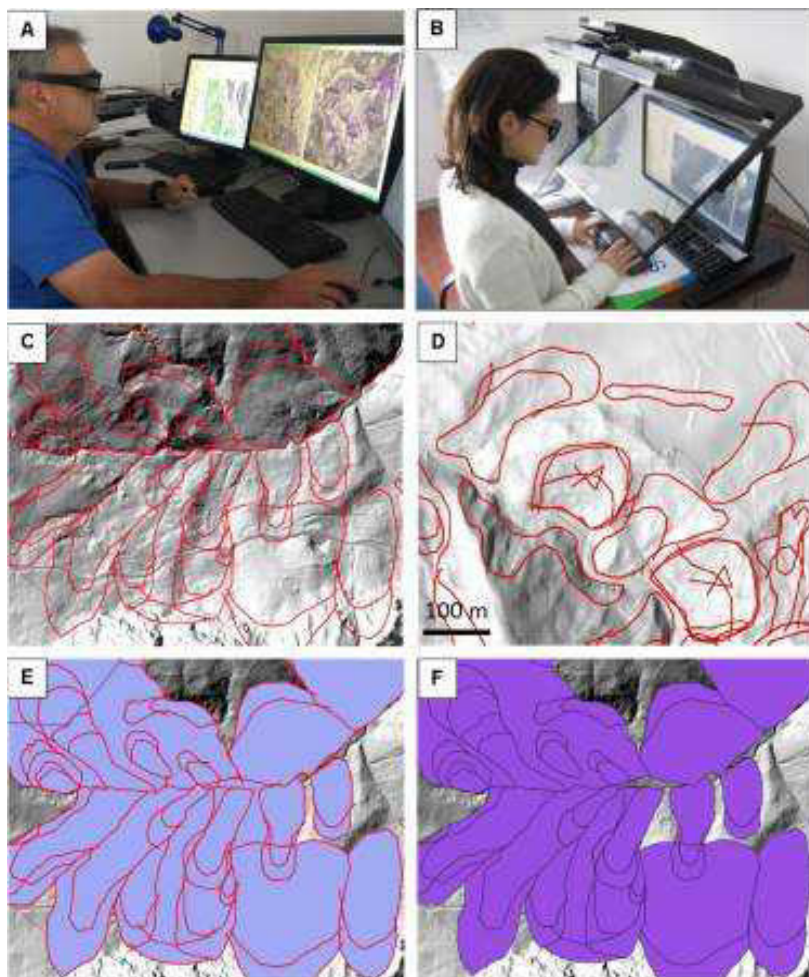


Figura 2-8. Procedura digitale di interpretazione delle immagini e mappatura delle frane.

La **Figura 2-8** riassume la procedura digitale di interpretazione e mappatura, che si compone di 6 fasi: fotointerpretazione attraverso l'uso di stereoscopi digitali con occhiali attivi (**Figura 2-8A**) e passivi (**Figura 2-8B**); disegno digitale di elementi lineari (**Figura 2-8C**); validazione della interpretazione preliminare (**Figura 2-8D**); trasformazione di linee in poligoni (**Figura 2-8E**); correzioni topologiche, eliminazione di poligoni collaterali e ricostruzione di poligoni mancanti (**Figura 2-8F**).

Una volta stabilita l'interpretazione definitiva, i dati raccolti sono stati codificati e organizzati in un Archivio Digitale che sarà descritto dettagliatamente nel capitolo 5.



2.5. ATTIVITÀ DI CAMPAGNA

Contestualmente all'attività di mappatura per la realizzazione di una carta inventario di tipo geomorfologico delle frane, sono state eseguite delle verifiche di campagna mirate al controllo ed alla validazione del lavoro di foto-interpretazione realizzato a partire da fotografie aeree stereoscopiche di anni diversi (1954/55 e 2003).

L'attività di terreno è stata svolta dal gruppo di geomorfologi foto-interpreti coinvolti nelle attività del WP5, facenti parte delle sedi di Bari e Perugia, ed è stata organizzata in 4 campagne di raccolta dati, che hanno scandito i principali stati d'avanzamento del WP, e che sono state così distribuite:

- 16-18 ottobre 2017
- 5-8 giugno 2018
- 23-28 agosto 2020

Per i sopralluoghi sono stati selezionati ambiti territoriali caratterizzati da: (i) diverse tipologie di frana in relazione a differenti caratteristiche geologico-strutturali, (ii) diverso stato di attività dei dissesti, (iii) e diverso grado di interazione tra i dissesti, strutture e infrastrutture. Sono inoltre state verificate situazioni di incertezza legate alla definizione del perimetro di alcune frane e alla identificazione ed estensione di alcune frane classificate come *molto vecchie relitte*.

A supporto dell'attività di campagna è stata utilizzata la seguente cartografia tematica:

- Carta inventario preliminare IRPI, realizzata da analisi foto-interpretativa;
- *Layers* vettoriali della carta inventario preliminare IRPI, riportati su immagini da Google Earth sia stampati su carta che consultabili su dispositivi elettronici tipo *tablet* e *smartphones*;
- Carta geologica del Foglio n.163, Lucera, a scala 1:100.000;
- Carta geologica del Foglio n.407, San Bartolomeo in Galdo, a scala 1:50.000;
- Immagini a *shaded relief* realizzate a partire da immagini LIDAR delle aree di interesse;
- Carte tecniche regionali (CTR Puglia) scala 1:5.000.

In **Figura 2-9** sono riportate le aree esaminate nel corso dei sopralluoghi svolti dal 15 al 18 ottobre 2017 (**Figura 2-9A**) e quelli svolti dal 5 al 8 giugno 2018 (**Figura 2-9B**). Questi sopralluoghi sono stati realizzati sul territorio centro-settentrionale dell'area di studio, tra il centro abitato di Castelnuovo della Daunia, a nord e l'abitato di Roseto Valfortore, a sud. Nella **Figura 2-9** sono rappresentati: (i) con simboli rossi, i luoghi dove sono state realizzate osservazioni puntuali finalizzate alla validazione della carta inventario preliminare, allo scopo di verificare la tipologia, l'estensione e l'età relativa dei dissesti; (ii) con simboli blu, i punti panoramici dai quali sono state eseguite osservazioni su area vasta, per acquisire elementi di carattere fisiografico utili a verificare possibili relazioni tra morfologia dei versanti e caratteristiche litologiche; (iii) con simboli neri, le tracce dei percorsi realizzati, acquisite mediante GPS portatile GARMIN.

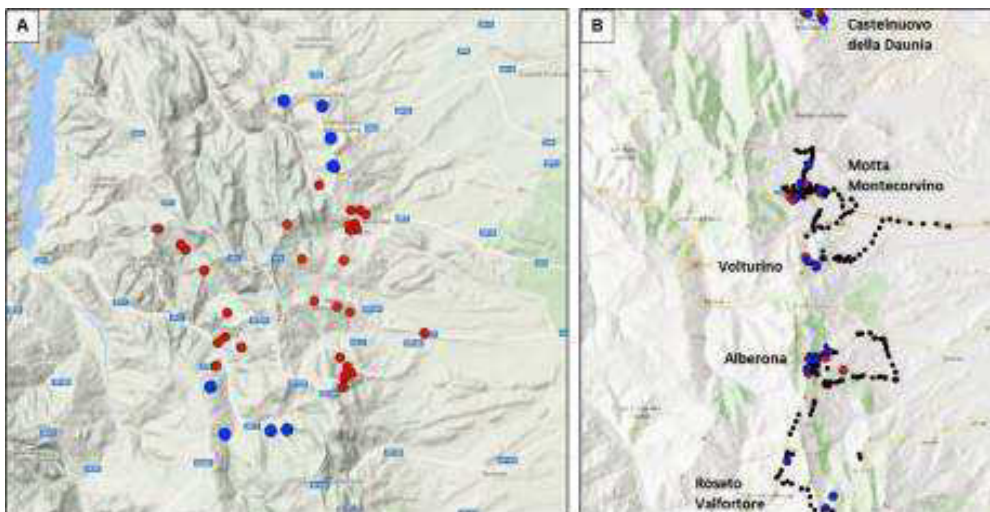


Figura 2-9. Area esaminata nel corso dei sopralluoghi del 15 al 18 ottobre 2017 (A) e del 5-8 giugno 2018 (B). I simboli in **rosso** rappresentano le osservazioni puntuali. I simboli in **blu** rappresentano le osservazioni panoramiche. I simboli in **nero** rappresentano le tracce dei percorsi realizzati.

La **Figura 2-10** mostra alcuni esempi di dati raccolti durante i sopralluoghi. In particolare, le **Figure 2-10A e B** illustrano due esempi di osservazioni puntuali finalizzate alla verifica delle interazioni tra frane, strutture e infrastrutture nell'area di Motta Montecorvino. Qui infatti sono stati osservati danni al muro perimetrale del depuratore (**Figura 2-10A**) e danni alla strada comunale che conduce al depuratore (**Figura 2-10B**).

La **Figura 2-10C** illustra un esempio di osservazione panoramica di una frana molto vecchia relitta di grandi dimensioni, che interessa un intero versante e risulta profondamente incisa e isolata dall'evoluzione recente del reticolo di drenaggio. L'osservazione panoramica ha confermato come questa frana abbia modificato il locale assetto geologico-strutturale, dislocando il sovrascorrimento rappresentato dalla linea rossa tratteggiata in **Figura 2-10C**. La frana infatti, interessa un intero versante, risulta profondamente incisa e isolata dall'evoluzione recente del reticolo di drenaggio e modifica il locale assetto geologico-strutturale.



METODOLOGIE



Figura 2-10. Esempi di dati raccolti durante i sopralluoghi. In (A) e (B) sono riportati alcuni particolari delle osservazioni fatte nel comune di Motta Montecorvino nella zona del depuratore del paese. In (C) è riportato un esempio di osservazione panoramica di una frana relitta (linea punteggiata gialla) che disloca un sovrascorrimento (linea rossa tratteggiata).

In **Figura 2-11** sono riportate le aree esaminate nel corso dei sopralluoghi svolti dal 23 al 28 agosto 2020, con lo scopo di verificare alcune situazioni di incertezza nella mappatura delle frane. I controlli hanno riguardato prevalentemente alcune aree interessate da **frane relitte** (poligoni viola in **Figura 2-11**) e da *frane molto vecchie* (poligoni lilla in **Figura 2-11**) per le quali l'analisi foto-interpretativa non ha permesso di evidenziare elementi geomorfologici certi e significativi utili per la loro corretta identificazione e delimitazione. Obiettivo principale delle indagini di campagna è stato quello di raccogliere informazioni utili alla definizione delle relazioni tra le caratteristiche morfologiche delle frane con la geologia e la struttura locale.

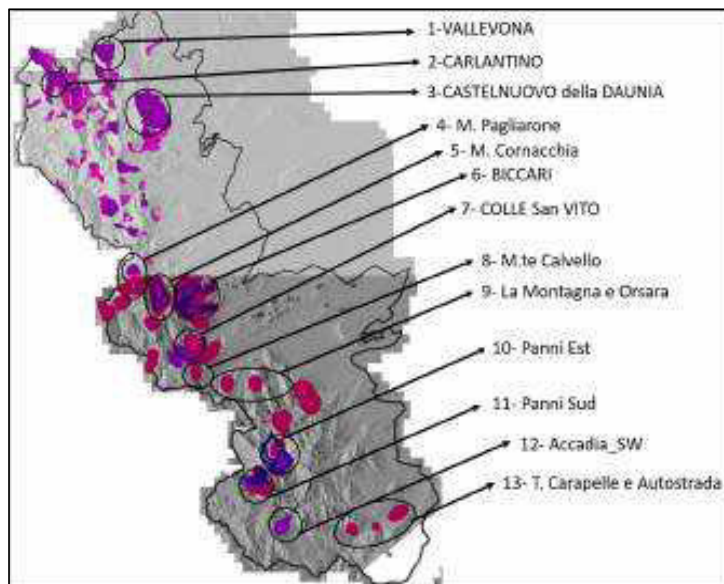


Figura 2-11. Ambiti territoriali dove sono state realizzate le verifiche di campagna del 23-28 agosto 2020, in situazioni dove sono presenti frane classificate come *molto vecchie relitte* (poligoni viola) e frane *molto vecchie* (poligoni lilla).

Gli ambiti territoriali selezionati per queste ultime verifiche di campagna coprono diversi settori del territorio Dauno, e sono distribuiti in tre aree principali (**Figura 2-11**): (i) a Nord, tra gli abitati di Carlantino e Castelluccio della Daunia, (ii) al centro, tra gli abitati di Biccari e Orsara, e (iii) a Sud, tra gli abitati di Panni e Candela.

Per ogni ambito territoriale è stata preparata una **scheda di sopralluogo** organizzata per **sezioni tematiche** differenti (**Figura 2-12**).

Nella **prima sezione** sono state riportate: (i) una sintesi delle principali *criticità* riscontrate nella mappatura che necessitavano di essere esaminate in campagna, (ii) una mappa di sintesi con le indicazioni dei percorsi da seguire per raggiungere le aree da controllare.

Nella **seconda sezione** sono state riportate diverse *immagini stereoscopiche in anaglifo* per anni diversi (1954 e 2003), relative agli ambiti territoriali oggetto di sopralluogo. Gli stereogrammi sono risultati molto utili in campagna e di facile consultazione, anche in condizioni di luminosità all'aperto non ottimali.

Nella **terza sezione** sono state raccolte alcune immagini della *mappatura preliminare* delle frane per l'area di interesse. Sono state selezionate immagini differenti per le diverse versioni della mappatura, presentando i tematismi su uno *shaded relief* come sfondo.



METODOLOGIE

Nella **quarta sezione** sono stati riportati alcuni dettagli delle *carte geologiche* disponibili per l'area di interesse. Molto efficace per la lettura delle informazioni tematiche in campagna è stata la stampa della geologia contestuale alla mappatura preliminare delle frane.

Nella **quinta sezione** sono state riportate alcune immagini con l'indicazione dei luoghi dove realizzare le *soste* per le opportune verifiche di campagna. Per le figure sono state utilizzate come sfondo immagini 2D e prospettive realizzate da Google-Earth. Sulle stesse immagini sono stati posizionati anche i punti ritenuti ottimali per le osservazioni panoramiche sulle aree di interesse.

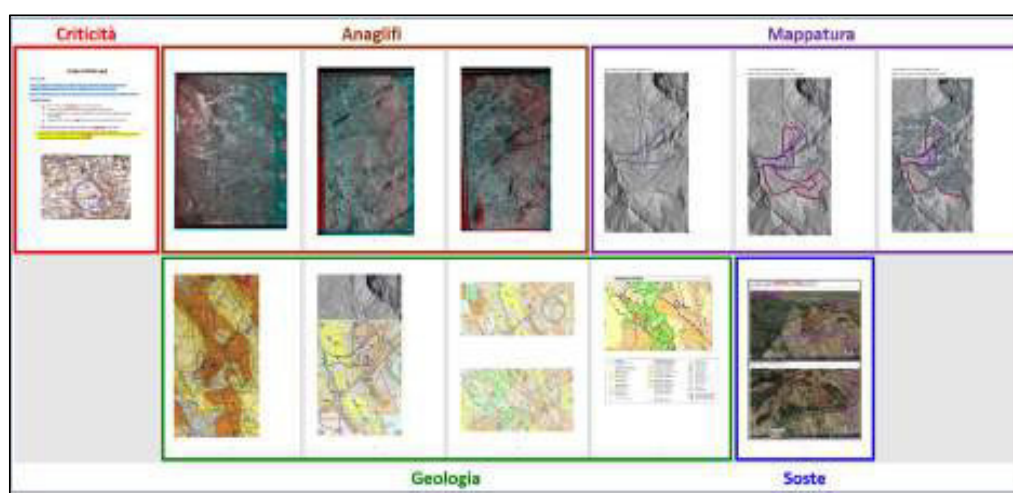


Figura 2-12. Scheda di sopralluogo organizzata per sezioni tematiche.

I sopralluoghi sono stati realizzati da 2 squadre, ognuna munita di un fuoristrada e composta da 2 persone. In totale sono stati percorsi oltre 1000 km, comprendendo nei tragitti sia gli spostamenti a lunga percorrenza nel territorio di studio sia gli itinerari locali nell'area di interesse. La **Figura 2-13** mostra le tracce dei percorsi effettuati (linee bianche) e la distribuzione delle principali soste realizzate (punti gialli).



METODOLOGIE



Figura 2-13. Traccia dei percorsi effettuati nel corso della campagna di sopralluoghi svolta dal 23 al 28 agosto 2020 (linee bianche) e distribuzione delle principali soste realizzate (punti gialli).

Durante i sopralluoghi sono state percorse strade statali, provinciali e comunali, che localmente interferiscono con dissesti di recente evoluzione, come quelli indicati in **Figura 2-14**, che indicano locali riattivazioni di fenomeni franosi censiti dal prodotto cartografico.



Figura 2-14. Interferenze di infrastrutture stradali con fenomeni franosi di recente attività, che ne hanno limitato la funzionalità, rendendo necessari interventi di perimetrazione (segnaletica in figura A) o sistemazione (recente asfaltatura in figura B).



LEGENDA

3. LEGENDA DELLA CARTA INVENTARIO DELLE FRANE DI TIPO GEOMORFOLOGICO

La definizione della legenda della carta inventario delle frane è stato un passo di fondamentale importanza e propedeutico allo svolgimento delle attività di analisi e interpretazione delle immagini aeree stereoscopiche.

Le informazioni riportate in legenda, infatti, devono essere compatibili con le tecniche utilizzate per la loro raccolta. Nel caso di studi realizzati con tecniche foto-interpretative, ad esempio, le informazioni riportate in legenda dipendono: (i) dalla scala delle immagini fotografiche disponibili, (ii) dalla scala del prodotto cartografico finale, (iii) dal tipo di stereoscopi utilizzati, (iv) dalla disponibilità e qualità dei dati ancillari, (v) dal tempo e dalle risorse disponibili.

Per la carta inventario delle frane del Sub-Appennino Dauno, la definizione della legenda è stato il risultato di un procedimento graduale. L'attività di foto-interpretazione è iniziata utilizzando una prima **legenda preliminare**, basata su quanto proposto in letteratura da *Cruden e Varnes (1996)*, dal *WP/WLI (1990)* e da *Hungr et al. (2014)*, che ha consentito ai diversi foto-interpreti una prima valutazione sulle principali caratteristiche morfologiche delle frane riconoscibili sul territorio di studio. Prima di essere definita una **legenda finale**, la legenda preliminare ha subito, nel tempo, modifiche e adattamenti. Le classi sono state progressivamente, aggiunte, eliminate, divise o unite, sulla base delle caratteristiche geomorfologiche locali riscontrate, delle tipologie e abbondanza delle frane e della maggiore esperienza via via acquisita dal foto-interprete.

Nella carta inventario delle frane realizzata per il Sub-Appennino Dauno, la legenda contiene informazioni relative: (i) alle **frane (§ 3.1)**, classificate in base alla *età relativa, tipologia del movimento e profondità stimata* del dissesto; (ii) alle aree a **franosità diffusa (§ 3.2)**; e (iii) ai principali **elementi geomorfologici (§ 3.3)** che sono stati considerati essere in relazione con i movimenti di versante.

3.1. CLASSIFICAZIONE DELLE FRANE

Le frane sono classificate in base alla: (i) **età relativa**, (ii) **tipologia del movimento** e (iii) **profondità stimata** del dissesto, applicando le metodologie utilizzate nella produzione di precedenti carte inventario (*Cardinali et al., 2002; Reichenbach et al., 2005; Guzzetti et al., 2012*), ed in accordo a quanto proposto da *Cruden e Varnes (1996)*, dal *WP/WLI (1990)* e da *Hungr et al. (2014)*.



LEGENDA

3.1.1. ETÀ RELATIVA

L'età relativa dei dissesti è assegnata sulla base delle evidenze morfologiche del singolo dissesto e della data delle fotografie aeree utilizzate. In base all'età relativa, le frane vengono distinte in: (i) frane **molto vecchie relitte**, (ii) frane **molto vecchie** (ii) frane **vecchie**, e (iii) frane **recenti**.

Le frane classificate come **molto vecchie relitte** interessano generalmente interi versanti, dove è maggiore l'energia del rilievo. Sono fortemente controllate dalla struttura geologica e litologica e dalla presenza di faglie principali. Le frane *molto vecchie relitte* si presentano profondamente smantellate dall'azione erosiva dei corsi d'acqua e spesso rimodellate da ricorrenti fenomeni gravitativi. Queste modificazioni morfologiche sono spesso da mettere in relazione alla evoluzione morfologica e tettonica regionale che ha determinato sensibili variazioni del livello di base del territorio in esame. Come conseguenza, queste frane risultano spesso sospese rispetto al livello di base attuale, e totalmente o parzialmente isolate dall'evoluzione recente del reticolo di drenaggio. Per questi motivi si ritiene che queste frane *molto vecchie relitte* si siano verificate in condizioni geomorfologiche e climatiche diverse dalle attuali (WP/WLI, 1993). Esempi di queste frane *molto vecchie relitte* saranno illustrati nel capitolo 4.1.1.

Le frane classificate come **molto vecchie** presentano una morfologia modificata in più punti dall'azione erosiva dei corsi d'acqua e dalla occorrenza di fenomeni gravitativi nel tempo. Queste frane sono generalmente di grandi dimensioni e la loro evoluzione ha spesso modificato l'andamento del reticolo idrografico principale. Le frane *molto vecchie*, risultano in accordo con il reticolo fluviale attuale, si distribuiscono prevalentemente dove è maggiore l'energia di rilievo e si presentano spesso all'interno o in prossimità delle frane *molto vecchie relitte*, come locali riattivazioni di queste ultime. Esempi di queste frane *molto vecchie* saranno illustrati nel capitolo 4.1.2.

Le frane classificate come **vecchie** presentano evidenze riconoscibili su ognuno dei voli di fotografie aeree utilizzate. Queste frane presentano generalmente caratteri morfologici tipici dei versanti in frana (forma concavo-convessa del versante, presenza di gradonature e contropendenze nell'area del deposito, ecc.) che risultano non modificati dalla erosione. Le frane vecchie si presentano spesso con una elevata persistenza spaziale formando dei gruppi (cluster) nei quali è possibile riconoscere più generazioni di movimento. Queste *frane vecchie* possono essere classificate, seguendo un criterio generazionale, in:

- **madri** (I generazione),
- **figlie** (II generazione),
- **nipoti** (III generazione),
- **pronipoti** (IV generazione).

La persistenza spaziale di queste frane *vecchie* è spesso più frequente dove sono presenti frane *molto vecchie* o frane *molto vecchie relitte*. Si ritiene che queste frane *vecchie* siano avvenute in periodi storici non ben definiti. Esempi di queste frane *vecchie* saranno illustrati



LEGENDA

nel capitolo 4.1.3. Nella categoria delle frane *vecchie*, infine, rientrano anche le **aree a franosità diffusa (§ 3.2)** per le quali non è stato possibile assegnare un periodo storico di occorrenza ben definito, anche se le evidenze morfologiche riscontrate consentono di presumere una stagionalità dei movimenti di versante al loro interno.

Le frane classificate come **recenti** sono rappresentate da dissesti che appaiono con morfologie “*fresche*” sulle fotografie aeree del 2003, indizio questo di movimenti avvenuti in prossimità della data della immagine fotografica. Gli elementi diagnostici per l’identificazione delle *frane recenti* si riferiscono non solo alle evidenze morfologiche, visibili dall’esame di fotografie aeree stereoscopiche, ma soprattutto agli elementi spettrali (tono e contrasto fotografico) che possono essere percepiti anche con la sola visione bi-dimensionale (2D) delle immagini. Si tratta di frane prevalentemente superficiali che coinvolgono essenzialmente la coltre detritica di alterazione per pochi metri di profondità e si distribuiscono sia in versanti integri sia all’interno di altre frane a diversa generazione, a conferma della persistente instabilità locale. Esempi di queste frane *recenti* saranno illustrati nel capitolo 4.1.4.

3.1.2. TIPOLOGIA DEL MOVIMENTO

La **tipologia del movimento** della frana è assegnata analizzando le caratteristiche morfologiche del singolo dissesto e le locali condizioni litologiche e di assetto strutturale del versante. In [Tabella 3-1](#) sono descritte:

- le principali tipologie delle frane,
- la “sigla” relativa ad ogni elemento di diversa tipologia di frana, così come compare nell’Archivio Digitale (§ 5),
- una descrizione sintetica delle caratteristiche morfologiche tipiche di ogni elemento del dissesto.

[Tabella 3-1](#). Tipologia delle frane.

Tipologia della frana	sigla	Descrizione
<i>Scivolamento</i>	s	Gli scivolamenti sono movimenti che producono generali concavità e convessità della superficie topografica senza disarticolarsi in modo significativo. Il movimento può avvenire lungo superfici curve o concave, come nel caso degli scivolamenti rotazionali, o lungo superfici planari o debolmente ondulate, come nel caso degli scivolamenti traslativi. La superficie di scivolamento può essere da molto superficiale (e interessare solo gli orizzonti del suolo) a molto profonda. Nel caso in cui le evidenze geomorfologiche non hanno consentito l’identificazione della scarpata, la frana è rappresentata senza scarpata ed è da considerare superficiale. Dove la scarpata è stata riconosciuta, è stata rappresentata con un poligono distinto da quello relativo al deposito.



LEGENDA

<i>Area scarpata scivolamento</i>	xs	
<i>Colata</i>	f	Le colate di terra sono colate che interessano materiali prevalentemente argillosi, plastici, generalmente in pendii poco acclivi. Hanno forme strette ed allungate caratterizzate da un canale generalmente stretto ed allungato e da un accumulo che al piede assume la caratteristica forma a ventaglio in pianta, e convessa in sezione. Dove la scarpata è stata riconosciuta, è stata rappresentata con un poligono distinto da quello relativo al deposito.
<i>Area scarpata colata</i>	xf	
<i>Colata di detrito</i>	df	Le colate di detrito sono frequenti dove la produzione di detrito è abbondante (aree fratturate, depositi di frana, <i>talus</i>). Hanno forme strette ed allungate caratterizzate da: un'area sorgente generalmente a forte pendenza, un canale di transito generalmente stretto ed allungato e un accumulo che al piede assume la caratteristica forma a ventaglio in pianta, e convessa in sezione. Dove la scarpata è stata riconosciuta, è stata rappresentata con un poligono distinto da quello relativo al deposito.
<i>Area scarpata Colata di detrito</i>	xdf	
<i>Scivolamento-colata</i>	sef	Gli scivolamenti-colata sono frane caratterizzate dalla presenza di due tipologie di movimento prevalenti, riconducibili agli scivolamenti e alle colate. In pianta, assumono una forma prevalentemente allungata. Morfologicamente mostrano: evidenti curvature concavo-convexe del versante, scarpate dalla forma molto arcuata, rigonfiamenti del deposito che al piede assume la tipica forma a ventaglio. La superficie di scivolamento può essere da molto superficiale (e interessare solo gli orizzonti del suolo) a molto profonda. Nel caso in cui le evidenze geomorfologiche non hanno consentito l'identificazione della scarpata, la frana è rappresentata senza scarpata ed è da considerare superficiale. Dove la scarpata è stata riconosciuta, è stata rappresentata con un poligono distinto da quello relativo al deposito
<i>Area scarpata scivolamento-colata</i>	xsef	
<i>Crollo e ribaltamento</i>	rf	I crolli sono distacchi di terra, detrito o roccia da un pendio ripido o sub-verticale. Il materiale liberato dalla parete procede in caduta libera, per salto, rimbalzo e rotolamento. L'area sorgente dei crolli è costituita da una parete rocciosa alla base della quale è possibile riconoscere il deposito costituito da detrito e da blocchi anche di grandi dimensioni. I ribaltamenti sono causati dalla rotazione verso l'esterno del pendio di una massa di terreno, detrito o roccia attorno ad un punto situato sotto il centro di gravità della massa in movimento. Uscito dal baricentro, il materiale prosegue spesso in caduta, come un crollo. Dove la scarpata è stata riconosciuta, è



LEGENDA

		stata rappresentata con un poligono distinto da quello relativo al deposito
<i>Area di scarpata Crollo e ribaltamento</i>	xrf	
<i>Sackung</i>	sck	I Sackung sono movimenti che possono interessare interi versanti, dislocando volumi di roccia anche di centinaia di migliaia di metri cubi. Uno degli aspetti morfologici caratteristici è la presenza di uno sdoppiamento di cresta che si manifesta con un ribassamento e un "insaccamento" della parte sommitale del versante e la formazione di evidenti contro-scarpate ad andamento generalmente parallelo al crinale.

3.1.3. PROFONDITÀ STIMATA

La **profondità stimata** delle frane viene assegnata sulla base delle principali caratteristiche morfologiche del dissesto, quali: altezza della scarpata, tipo di irregolarità morfologiche e entità delle curvature lungo il versante (convessità e concavità). Sulla base di queste caratteristiche morfologiche, la profondità delle frane è stata valutata distinguendo i dissesti in: frane **profonde** e frane **superficiali**.

Le frane **profonde** sono rappresentate prevalentemente da scivolamenti e scivolamenti-colata che coprono estensioni considerevoli, anche superiori al chilometro quadrato. Molte delle frane profonde possono essere classificate come *molto vecchie relitte*, *molto vecchie* e *vecchie*. Spesso coinvolgono volumi considerevoli di materiale, tali da modificare in modo significativo la morfologia e la struttura geologica locale. Nella **carta inventario**, le frane *profonde* sono rappresentate con due poligoni, distinguendo l'area di deposito da quella di scarpata. Nell'**archivio digitale (§ 5)**, ad ogni poligono di frana profonda è stata assegnata la "sigla" corrispondente alla tipologia di movimento, come riportato in [Tabella 3-1](#) (esempio: **s** e **xs**, **f** e **xf**, **df** e **xdf**, ecc.).

Le frane **superficiali** coinvolgono prevalentemente la coltre detritica di alterazione per pochi metri di profondità. Sono generalmente distribuite sia all'interno di frane profonde sia lungo i versanti integri, esenti da dissesti. Le frane superficiali sono generalmente di piccole dimensioni (superficie generalmente inferiore ad un ettaro) e sono rappresentate prevalentemente da scivolamenti e da colate. Sono caratterizzate generalmente da una scarpata poco pronunciata, di altezza stimata inferiore a 1-2 metri, e da un deposito poco disarticolato, senza evidenti concavità e convessità della sua superficie. Nella **carta inventario** queste frane superficiali sono mappate come unico poligono che rappresenta sia l'area di scarpata che l'area interessata dal suo deposito. Nell'**archivio digitale (§ 5)**, ad ogni poligono di frana superficiale è stata assegnata la "sigla" corrispondente alla tipologia di movimento, come riportato in [Tabella 3-1](#) (esempio: **s**, **f**, **sef**, **df**, ecc.).



LEGENDA

3.2. FRANOSITÀ DIFFUSA

Le aree a franosità diffusa sono rappresentate da frane di dimensioni tali da non poter essere rappresentate singolarmente alla scala del lavoro (Tabella 3-2). Una descrizione relativa ai principali ambiti morfologici della *franosità diffusa* riscontrati nell'area di studio, sono descritti nel capitolo 4.1.5.

Tabella 3-2. Elementi della franosità diffusa.

Aree a franosità diffusa	sigla	Descrizione
<i>Scivolamenti superficiali diffusi</i>	wss	Gli scivolamenti superficiali diffusi sono rappresentati da aree che appaiono a morfologia caratterizzata da blande ondulazioni dovute a locali rilievi e depressioni riconducibili alla coalescenza di numerose frane superficiali di piccole dimensioni da non poter essere rappresentate singolarmente alla scala del lavoro. Queste aree si distribuiscono prevalentemente nelle aree a bassa energia del rilievo, lungo versanti a debole pendenza.
<i>Colate diffuse di terra e/o detrito</i>	wdf	Le colate diffuse di terra e/o di detrito sono rappresentate da aree dove sono riconoscibili locali colate di terra e/o di detrito di piccole dimensioni da non poter essere rappresentate singolarmente alla scala del lavoro. Si distribuiscono prevalentemente lungo versanti acclivi e in corrispondenza di netti cambi di pendenza. La morfologia di queste aree si presenta molto irregolare, con versanti in forte erosione per la continua rimozione di suolo. Il dilavamento esercitato delle acque superficiali produce versanti spesso senza copertura vegetale.
<i>Crolli diffusi</i>	wrf	I crolli diffusi , sono rappresentati da pareti rocciose sub-verticali dove sono presenti costoni e balze rocciose che costituiscono possibili aree sorgenti di crolli, cadute massi o ribaltamenti per la presenza di diffusi accumuli detritici alla base. Queste aree sono di piccole dimensioni da non poter essere rappresentate singolarmente alla scala del lavoro.



LEGENDA

3.3. ELEMENTI GEOMORFOLOGICI

Nella Carta inventario delle frane, oltre ai movimenti di versante sono riportati anche alcuni **elementi geomorfologici** che possono essere considerati in relazione con l'evoluzione dei versanti e possono fornire utili informazioni per l'analisi della distribuzione delle frane (Tabella 3-3). Una descrizione relativa ai principali ambiti morfologici relativi agli *elementi morfologici* riconosciuti nell'area di studio, sono descritti nel capitolo 4.1.6.

Tabella 3-3. Elementi geomorfologici in relazione con le frane.

Elementi geomorfologici in relazione con le frane	sigla	Descrizione
<i>Depositi alluvionali attuali e recenti</i>	ad	I depositi alluvionali attuali e recenti sono rappresentati da aree pianeggianti che si distribuiscono prevalentemente lungo i corsi d'acqua principali e i tributari minori.
<i>Conoidi alluvionali</i>	af	Le conoidi alluvionali sono morfologicamente rappresentate da depositi a superficie convessa e dalla forma di ventaglio, in pianta. Sono generalmente localizzate lungo le valli principali, in corrispondenza della confluenza dei tributari. Le conoidi possono essere fra loro coalescenti e possono ospitare al loro interno depositi di colata di detrito.
<i>Conoidi alluvionali relitte</i>	oaf	Le conoidi alluvionali relitte sono rappresentate da depositi di grandi dimensioni a morfologia convessa e forma a ventaglio, che appaiono smantellati dall'azione erosiva dei corsi d'acqua. Dove l'erosione incanalata è maggiore si riscontrano lembi delle conoidi relitte sospese di alcune decine di metri rispetto al fondovalle locale. Non è raro trovare queste grandi conoidi relitte posizionate alla base di versanti interessati da frane di grandi dimensioni, a conferma della stretta relazione di questi depositi con l'evoluzione generale del versante.
<i>Superfici terrazzate</i>	te	Le superfici terrazzate sono rappresentate da superfici tabulari, di natura deposizionale (depositi alluvionali terrazzati) e/o erosiva (terrazzi in bedrock), distribuite in diversi ordini posti a diverse altezze rispetto agli alvei attuali. I versanti che delimitano le superfici terrazzate sono spesso interessati da frane che localmente provocano l'arretramento dell'orlo di queste superfici tabulari.



4. RISULTATI

Nell'ambito delle attività previste dal WP5, per l'area compresa tra il corso del Fiume Fortore a nord e gli abitati di Candela e Rocchetta Sant'Antonio a sud è stata prodotta una carta inventario geomorfologica delle frane che si estende su un territorio di circa **1800 km²** (Figura 4-1).

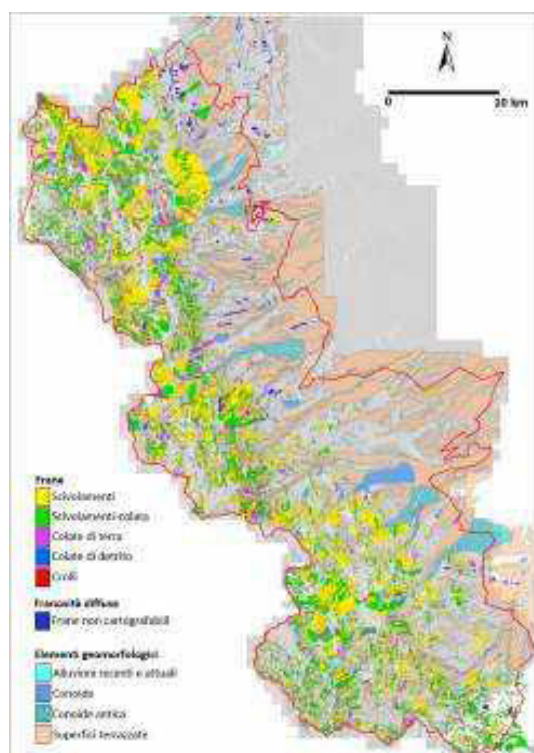


Figura 4-1. Carta inventario geomorfologica delle frane per il territorio del Sub-Appennino Dauno.

La carta inventario è stata realizzata attraverso l'interpretazione comparata di due voli di fotografie aeree stereoscopiche di anni diversi (1954/55 e 2003) a scala 1:33.000 circa.

L'interpretazione delle fotografie aeree è stata eseguita da un team di geomorfologi, utilizzando i sistemi per la visione stereoscopica digitale [D05-01].

L'analisi foto-interpretativa è stata una attività molto complessa che ha richiesto notevole impegno, attenzione e scrupolosità da parte dei foto-interpreti per esaminare a diverse scale di dettaglio il territorio di ogni immagine stereoscopica. A seguito della elevata densità di



RISULTATI

frane presenti, della loro grande variabilità dimensionale (dissesti da qualche decina di m² a qualche km²), della loro elevata persistenza e ricorrenza in molte parti del territorio di studio e non ultimo del dettaglio cartografico nella identificazione delle informazioni tematiche compatibile con una scala al 1:5.000, il tempo mediamente impiegato per l'interpretazione delle informazioni tematiche è stimabile in circa 3±1 km² al giorno di territorio investigato.

Per l'analisi foto-interpretativa sono state utilizzate tutte le informazioni geologiche, morfologiche e tematiche disponibili per l'area di studio [D05-02]. Nel mappare e classificare i movimenti franosi, è stata posta l'attenzione nella valutazione delle caratteristiche morfologiche del singolo dissesto e delle condizioni litologiche, giaciture e strutturali locali, così come riconoscibili dalla lettura e dal confronto tra i due voli di fotografie aeree utilizzate. Questo ha permesso di ridurre le interpretazioni dubbie.

4.1. DESCRIZIONE DELL'INVENTARIO

Nell'area di studio sono stati riconosciuti **17.436** movimenti franosi (Tabella 4-1) pari ad una densità di 10 frane al km². La densità cresce a circa 18 frane al km² se si esclude l'estesa porzione pedemontana dell'area di studio, quasi interamente tabulare. Localmente la densità di frana può raggiungere valori di oltre 60 frane al km² (Figura 4-2).

Tabella 4-1. Statistiche descrittive delle frane.

Frane molto vecchie relitte			
<i>Numero frane</i>	<i>Area Totale (m²)</i>	<i>Area minima</i>	<i>Area massima</i>
37	88.543.994,2	138.032,2	6.775.471,1
Frane molto vecchie			
<i>Numero frane</i>	<i>Area Totale (m²)</i>	<i>Area minima</i>	<i>Area massima</i>
120	87.502.471,6	6971,4	1.714.764,9
Frane pre-2003			
<i>Numero frane</i>	<i>Area Totale (m²)</i>	<i>Area minima</i>	<i>Area massima</i>
5355	14.848	70,8	2.301.996,9
Frane recenti (2003)			
<i>Numero frane</i>	<i>Area Totale (m²)</i>	<i>Area minima</i>	<i>Area massima</i>
2074	5.040.590,3	10,5	163.163,1
Franosità diffusa			
<i>Numero frane</i>	<i>Area Totale (m²)</i>	<i>Area minima</i>	<i>Area massima</i>
357	11.344.690,8	377,8	354.674,5
Inventario Totale			
<i>Numero frane</i>	<i>Area Totale (m²)</i>	<i>Area minima</i>	<i>Area massima</i>
17.436	442.051.771,0	10,5	6.775.471,1



I più alti valori di densità si riscontrano in corrispondenza di litologie prevalentemente argillose che predispongono i versanti al ricorrente sviluppo di frane di dimensioni medio-piccole. Esempi di queste aree sono riportati in **Figura 4-2A**: ad ovest di Castelnuovo della Daunia (**Figura 4-2B**), ad ovest di Orsara di Puglia (**Figura 4-2C**) e a sud di Sant'Agata di Puglia (**Figura 4-2D**).

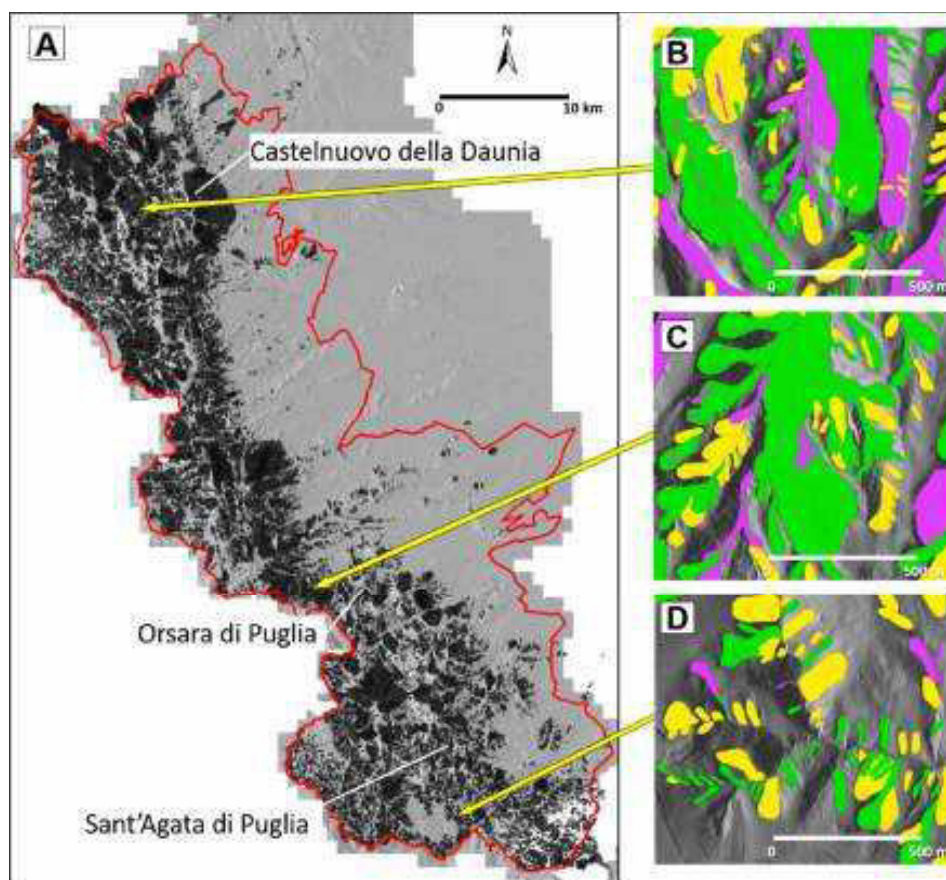


Figura 4-2. Esempi di aree ad elevata densità di frana. **(A)** Distribuzione delle frane (in nero) nell'area di studio. **(B, C e D)** Scivolamenti (giallo), scivolamenti-colata (verde), colate (viola) rappresentati in 1 km² nelle seguenti zone: **(B)** ad ovest di Castelnuovo della Daunia, **(C)** ad ovest di Orsara di Puglia e **(D)** a sud di Sant'Agata di Puglia.

La superficie di territorio coperta da frane è pari a **442 km²**, e corrisponde al **23%** della totale superficie investigata e al **39%** della superficie collinare e montuosa.

Le frane di maggiori dimensioni sono quelle definite come molto vecchie relitte, e molto vecchie (**Tabella 4-1**). In particolare la frana più grande copre una superficie di **6,7 km²**, ed è localizzata **nell'area centrale, a sud ovest di Biccari**, lungo il fronte della catena appenninica.



RISULTATI

In base alla tipologia di movimento (**Figura 4-3**), nell'area di studio le frane maggiormente rappresentate sono gli scivolamenti, corrispondenti a **8813** frane che coprono una superficie totale in frana pari a **334** km². Gli scivolamenti-colata sono altrettanto numerosi nel territorio esaminato e sono rappresentati da **5764** frane che coprono una superficie in frana di **165** km². Le colate di terra sono rappresentate da **2450** frane che coprono una superficie di **131** km².

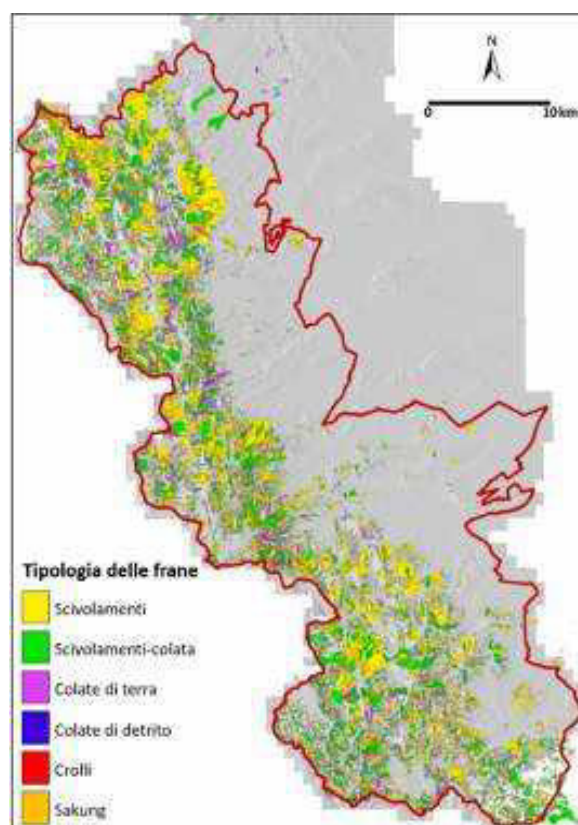


Figura 4-3. Distribuzione delle frane classificate in base alla tipologia di movimento.

La **Figura 4-4** mostra un esempio di mappatura per un settore territoriale posto ad ovest dell'abitato di Castelnuovo Monterotaro nel quale sono presenti frane di dimensioni e tipologie differenti che si distribuiscono spesso formando gruppi di frane, denotando un'elevata ricorrenza e persistenza spaziale.



RISULTATI

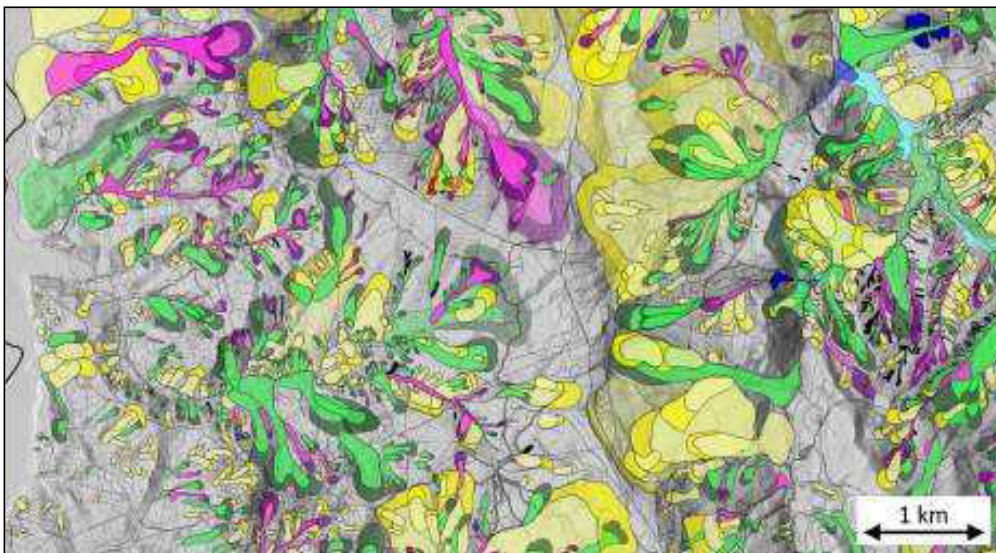


Figura 4-4. Esempio di mappatura delle frane per un settore territoriale posto ad ovest dell'abitato di Castelnuovo Monterotaro.

Come detto in precedenza, le frane sono state distinte in base all'età relativa in:

- (i) frane **molto vecchie relitte (MVR)**,
- (ii) frane **molto vecchie (MV)**
- (iii) frane **vecchie (V)**,
- (iv) frane **recenti (R)**.

Di seguito saranno descritti alcuni esempi significativi per ogni classe di età relativa.

4.1.1. ESEMPI DI FRANE MOLTO VECCHIE RELITTE

Le frane **molto vecchie relitte (MVR)** hanno estensioni comprese tra **0,14** e **6,77** km² ed occupano generalmente interi versanti, localizzandosi dove è maggiore l'energia del rilievo. Sono fortemente controllate dalla struttura geologica e litologica (**Figura 4-5A**) e dalla presenza di faglie principali (**Figura 4-5B**).



RISULTATI

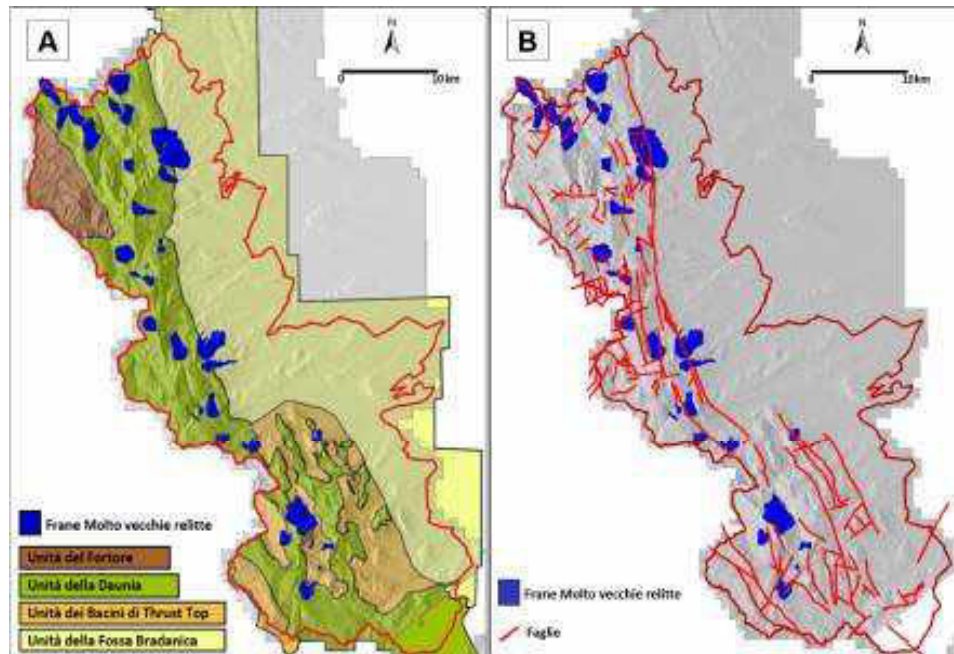


Figura 4-5. (A) Relazione tra frane MVR e Unità tettoniche. **(B)** Relazione tra frane MVR e faglie principali.

In **Figura 4-6** sono riportati alcuni esempi di frane MVR per le quali è possibile apprezzare le relazioni tra: (i) caratteristiche morfologiche principali del dissesto, percepibili dallo shaded relief (A, B, C, D, E, F in **Figura 4-6**) e (ii) condizioni geologico-strutturali del versante, osservabili dalle carte geologiche di base a scala 1:100.000 e 1:50.000 (A', B', C', D', E', F' in **Figura 4-6**).

Morfologicamente queste frane si presentano molto smantellate sia dall'azione erosiva dei corsi d'acqua sia dalle successive generazioni di frane e risultano spesso isolate dall'evoluzione recente del reticolo di drenaggio. Sono caratterizzate da una evidente scarpata di distacco che si sviluppa spesso per diverse centinaia o migliaia di metri, la cui traccia assume forme prevalentemente arcuate (A, D, E, F in **Figura 4-6**), anche se in alcuni casi si presenta con andamenti rettilinei, ereditati dalle locali condizioni geologico-strutturali (B e C in **Figura 4-6**). A valle delle aree di scarpata si apprezza spesso una vasta area concava e topograficamente depressa che in alcuni casi è delimitata da una evidente contropendenza (A, D, E in **Figura 4-6**). Il deposito delle frane MVR è percepibile per la sua generale forma convessa, anche se si presenta spesso con una morfologia irregolare, profondamente rimodellata sia dall'azione erosiva di corsi d'acqua sia dall'azione di frane successive. In D, E ed F di **Figura 4-6** si può notare, ad esempio, come lo smantellamento del deposito sia particolarmente evidente e come il piede di queste frane sia sospeso rispetto all'attuale livello idrografico di base.

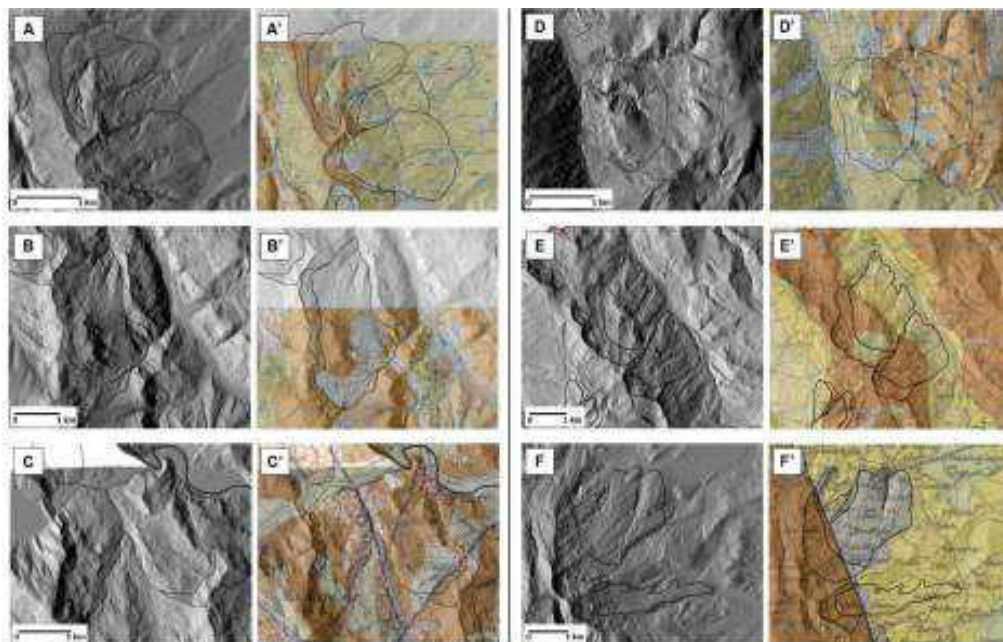


Figura 4-6. Esempi di frane molto vecchie relitte (MVR) per le quali è possibile apprezzare le principali caratteristiche morfologiche del dissesto (A, B, C, D, E, F) e le condizioni geologico-strutturali del versante (A', B', C', D', E', F').

Rispetto alle condizioni geo-litologiche locali, la **Figura 4-6** mostra come l'area di alimentazione delle frane MVR coinvolge principalmente le litologie più competenti del complesso terrigeno (Formazione del M.te Faeto in arancione) mentre il deposito delle frane MVR si sviluppa spesso dove le carte geologiche riportano coperture detritiche (C', E', F' in **Figura 4-6**) o depositi di frana (A', B', C', D', E', F' in **Figura 4-6**).

Sotto l'aspetto geologico-strutturale si può notare come frane MVR in **Figura 4-6** si sviluppano lungo versanti interessati dalla presenza di differenti discontinuità tettoniche la cui posizione ed orientamento spesso condiziona la geometria, forma ed estensione del dissesto. Degna di nota è la frana a sud di Volturara Apula in prossimità di località Masseria San Vito (D' in **Figura 4-6**), la cui evoluzione ha modificato il locale assetto geologico strutturale, determinando un avanzamento di circa 350 metri di una porzione lunga 1,5 km di un fronte di retro-scorrimento, coinvolto nel deposito della frana. Il raccordo tra l'area di scarpata e quella di testata del deposito si colloca in corrispondenza di una coppia di pieghe la cui geometria ha favorito la propagazione della superficie di scivolamento lungo discontinuità meccaniche favorevolmente orientate. Lungo l'asse vallivo prospiciente la frana, la mancanza di depositi alluvionali (che invece risultano presenti subito a monte e a valle) indica il restringimento della valle fluviale ereditato dalla messa in posto della frana stessa.



RISULTATI

4.1.2. ESEMPI DI FRANE MOLTO VECCHIE

Le frane molto vecchie (MV) si distribuiscono prevalentemente dove è maggiore l'energia di rilievo e si presentano spesso all'interno o in prossimità delle frane MVR (Figura 4-7A) come locali riattivazioni di queste grandi frane.

Dal punto di vista della tipologia del movimento (Figura 4-7A), le frane MV si presentano prevalentemente come scivolamenti (72) e scivolamenti-colata (40) che si distribuiscono in modo omogeneo lungo i rilievi maggiori del territorio del Sub-appennino Dauno. Le colate (7) e i Sakung (1) sono rappresentati in misura più limitata e si distribuiscono prevalentemente nella parte settentrionale dell'area di studio.

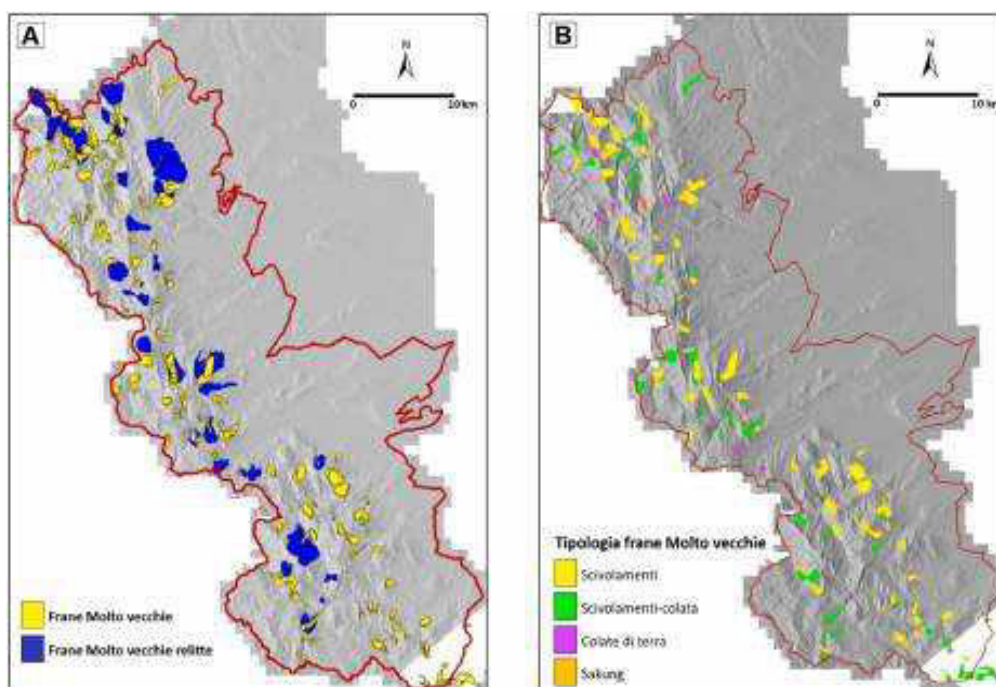


Figura 4-7. (A) Relazione tra frane molto vecchie (MV) e frane molto vecchie relitte (MVR). (B) Distribuzione della tipologia delle frane molto vecchie (MV).

Le frane MV sono generalmente di grandi dimensioni, con aree in frana comprese tra **0,06** e **2,76** km². Interessano estese porzioni di versanti e la loro evoluzione ha spesso modificato l'andamento del reticolo idrografico principale. Queste frane presentano spesso una morfologia irregolare e molto articolata, modificata in più punti dall'azione erosiva dei corsi d'acqua e dalla occorrenza di ricorrenti frane nel tempo.



La **Figura 4-8** mostra una selezione rappresentativa di frane MV per le quali è possibile apprezzare le principali caratteristiche morfologiche (A, B, C, D in **Figura 4-8**) e le relazioni con le condizioni geologico-strutturali locali (A', B', C', D' in **Figura 4-8**).

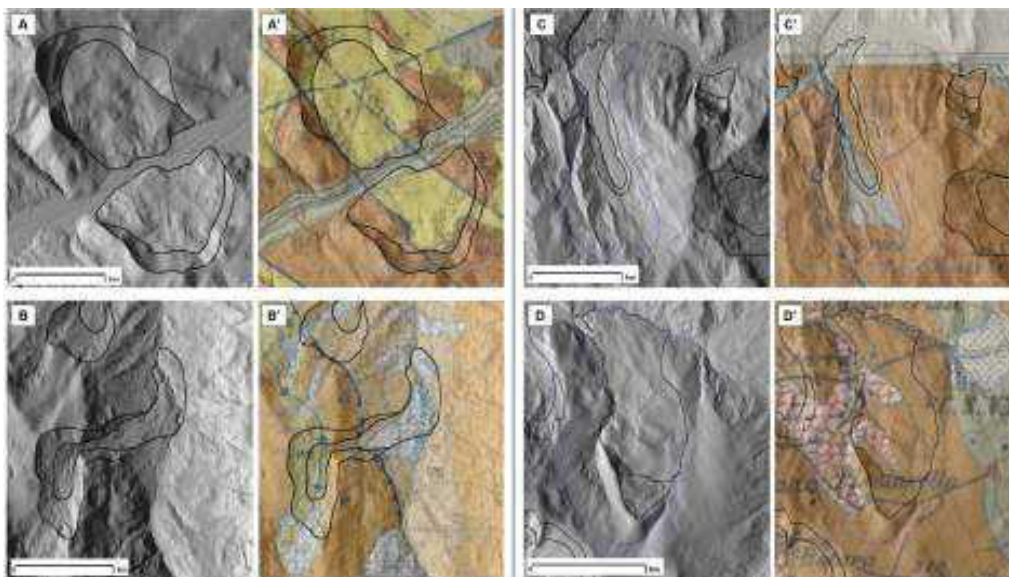


Figura 4-8. Esempi di frane molto vecchie (MV) per le quali è possibile apprezzare le principali caratteristiche morfologiche del dissesto (A, B, C, D) e le condizioni geologico-strutturali del versante (A', B', C', D').

Sotto l'aspetto morfologico le immagini A, B, C, D in **Figura 4-8** mostrano la grande irregolarità della superficie topografica di queste frane, caratterizzata da ampie zone concavo-convexe, da scarpate multiple e contro-scarpate e da ampi tratti localmente incisi dall'azione erosiva dei corsi d'acqua. A tale proposito, in **Figura 4-8B** è molto evidente la separazione in due lembi del suo deposito della frana MV provocata dall'azione erosiva del corso d'acqua sul piede della frana MV. In **Figura 4-8C** e **Figura 4-8D** è possibile osservare come le frane MV rappresentino riattivazioni all'interno delle grandi frane MVR (tratto blu in Figura) e come il loro deposito si spinga fino al fondovalle, restringendo localmente la valle e deviando il corso d'acqua principale.

Sotto l'aspetto geologico-strutturale, in **Figura 4-8B'** e **Figura 4-8C'** si può osservare come la presenza di litologie prevalentemente pelitiche e argillose (Unità del Flysch Rosso in **Figura 4-8B'** e Complesso Caotico Indifferenziato in **Figura 4-8C'**) condiziona l'occorrenza e l'evoluzione delle frane MV. In altri casi, è il forte contrasto tra litologie differenti (Flysch di Faeto e depositi Plio-Pleistocenici in **Figura 4-8A'**) combinato ad un elevato livello di fratturazione dell'ammasso roccioso, che determinano condizioni locali favorevoli allo sviluppo di queste frane.



RISULTATI

La **Figura 4-9** mostra un ulteriore esempio di come la presenza di frane MVR, associata a locali caratteristiche geologiche e strutturali del versante, possa determinare condizioni favorevoli per l'innescò di frane MV il cui sviluppo può produrre importanti modificazioni alla idrografia locale. In **Figura 4-9C**, infatti, si nota come lo sviluppo della frana MV dove è posto l'abitato di Pietramontecorvino abbia determinato la deviazione verso sud del corso d'acqua principale (controllato da un lineamento tettonico visibile in **Figura 4-9B**) di oltre 600 metri.

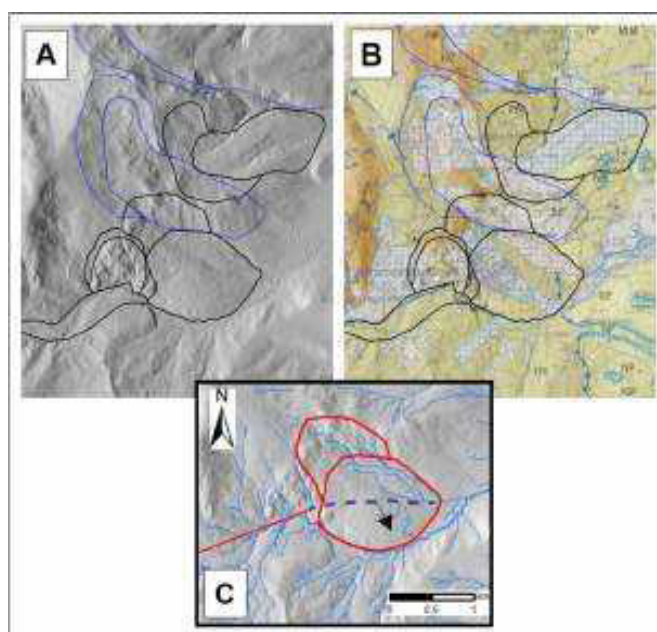


Figura 4-9. (A e B). Caratteristiche morfologiche e geologiche dell'area di Pietramontecorvino dove sono presenti frane molto vecchie relitte (blu) e frane molto vecchie (nero). (C) Relazione tra l'idrografia locale e la frana molto vecchia di Pietramontecorvino (in rosso).

4.1.3. ESEMPI DI FRANE VECCHIE

Le frane vecchie (V) si distribuiscono uniformemente su territorio collinare e montuoso dell'area di studio, ad esclusione delle aree tabulari e pedemontane poste ad est, dove questi dissesti si localizzano esclusivamente lungo i pochi versanti che raccordano le aree tabulari terrazzate con il fondovalle (**Figura 4-10**). Dove sono presenti i depositi delle grandi frane MVR e MV (in blu e giallo in **Figura 4-10A**) molto spesso le frane vecchie si concentrano come gruppi di frane di diversa generazione, denotando un'elevata ricorrenza e persistenza spaziale.



RISULTATI

Dal punto di vista della dimensione, le frane vecchie hanno estensioni variabili tra **70,8 m²** e **2,31 km²**. Le tipologie di movimento più rappresentate (**Figura 4-10B**) sono gli scivolamenti (8812), gli scivolamenti-colata (4155) e le colate (1873) che si distribuiscono in modo uniforme lungo tutto il territorio di studio. In misura più limitata sono rappresentate le colate detritiche (26) localizzate lungo i versanti più acclivi della parte settentrionale e centrale dell'area di studio.

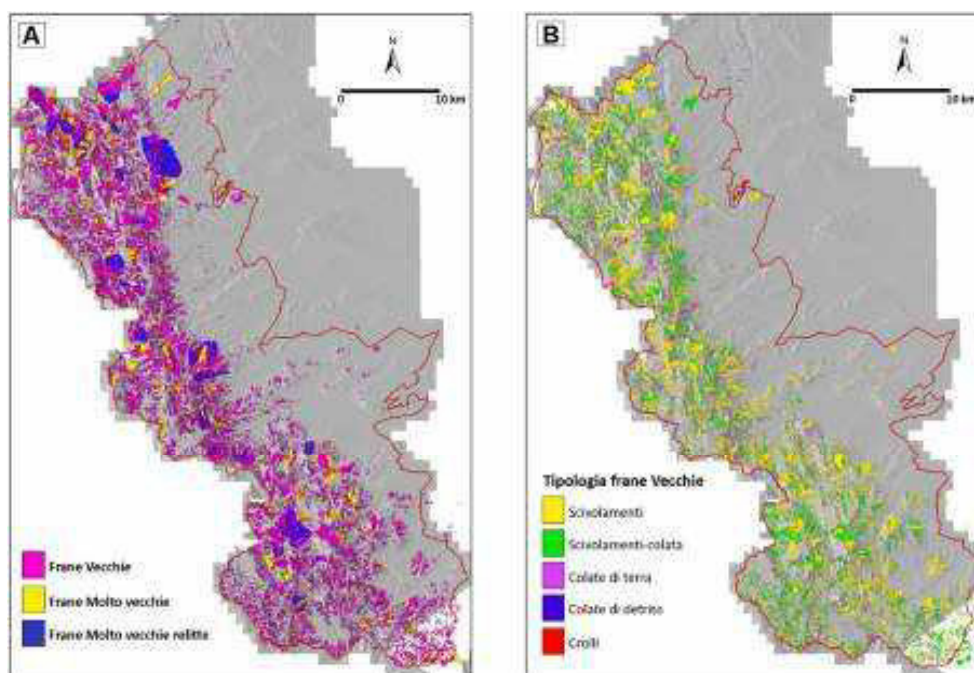


Figura 4-10. (A) Distribuzione delle frane vecchie (V) e relazione con le frane molto vecchie (MV) e frane molto vecchie relitte (MVR). (B) Distribuzione della tipologia delle frane vecchie (V).

Dal punto di vista della dimensione, le frane vecchie hanno estensioni variabili tra 142 m² e 2,10 km². Le frane di dimensioni minori si distribuiscono in generale nelle zone a bassa energia del rilievo, come quelle delle zone tabulari e sub-pianeggianti o nelle zone montuose interne dove prevalgono le litologie pelitiche o argillose. In **Figura 4-11** ad esempio, le frane di dimensioni minori sono diffusamente presenti nel settore più occidentale a sud di Monteleone di Puglia dove il rilievo è poco accentuato e dove affiorano litologie argillose e sabbiose Plio-pleistoceniche. Le frane di dimensioni maggiori, invece, si sviluppano nelle zone ad elevata energia del rilievo o lungo versanti già interessati da frane MV e MVR, come è possibile osservare in **Figura 4-11** per i territori limitrofi agli abitati di Panni, Deliceto, Accadia e Sant'Agata di Puglia.



RISULTATI

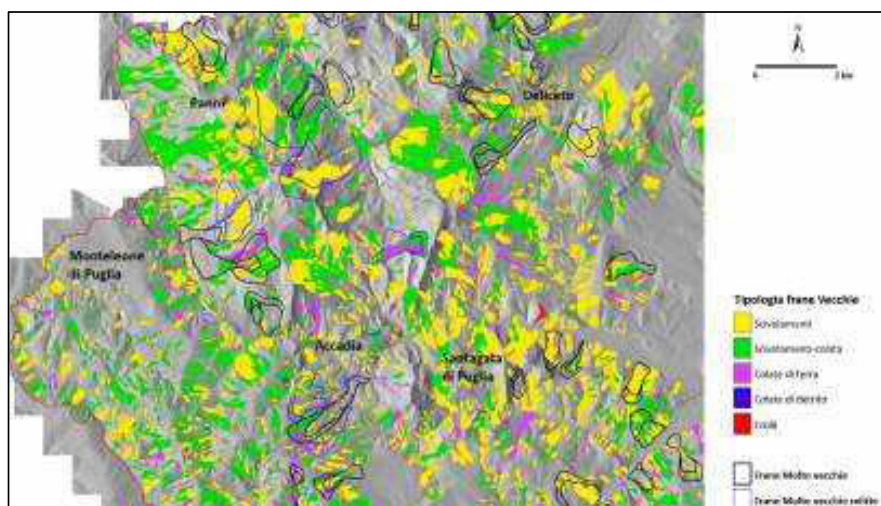


Figura 4-11. Distribuzione della dimensione delle frane vecchie (V) in base alla diversa energia del rilievo locale e alla presenza di frane molto vecchie (MV) e frane molto vecchie relitte (MVR).

Le principali evidenze morfologiche di queste frane sono ben riconoscibili attraverso l'analisi foto-interpretativa di immagini aeree stereoscopiche. Alcuni degli elementi morfologici più significativi sono visibili in **Figura 4-12** dove sono rappresentati prevalentemente gli scivolamenti (poligoni gialli) e in **Figura 4-13** dove sono rappresentati prevalentemente gli scivolamenti-colata (poligoni verdi) e colate (poligoni lilla). In queste figure, nelle immagini A, B e C, il rilievo ad ombre permette di percepire le caratteristiche morfologiche di ogni frana, mentre nelle immagini A', B' e C' è possibile associare la tipologia di movimento di ogni frana.

Ad esempio, per gli scivolamenti in **Figura 4-12** è possibile apprezzare le loro principali evidenze morfologiche (A, B e C di **Figura 4-12**), quali: forma concavo-convessa del versante, presenza di scarpate e trincee nella parte alta del versante, presenza di gradonature e contropendenze nell'area del deposito, rigonfiamenti e depressioni topografiche generalizzate nella parte bassa del versante, idrografia locale irregolare.

In **Figura 4-13** invece, è possibile apprezzare alcuni esempi di caratteristiche morfologiche riconducibili a scivolamenti-colata (poligoni verdi) e colate (poligoni lilla). Nelle immagini A, B e C di **Figura 4-13**, i dissesti raffigurati mostrano: forme prevalentemente allungate, evidenti curvature del versante concavo-convesso, scarpate dalla forma molto arcuata, evidenti rigonfiamenti del deposito che al piede assume la tipica forma a ventaglio. Degno di nota sono le relazioni che alcune di queste tipologie di frana hanno con la struttura geologica. In **Figura 4-13B** e **Figura 4-13B'** ad esempio, alcuni degli scivolamenti-colata e colate di piccole dimensioni che si trovano lungo i versanti ai bordi dei tributari minori, assumono una tipica disposizione a forma di V (a "spina di pesce"), ereditata dalla presenza di litologie a diversa competenza che localmente hanno un assetto della stratificazione con giacitura a franapoggio più inclinata del pendio.



RISULTATI

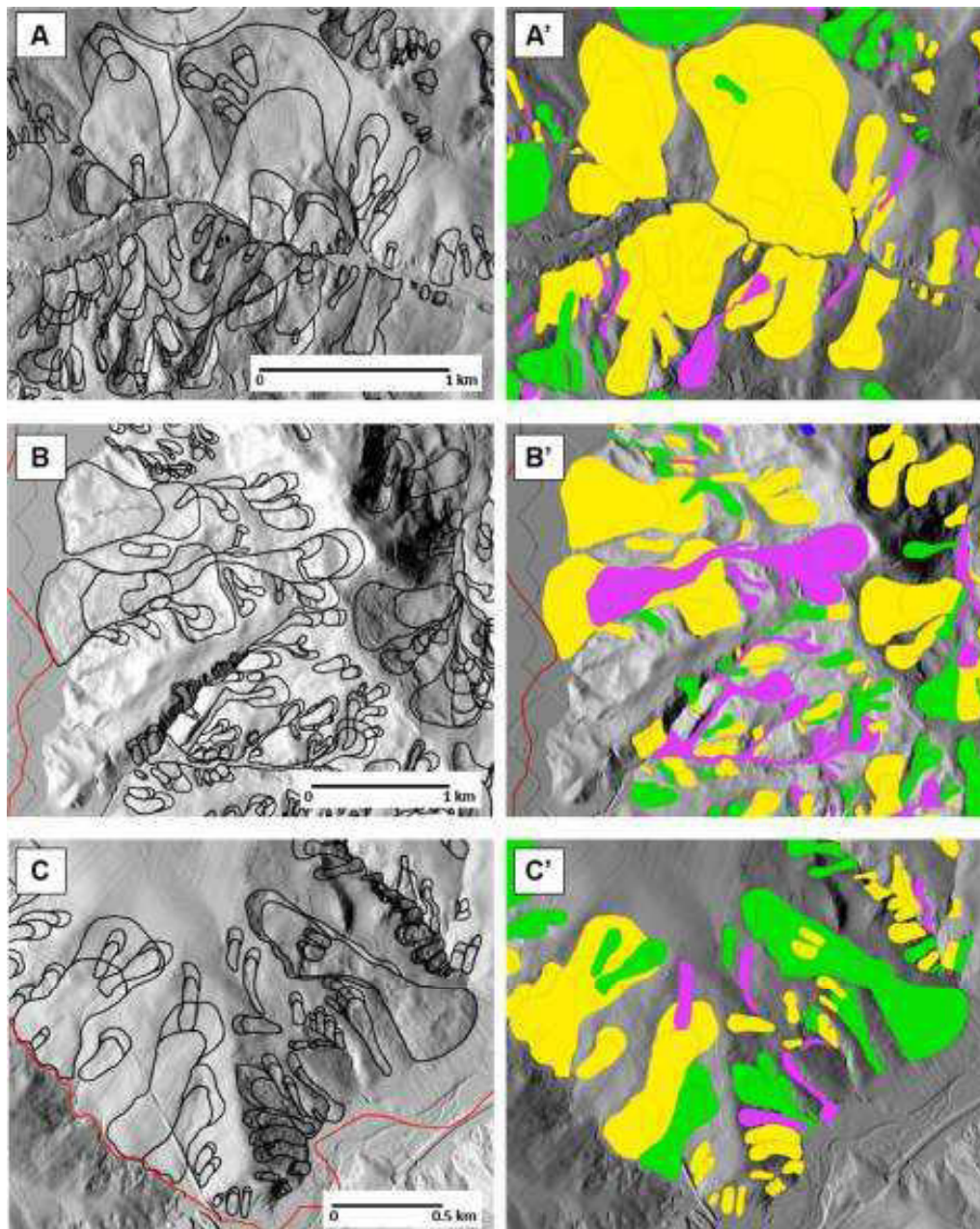


Figura 4-12. Esempi di frane vecchie (V) per le quali è possibile apprezzare le principali caratteristiche morfologiche del dissesto.



RISULTATI

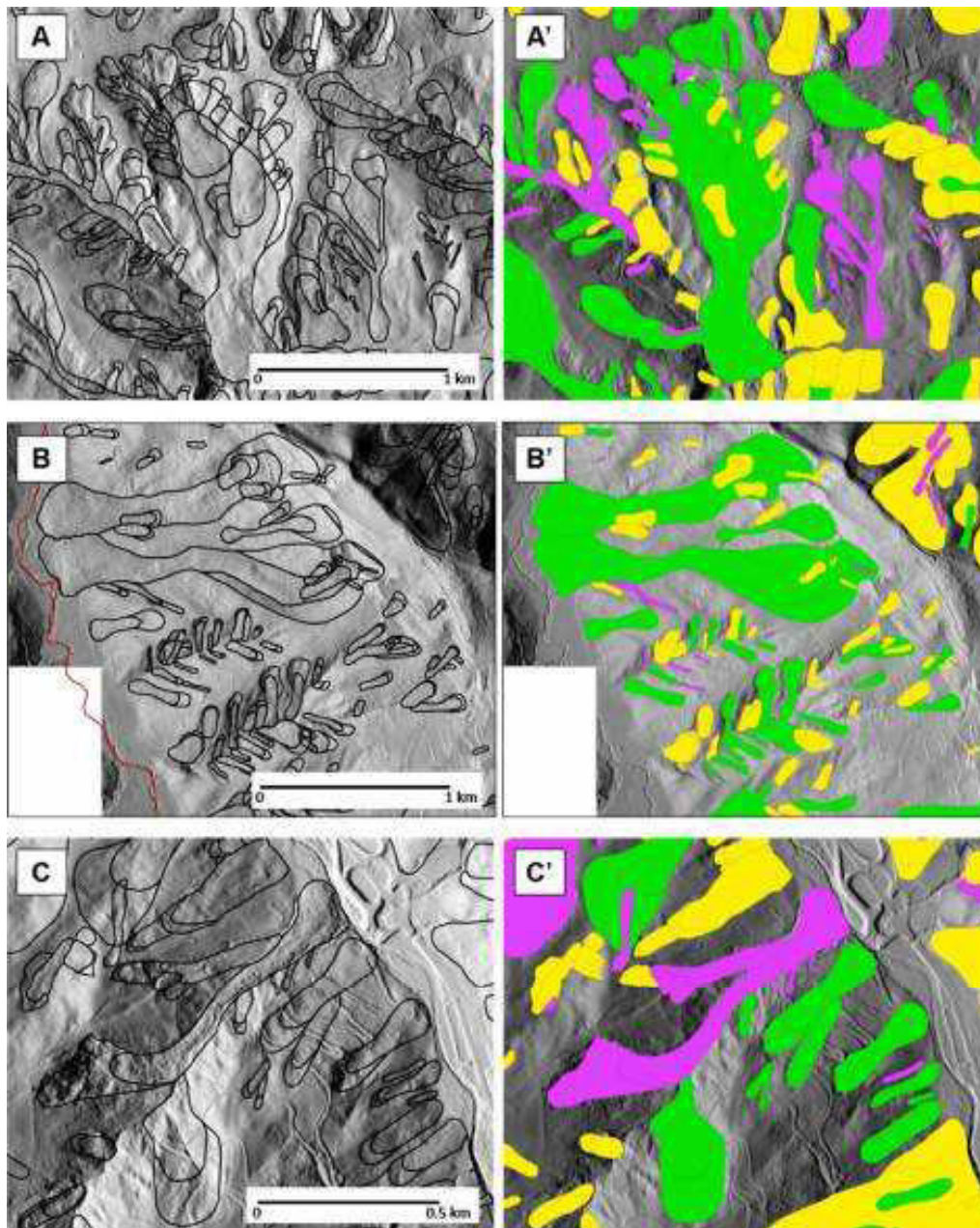


Figura 4-13. Esempi di frane vecchie (V) per le quali è possibile apprezzare le principali caratteristiche morfologiche del dissesto.



I diversi elementi morfologici presenti in **Figura 4-12** e **Figura 4-13** hanno permesso di identificare frane di diversa dimensione, alcune molto estese che occupano l'intero versante, altre minori che spesso si sviluppano come locali riattivazioni all'interno delle frane maggiori.

Questo ha permesso di classificare le frane vecchie (V) in termini di età relativa (**Figura 4-14** e **Figura 4-15**), applicando un **criterio generazionale** per il quale, ad un dissesto che si presenta sovrapposto (parzialmente o totalmente) ad un altro si può assegnare un'età relativa più recente di quest'ultimo. Le frane vecchie (V) sono state così classificate, seguendo un criterio generazionale, in frane di: **I, II, III e IV generazione**.

In **Figura 4-14A'** e **Figura 4-15A'** è evidente come molte delle frane di **II generazione** (in arancione) si distribuiscono all'interno delle grandi frane maggiori di **I generazione** (giallo chiaro). In **Figura 4-14A'** ad esempio, le frane di **II generazione** sono presenti indifferentemente all'interno delle aree di scarpata o rimobilizzano porzioni delle aree di deposito o del piede delle grandi frane di **I generazione**. In **Figura 4-15A'** invece, è interessante notare come le frane di **II generazione** siano unicamente distribuite con elevata densità, lungo il coronamento e l'area di scarpata del grande scivolamento-colata più vecchio (**I generazione**). Questa informazione fornisce importanti indizi sulla elevata instabilità alla quale è sottoposta l'area di scarpata e il coronamento della grande frana più vecchia.

Indizi sulla elevata ricorrenza di alcuni settori del territorio di studio, sono mostrate nelle immagini A' e B' di **Figura 4-14** e **Figura 4-15** dove sono state riconosciute anche frane di **III generazione** (in rosso) a testimonianza di locali riattivazioni di porzioni delle frane precedenti di **II generazione**.



RISULTATI

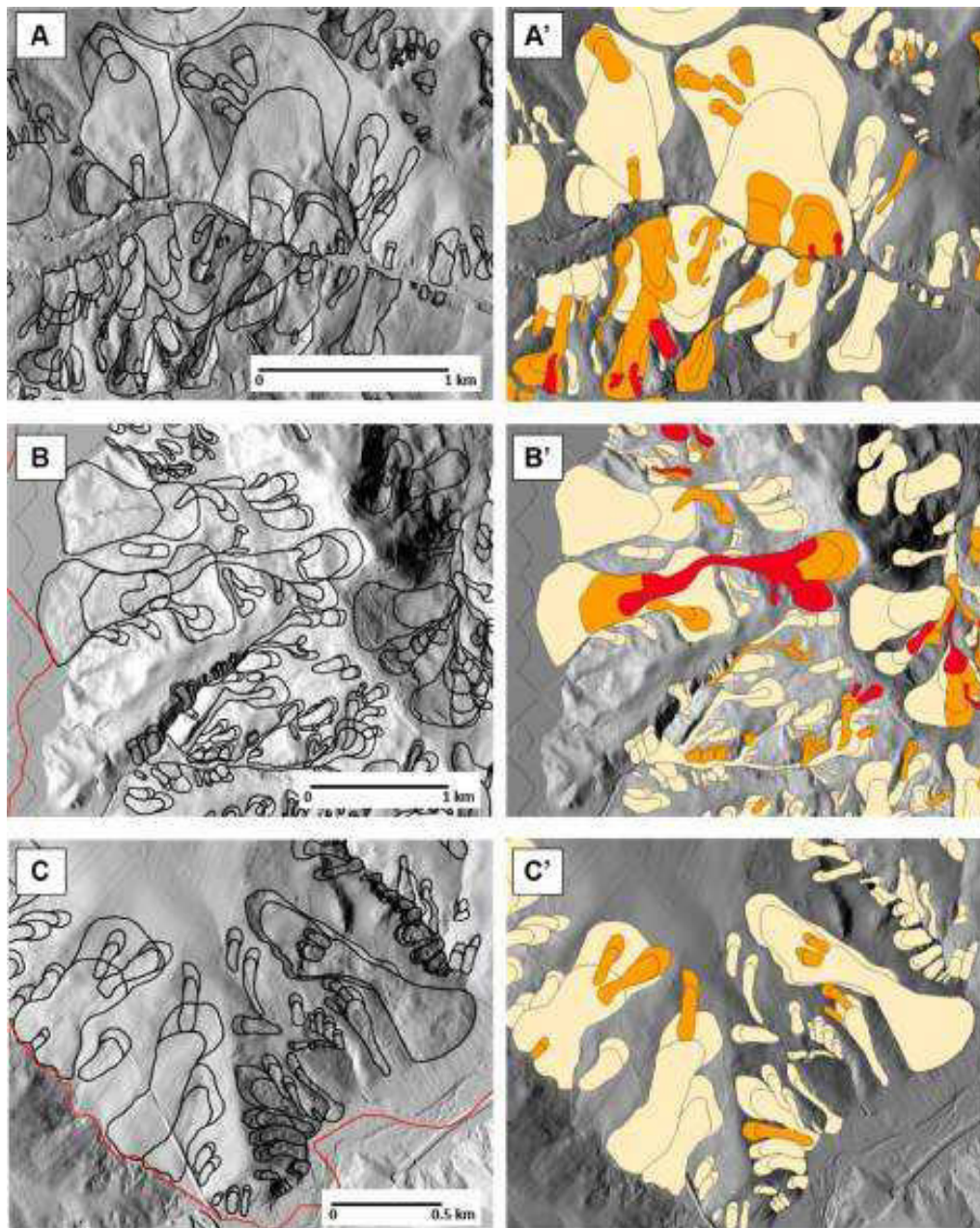


Figura 4-14. Esempi di frane vecchie (V) a diversa età relativa, per le quali è possibile apprezzare le principali caratteristiche morfologiche del dissesto. Età relativa: **I generazione** (giallo chiaro), **II generazione** (arancione), **III generazione** (rosso).



RISULTATI

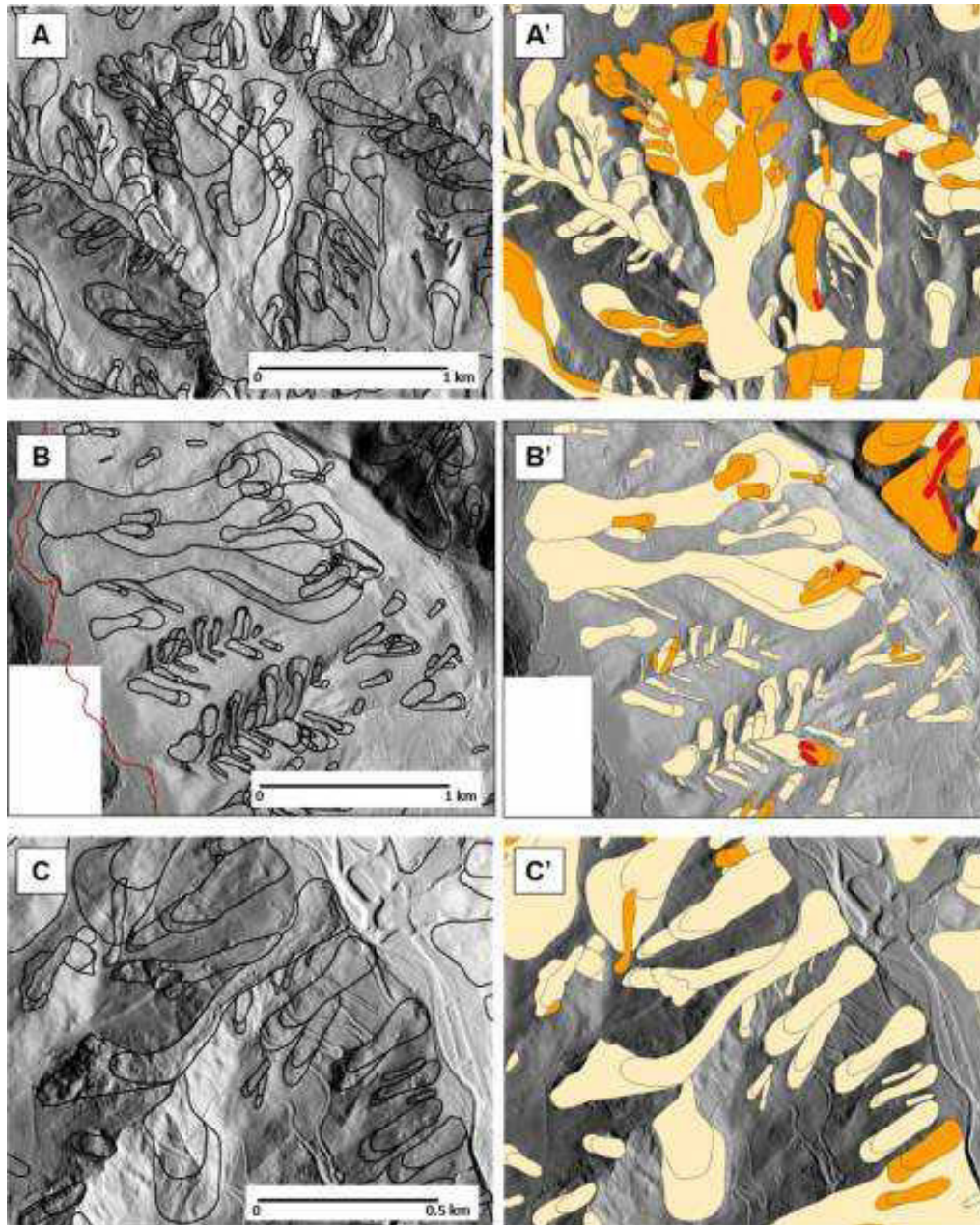


Figura 4-15. Esempi di frane vecchie (V) a diversa età relativa, per le quali è possibile apprezzare le principali caratteristiche morfologiche del dissesto. Età relativa: **I generazione** (giallo chiaro), **II generazione** (arancione), **III generazione** (rosso).



RISULTATI

Come per le frane MV, la distribuzione e la densità delle frane vecchie (V) è controllata dalle caratteristiche geo-litologiche locali (**Figura 4-16**). In particolare, la presenza di litologie prevalentemente pelitiche e argillose (poligoni scuri in Figura 4.16A) determina localmente una elevata densità delle frane vecchie, caratterizzata da prevalenti scivolamenti-colata e colate (rispettivamente poligoni verdi e lilla in **Figura 4-16B**).

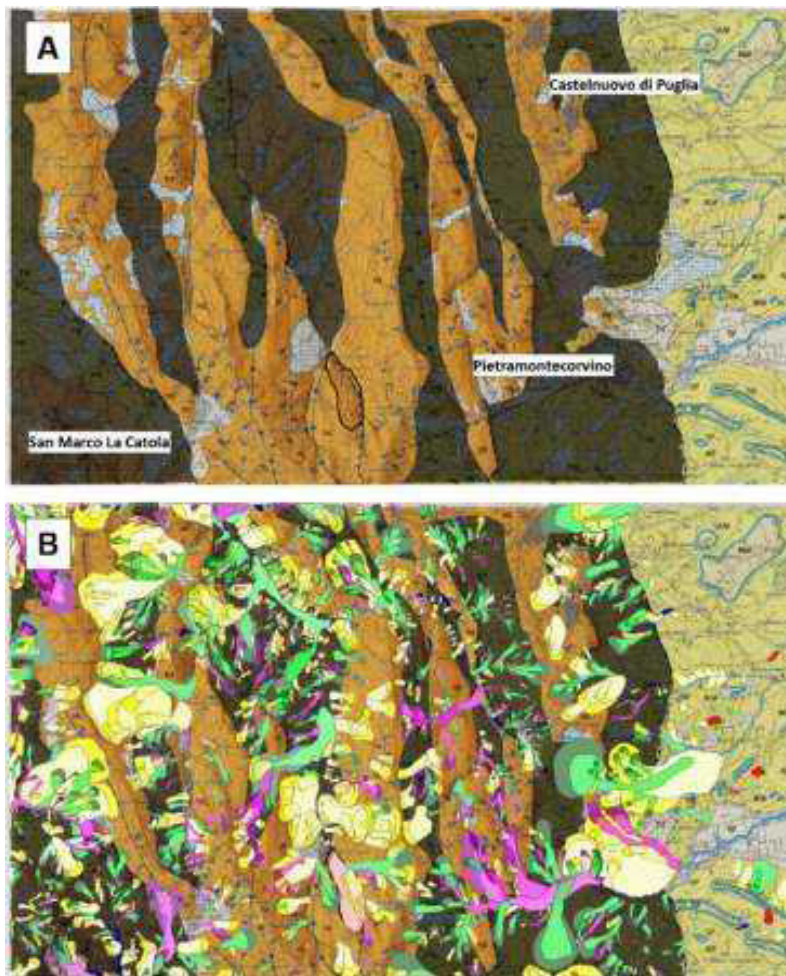


Figura 4-16. Relazione tra litologie e distribuzione delle frane vecchie. (A) Distribuzione di litologie più competenti del Flysch di Faeto (arancione) e più pelitiche o argillose (grigio). (B) Distribuzione di frane vecchie (V) a diversa tipologia: scivolamenti (giallo), scivolamenti -colata (verde), colate (lilla).



4.1.4. ESEMPI DI FRANE RECENTI

Le **frane recenti (R)** sono distribuite su tutto il territorio di studio (**Figura 4-17**) e sono rappresentate da dissesti che appaiono con morfologie “fresche” sulle fotografie aeree del 2003, indizio questo di movimenti in atto (frane in evoluzione) alla data della immagine fotografica (**Figura 4-18**).

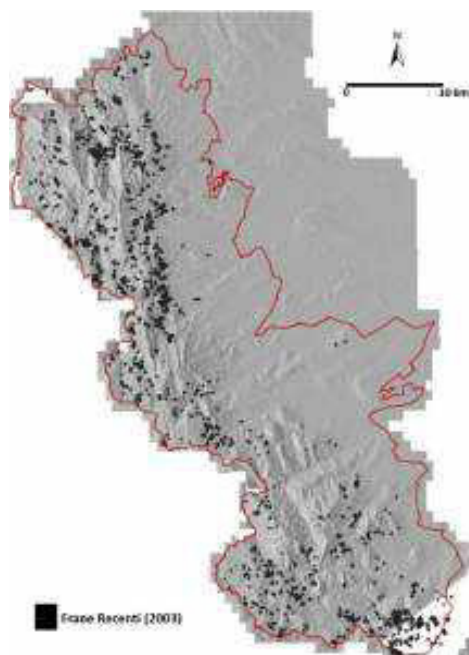


Figura 4-17. Distribuzione delle frane recenti che mostrano sulle fotografie aeree del 2003 morfologie “fresche”, come quelle rappresentate in Figura 4.18, segno di movimenti in atto (frane in evoluzione) alla data della immagine fotografica.

Gli elementi tipici che consentono di identificare le frane recenti sono caratterizzati non solo da evidenze morfologiche, visibili dall’esame di fotografie aeree stereoscopiche, ma soprattutto da elementi spettrali che possono essere percepiti anche con la sola visione bi-dimensionale (2D) delle immagini.

I principali elementi spettrali utili ad identificare le frane in evoluzione, che mostrano movimenti in atto, sono essenzialmente il **tono** e il **contrasto** degli oggetti. Questi elementi dipendono dalla quantità di luce riflessa dall’oggetto, funzione delle sue condizioni e caratteristiche specifiche. Toni (o colori) chiari, ad esempio, sono generalmente riconducibili ad aree denudate o detritiche con scarsa o nulla vegetazione, mentre toni scuri sono prevalentemente riferiti a specchi d’acqua, a zone umide. Zone ad elevato contrasto identificano brusche modifiche nelle caratteristiche degli oggetti sulla superficie del suolo.

Questo tipo di elementi spettrali, quando analizzati contestualmente ad altri elementi di tipo geometrico e/o spaziale (percepibili dalla visione tridimensionale di immagini



RISULTATI

stereoscopiche), forniscono utili informazioni soprattutto per la identificazione delle frane in evoluzione, che mostrano movimenti in atto come quelle mostrate in **Figura 4-18**.

In **Figura 4-18A**, i principali elementi spettrali che consentono di identificare il dissesto sono rappresentati dal forte contrasto tra i toni scuri esterni alla frana, che appaiono a tessitura fine uniforme, con quelli più chiari della frana che mostrano un aspetto disomogeneo e a chiazze, per la irregolarità della superficie topografica del deposito.

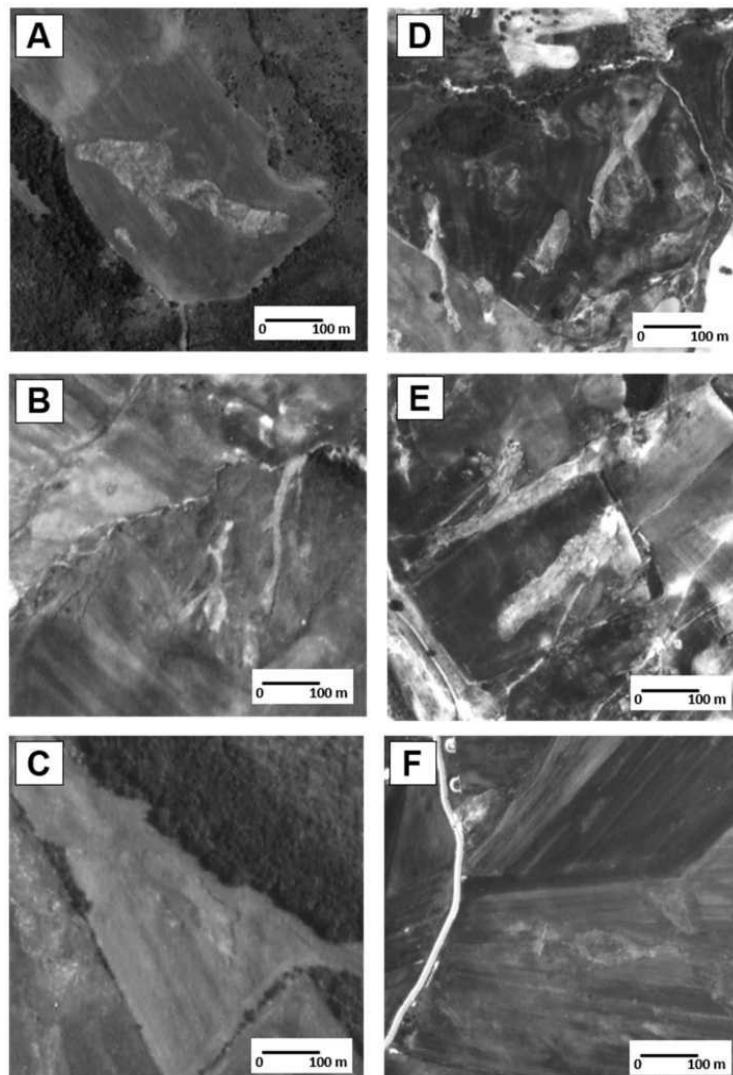


Figura 4-18. Esempi di evidenze spettrali (tono e contrasto) per alcune frane recenti presenti sulle immagini aeree del 2003.



RISULTATI

Nelle immagini B, D e E in **Figura 4-18**, si notano evidenti tracce di forma allungata dai toni chiari che appaiono dai contorni netti, con andamento prevalentemente rettilineo e dalle forme lobate alle estremità. Queste tracce sono riconducibili ad aree dove la coltre di suolo e il manto vegetale è stato asportato e rappresentano aree di alimentazione, canali di transito e depositi di colate di terra che si sviluppano seguendo la direzione di massima pendenza del versante.

In **Figura 4-18C** e **Figura 4-18F**, i dissesti mostrano elementi di tono e contrasto più sfumati e meno evidenti dei casi precedentemente descritti. La sottile linea più scura dalla forma allungata e lobata, visibile sul campo coltivato in **Figura 4-18C**, rappresenta la principale evidenza che permette di identificare e tracciare il bordo della frana. In **Figura 4-18F**, invece, è possibile riconoscere al centro dell'immagine una sottile linea chiara che rappresenta la traccia della scarpata principale di un dissesto il cui deposito è messo in evidenza dalle tonalità chiare-scure irregolari visibili fino al margine destro dell'immagine.

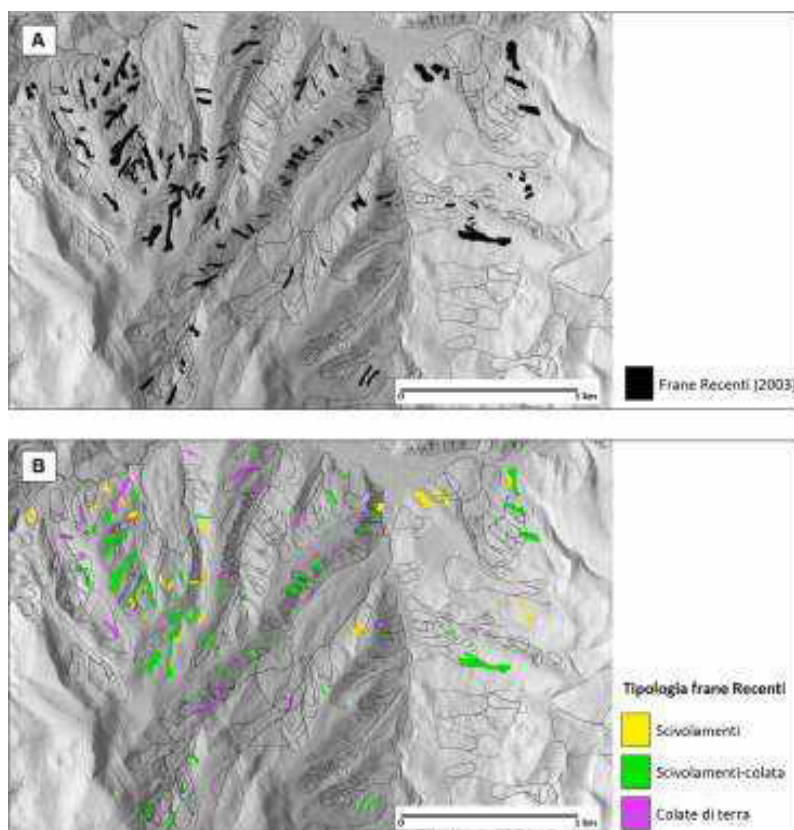


Figura 4-19. Esempio della distribuzione e tipologia di movimento delle frane recenti. (A) Relazione tra frane recenti (poligoni neri) e frane vecchie (linee), (B) Distribuzione delle diverse tipologie di movimento delle frane recenti.



RISULTATI

Le frane recenti coinvolgono prevalentemente la coltre detritica di alterazione per pochi metri di profondità e si distribuiscono sia all'interno di altre frane sia in versanti integri. In **Figura 4-19A**, ad esempio, le frane recenti si presentano prevalentemente in gruppo, concentrandosi nelle aree di coronamento e di scarpata delle frane pregresse a diversa generazione, a conferma della persistente instabilità locale di questi tratti di versante.

Sul territorio di studio, le tipologie di movimento delle frane recenti (**Figura 4-19B**) sono prevalentemente rappresentate da: scivolamenti (1009), colate (570) e scivolamenti-colata (482). Meno numerose nella zona di studio sono le colate detritiche (13). Gli scorrimenti e gli scivolamenti-colata si distribuiscono uniformemente sul territorio di studio e sono rappresentati da singoli movimenti che raramente superano i 15.000 m² di estensione. Le colate sono più diffuse nella parte centro settentrionale dell'area di studio, dove sono presenti anche movimenti di dimensioni maggiori, come quello che raggiunge i 160.000 m² di estensione, localizzato a SE del centro abitato di Alberona.

Questa frana si sviluppa all'interno di un versante particolarmente instabile, interessato da una elevata ricorrenza di frane vecchie a diversa generazione, come mostrato in **Figura 4-20**.

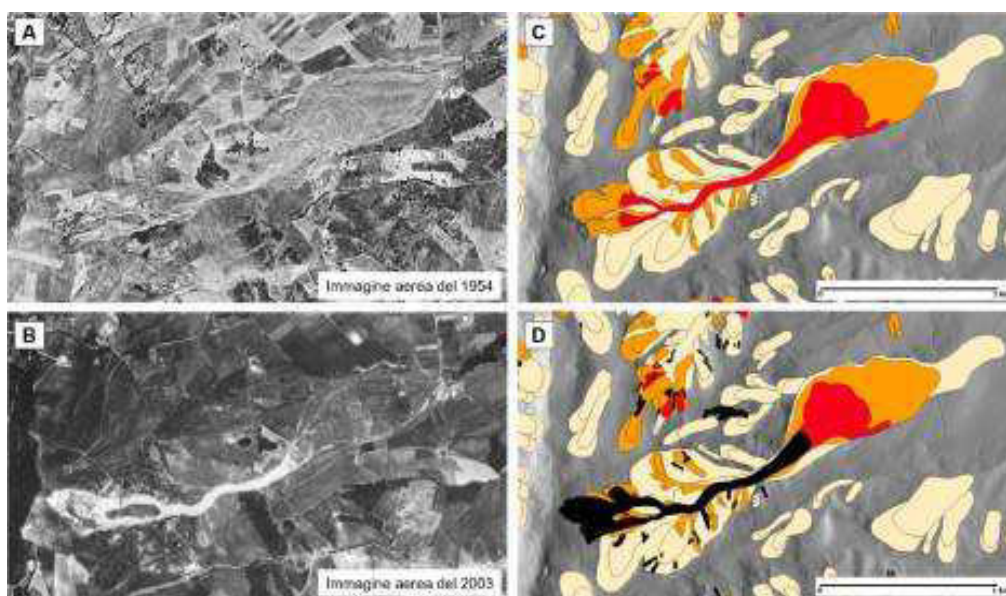


Figura 4-20. Modificazioni nel tempo che il tratto di versante a SE del centro abitato di Alberona ha subito tra il 1954 e il 2003.

Le immagini A e B di **Figura 4-20** permettono di percepire le modificazioni nel tempo che questo tratto di versante ha subito tra il 1954 e il 2003.

Dall'analisi delle fotografie aeree del 1954 è stato possibile identificare più generazioni di frane vecchie (**Figura 4-20C**). La frana di maggiori dimensioni è rappresentata da una colata di terra di **I generazione** (poligono giallo chiaro), all'interno della quale è stata riconosciuta



una colata di **II generazione** (poligono arancione) e una successiva di **III generazione** (poligono rosso). Quest'ultima appare sulle fotografie aeree del 1954 con morfologie "fresche", ad indicare la presenza di un movimento che già in quegli anni mostrava chiari segni di evoluzione.

Ulteriori modificazioni di questo versante sono visibili dall'analisi delle fotografie aeree del 2003 che mostrano la presenza di un poligono dalla forma stretta ed allungata, evidente per i suoi toni chiari a forte contrasto (**Figura 4-20B**). Questa colata di terra (poligono nero in **Figura 4-20D**) ha provocato l'arretramento di oltre 100 metri della scarpata della frana pregressa (poligono arancione in **Figura 4-20C**). La frana recente ha una estensione di circa 160.000 m² e si sviluppa per oltre 1600 metri di lunghezza, raggiungendo una larghezza massima di 200 metri in prossimità dell'area di scarpata. Il suo canale di transito non supera i 50 metri di larghezza, essendo condizionato dalla morfologia della valle ereditata dal passaggio delle frane precedenti (**Figura 4-20C**). Il piede della colata si arresta colmando una locale depressione, formando un ventaglio di circa 100 metri di larghezza.

4.1.5. CARATTERISTICHE DELLA FRANOSITÀ DIFFUSA

Oltre alle frane precedentemente descritte, nella carta inventario sono state riportate anche le **aree a franosità diffusa** che corrispondono ad ambiti morfologici dove sono state riconosciute frane di dimensioni tali da non poter essere rappresentate singolarmente alla scala del lavoro. La **Figura 4-21A** mostra la distribuzione delle aree a franosità diffusa sul territorio esaminato che sono rappresentate da: (i) **scorrimenti superficiali diffusi**, (ii) **colate diffuse di terra e/o di detrito** e da (iii) **crolli diffusi**.

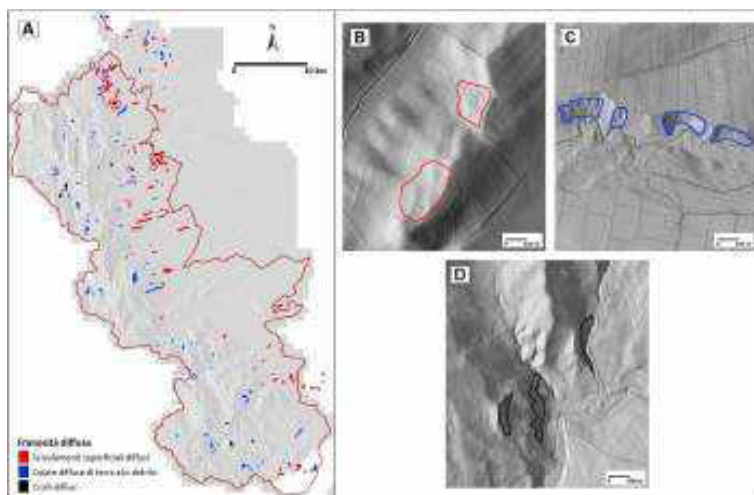


Figura 4-21. Distribuzione delle aree a franosità diffusa nell'area di studio.



RISULTATI

Gli **scivolamenti superficiali diffusi** si distribuiscono prevalentemente nelle aree a minore energia del rilievo, lungo versanti a debole pendenza dove affiorano le litologie meno competenti dei depositi Plio-Pleistocenici (**Figura 4-21A**). Queste aree appaiono a morfologia irregolare per la presenza di blande ondulazioni con locali rilievi e depressioni (*hummocky topography*) dovuti alla coalescenza di numerose piccole frane superficiali (**Figura 4-21B**).

Le **colate diffuse di terra e/o di detrito** si distribuiscono prevalentemente lungo versanti acclivi e in corrispondenza di netti cambi di pendenza (**Figura 4.21A**). La morfologia di queste aree si presenta molto irregolare, con versanti in forte erosione per la continua rimozione di suolo. Il dilavamento esercitato delle acque superficiali produce versanti spesso senza copertura vegetale, dove sono riconoscibili locali colate di terra e/o di detrito di piccole dimensioni (**Figura 4-21C**).

I **crolli diffusi**, sono rappresentati da pareti rocciose sub-verticali dove sono presenti costoni e balze rocciose, considerate come possibili aree sorgenti di crolli, cadute massi o ribaltamenti per la presenza di locali accumuli detritici alla base (**Figura 4-21D**).

4.1.6. CARATTERISTICHE DEGLI ELEMENTI GEOMORFOLOGICI

La carta inventario, infine, riporta anche informazioni relative ad alcuni **elementi geomorfologici** che possono essere considerati in relazione con l'evoluzione dei versanti e possono fornire utili informazioni per l'analisi della distribuzione delle frane.

Gli elementi geomorfologici si estendono prevalentemente lungo le porzioni sub-pianeggianti del Tavoliere (**Figura 4-22A**), su un'area di circa 800 km² e sono rappresentati da: (i) **depositi alluvionali attuali e recenti**, (ii) **conoidi alluvionali**, (iii) **conoidi alluvionali relitte**, (iv) **superfici terrazzate**.

I **depositi alluvionali** attuali e recenti sono rappresentati da aree pianeggianti che si distribuiscono prevalentemente lungo i corsi d'acqua principali e i tributari minori.

Le **conoidi alluvionali** sono morfologicamente rappresentate da depositi a forma di ventaglio e dalla superficie convessa. Sono generalmente localizzate lungo le valli principali dove confluiscono i tributari minori. Le conoidi possono essere fra loro coalescenti e possono ospitare al loro interno depositi di colata di detrito.

Le **conoidi alluvionali relitte** sono rappresentate da depositi di grandi dimensioni a morfologia convessa e forma a ventaglio, che appaiono smantellati dall'azione erosiva dei corsi d'acqua. Dove l'erosione incanalata è maggiore si riscontrano lembi delle conoidi relitte sospese di alcune decine di metri rispetto al fondovalle locale. Inoltre, non è raro trovare queste grandi conoidi relitte posizionate alla base di versanti interessati da frane di grandi dimensioni. La **Figura 4-22B** infatti mostra come queste grandi conoidi relitte prendono origine a partire dal piede e dai fianchi delle frane di maggiori dimensioni, a conferma della stretta relazione di questi depositi con l'evoluzione generale del versante.



Le **superfici terrazzate** sono rappresentate da superfici tabulari, di natura deposizionale (depositi alluvionali terrazzati) e/o erosiva (*strath terraces*), distribuite in diversi ordini posti a diverse altezze sugli alvei attuali. Lungo i versanti che delimitano le superfici terrazzate si sviluppano spesso frane sia superficiali che profonde (**Figura 4-22B**), la cui azione contribuisce allo smantellamento e riduzione di queste superfici tabulari.

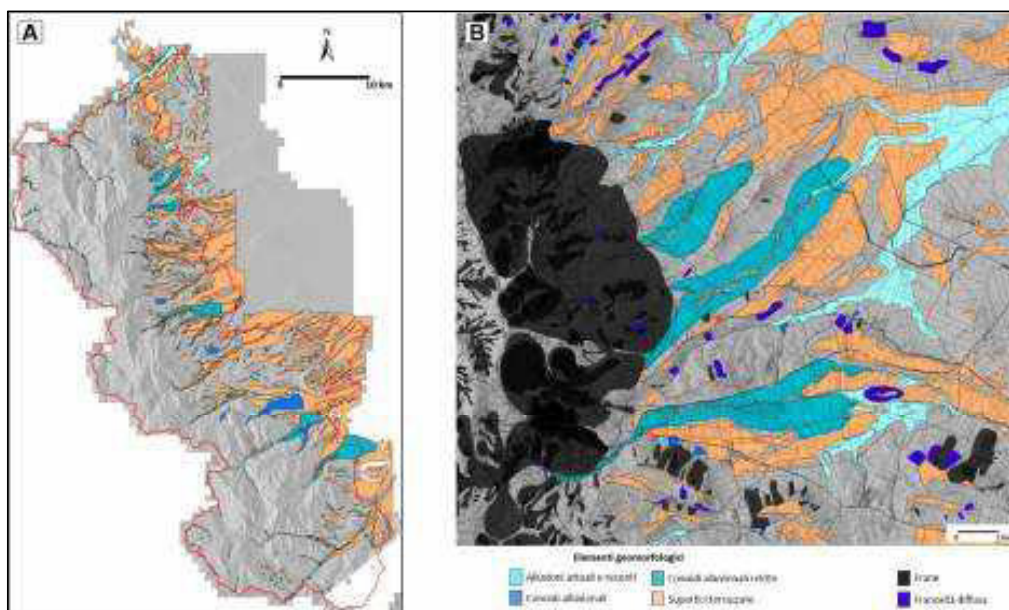


Figura 4-22. (A) Distribuzione degli elementi geomorfologici nell'area di studio. (B) Dettaglio della carta inventario e relazioni tra frane e elementi geomorfologici.

4.2. ANALISI STATISTICA DELLE FRANE PRESENTI NELLA CARTA INVENTARIO GEOMORFOLOGICA

In questo capitolo sarà descritta la statistica delle aree delle frane riportate nell'inventario geomorfologico oggetto del presente report conclusivo.

Le aree delle frane all'interno delle carte inventario seguono una legge di potenza che vede la frequenza delle frane aumentare al decrescere della loro area (**Figura 4-23A, B**). Pertanto frane molto grandi saranno meno comuni di frane via via più piccole, secondo una legge di potenza. Tale legge si verifica fino ad un valore di picco (modale) della distribuzione denominato "rollover". Per aree più piccole di questa dimensione, la numerosità delle frane tende nuovamente a decrescere secondo una legge di potenza avente pendenza opposta al primo tratto della curva, e generalmente pendenza minore. In letteratura tale andamento



RISULTATI

è stato documentato ampiamente negli ultimi 20 anni (Guzzetti et al., 2002; Malamud et al., 2004), ed è risultato essere comune a molti inventari di diversa natura, geomorfologici, di evento e multitemporali, pur se con parametri differenti.

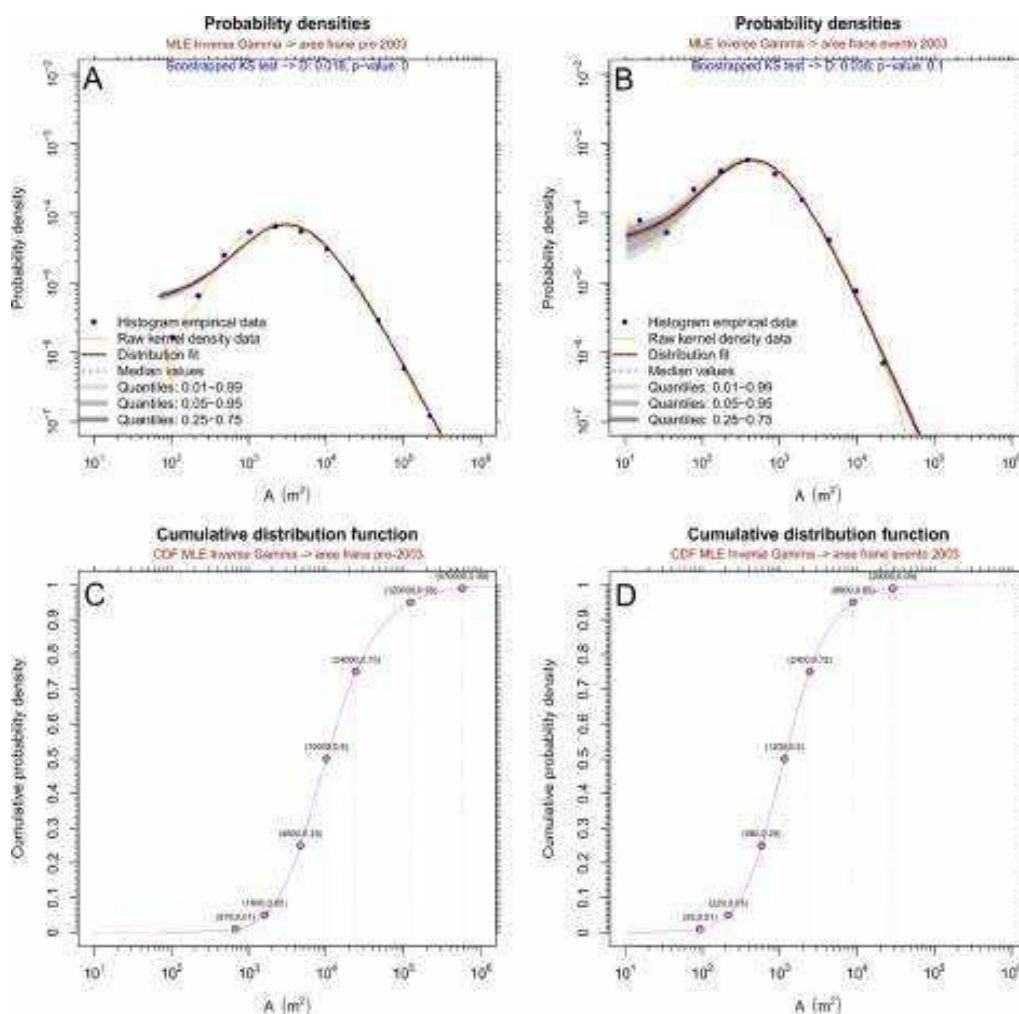


Figura 4-23. Curve di distribuzione della probabilità dell'area in frana (A) per le frane pre-2003 (B) per le frane di evento del 2003. I punti rappresentano i valori empirici dell'istogramma, la curva gialla la stima della kernel density, la curva rossa il fit della distribuzione effettuato tramite Maximum Likelihood estimation della funzione Inverse Gamma. In grigio le tre fasce di incertezza. Curve della funzione di distribuzione cumulata (C) per le frane pre-2003 (D) per le frane di evento del 2003.

In **Figura 4-23** sono rappresentate le curve di distribuzione di probabilità delle aree in frana derivate per l'intero inventario delle frane del Sub-Appennino Dauno, analizzando separatamente le frane pre-2003 (**Figura 4-23A**) e le frane recenti (**Figura 4-23B**). Sono



escluse dall'analisi statistica i poligoni riguardanti la franosità diffusa in quanto non formalizzano singole frane e causerebbero l'introduzione di rumore all'interno del dataset.

Il confronto dei grafici in **Figura 4-23** rivela una netta differenza nella distribuzione statistica dei due inventari. In particolare, le frane pre-2003 sono tendenzialmente più spostate verso le frane di dimensioni grandi rispetto alle frane recenti, come si evince dalla minor pendenza del tratto discendente della curva (**Figura 4-23A, B**). Una seconda differenza sostanziale è dovuta alla diversa dimensione del *rollover* (valore modale, ovvero più frequente, della distribuzione). Nell'inventario delle frane pre-2003 il valore più probabile di area si attesta intorno ai 2000 m², mentre per le frane di recenti intorno ai 300 m² (**Figura 4-23A, B**). La diversa ampiezza delle fasce di incertezza è fondamentalmente dovuta alla scarsa numerosità delle frane 2003 di dimensioni inferiori ai 200 m², valore al di sotto del quale si può affermare che la mappatura non sia statisticamente consistente. Questo argomento sarà trattato in maggior dettaglio nel capitolo dedicato all'analisi degli errori di mappatura (capitolo 6).

Osservando le curve cumulate (Cumulative Distribution Function, CDF, **Figura 4-23C, D**), si osserva come in effetti i valori corrispondenti ai principali quartili della distribuzione per le frane pre-2003 (**Figura 4-23C**) siano sistematicamente di un ordine di grandezza maggiori rispetto alle frane recenti (**Figura 4-23D**). Questa caratteristica è dovuta alla minore dimensione delle frane avvenute nel 2003 rispetto alle frane pregresse, e registrate nelle fotografie aeree utilizzate per realizzare la mappatura. La discrepanza tra i valori di area che emerge nel confronto tra le CDF, riflette in modo efficace la differenza di approccio nella mappatura per realizzare i due inventari. Le frane di evento sono rilevabili grazie a variazioni di caratteristiche spettrali (tono, tessitura, colore), e possono essere rilevati anche a livelli di zoom di estremo dettaglio grazie anche all'utilizzo della stereoscopia digitale. Per contro, le frane pregresse richiedono un esteso ricorso alle caratteristiche morfologiche del territorio, richiedendo livelli di ingrandimento non confrontabili con quello che avviene per le frane di evento. Inoltre le caratteristiche delle frane tendono a scomparire nel tempo, soprattutto per frane di dimensioni ridotte e comparabili con quelle recenti. Pertanto, a causa dei processi erosivi, dell'azione antropica di lavorazione dei campi, della crescita della vegetazione e dell'occorrenza di nuove frane, le evidenze delle frane preesistenti si affievoliscono, e tale effetto è tanto più rilevante per frane di piccole dimensioni i cui effetti sono prevalentemente a carico degli orizzonti del suolo.

4.3. UNITÀ TETTONO-STRATIGRAFICHE E FRANOSITÀ

Nell'area di studio affiorano rocce sedimentarie comprese nelle unità tettono-stratigrafiche del Fortore, della Daunia, della Fossa Bradanica e dei Bacini di *Thrust Top*. Le prime tre unità si sovrappongono l'una sull'altra attraverso due sovrascorrimenti di importanza regionale con andamento NNW-SSE e trasporto tettonico verso ENE. L'Unità dei Bacini di *Thrust Top* poggia in discontinuità sull'Unità della Daunia (**Figura 4-24**).



RISULTATI

In particolare, l'**Unità del Fortore** è costituita da due Sottunità: i) la Sottunità di San Bartolomeo, più interna, è costituita dal Gruppo delle Argille varicolori (*Cretacico Superiore - Oligocene*), Tufiti di Tusa (*Miocene Inferiore*), Flysch Numidico (*Burdigaliano – Langhiano Inferiore*), e Flysch di San Bartolomeo (*Langhiano – Tortoniano Superiore*). La Sottunità di Volturara Apula, più esterna, è identica nei termini medio-alti della successione (Flysch Numidico e Flysch di San Bartolomeo), mentre nella parte bassa, il Flysch Rosso (*Cretacico – Aquitaniano*) sostituisce il Gruppo delle Argille Varicolori e le Tufiti di Tusa.

L'**Unità della Daunia** è costituita da: Flysch Rosso (*Cretacico - Burdigaliano Inferiore*), flysch di Faeto (*Burdigaliano Superiore – Tortoniano Inferiore*), e dalle marne Argillose del Toppo Capuana (*Tortoniano – Messiniano Inferiore*). Il passaggio tra Flysch Rosso e Flysch di Faeto è localmente marcato da una litofacies a strati quarzoarenitici che verso l'alto passa per un'alternanza di marne e calcareniti risedimentate al Flysch di Faeto. Nel settore centro-meridionale dei Monti Dauni questa litofacies può essere ragionevolmente correlata all'Unità delle calcareniti, argille e marne di Monte Sidone (*Aquitano – Burdigaliano*).

L' **Unità dei Bacini di Thrust Top** è costituita da depositi limoso-sabbioso-conglomeratici di età Pliocenica (*Pliocene Inferiore e Medio*) che testimoniano la sedimentazione sin-orogena in piccoli bacini isolati, allungati longitudinalmente alla catena, riempiti da depositi costieri e di transizione progressivamente coinvolti in pieghe e limitati sovrascorrimenti.

L'**Unità della fossa Bradanica** è costituita dalla formazione delle Argille Subappenniniche (*Pliocene Medio – Pleistocene Inferiore*) caratterizzata da alternanze di argille siltose e marne argillose a cui si intercalano sottili e sporadici livelli sabbiosi. Nel settore pedemontano del tavoliere le Argille Subappenniniche sono estesamente coperte da depositi continentali terrazzati; perciò affiorano prevalentemente nelle incisioni fluviali o lungo i versanti, talvolta ripidi, di basse colline a tetto piatto, al di sotto degli orli dei terrazzi fluviali.

Nelle linee generali, i caratteri tettonici delle unità tettono-stratigrafiche sopra elencate sono espressi da uno stile strutturale compressivo dato da una serie di faglie inverse e sovrascorrimenti associati a pieghe. (Note illustrative Foglio Carg 407- San Bartolomeo in Galdo

http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/note_illustrative/407_San_Bartolomeo.pdf; Note illustrative Foglio Carg 433- Ariano Irpino https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/note_illustrative/433_Ariano_Irpino.pdf).

Di seguito sono descritte le caratteristiche della franosità nelle diverse unità tettono-stratigrafiche.



RISULTATI

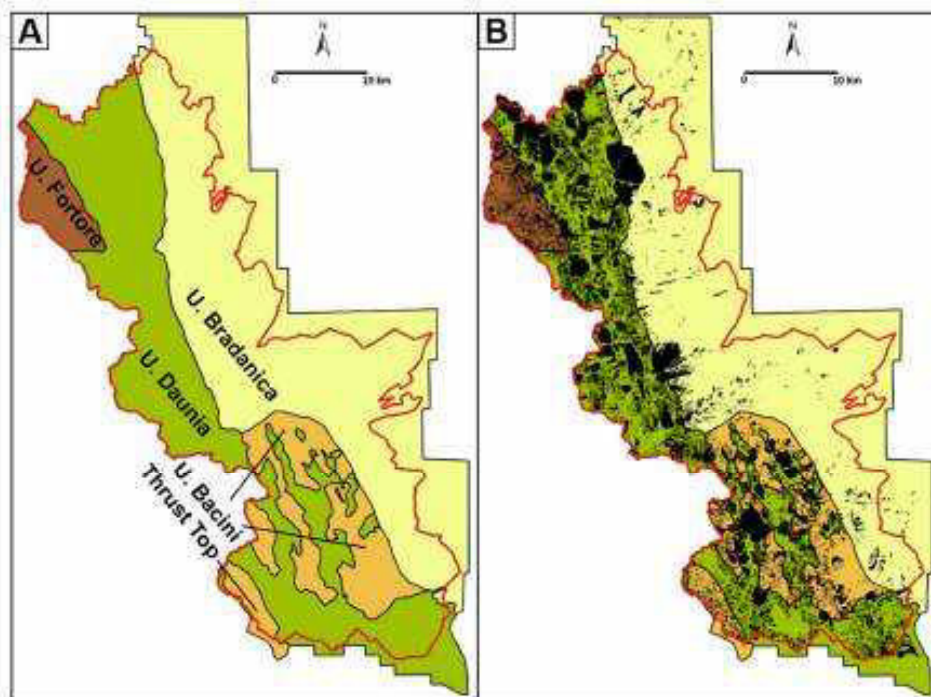


Figura 4-24. (A) Suddivisione dell'area di studio nelle quattro unità tettono-stratigrafiche. (B) Confronto tra unità tettono-stratigrafiche e distribuzione delle frane, rappresentate con poligoni neri.

Di seguito sono descritte le caratteristiche della franosità nelle diverse unità tettono-stratigrafiche.

4.3.1. FRANOSITÀ NELL'UNITÀ TETTONICA DEL FORTORE.

L'Unità del Fortore occupa la porzione occidentale dell'area di studio per una superficie di 68 km². Lo stile deformativo di questa unità tettonica è caratterizzato da sovrascorrimenti, retroscorrimenti e pieghe con fianchi da inclinati a rovesci sia verso ENE che verso OSO, che risulta in una generale doppia vergenza delle strutture plicative. Le quote in quest'area variano da circa 200 m s.l.m. a oltre 700 m s.l.m., con una quota media di circa 400 m. La pendenza media dei versanti per questi territori è di circa 12°.

L'8% delle frane ricade all'interno di questa unità tettonica, per un'area in frana pari al 45.5% dell'area totale, e una densità media pari a 19 frane al km². Le dimensioni delle frane sono comprese tra 156 m² e 861.104 m². La distribuzione delle frane è abbastanza uniforme e mancano frane di grandi dimensioni (**Figura 4-24B**). Le tipologie di frana rappresentate sono: scivolamenti (51%), scivolamenti colate (32%), colate (17%).



RISULTATI

4.3.2. FRANOSITÀ NELL'UNITÀ TETTONICA DELLA DAUNIA

L'Unità della Daunia occupa la porzione centrale dell'area di studio per una superficie di 683 km². Lo stile deformativo di questa unità tettonica è caratterizzato da sovrascorrimenti e pieghe con fianchi da inclinati a rovesciati, generalmente verso ENE. Associati ai sovrascorrimenti principali, sono anche documentati sistemi di retroscorrimenti ad alto angolo che determinano un diffuso sviluppo di fianchi di pieghe rovesciati verso OSO, tipicamente molto inclinati. Le quote in quest'area variano da circa 70 m s.l.m. a 1152 m s.l.m., con una quota media di circa 500 m. La pendenza media dei versanti per questi territori è di circa 13°. Le acclività maggiori, con valori che superano i 20 gradi, si osservano lungo i fianchi occidentali dei versanti.

Il 65% delle frane ricade all'interno di questa unità tettonica, per un'area in frana pari al 46% dell'area totale, e una densità media pari a 16,5 frane al km². Le dimensioni delle frane sono comprese tra 49 m² e 6.206.026 m². La distribuzione delle frane non è uniforme su tutto il suo territorio. Sono evidenti, infatti, zone a densità medio-bassa e zone a densità elevata (**Figura 4-24B**).

I valori più elevati di densità di frana si collocano in corrispondenza di litotipi diffusamente tettonizzati e prevalentemente argilloso-marnosi, dove la densità di frana raggiunge le 60 frane a km². Indipendentemente dalla variabilità dei valori di densità di frana, la dimensione delle frane nell'Unità della Daunia è diffusamente maggiore rispetto alla dimensione delle frane nelle altre unità tettoniche (**Figura 4-24B**). Le tipologie di frana rappresentate sono: scivolamenti (56%), scivolamenti colate (27%), colate (17%).

4.3.3. FRANOSITÀ NELL'UNITÀ TETTONICA DELLA FOSSA BRADANICA.

L'Unità della Fossa Bradanica si colloca nella porzione più orientale dell'area di studio ed occupa una superficie di 947 km². Dal punto di vista orografico l'area è caratterizzata da superfici terrazzate inframezzate da valli alluvionali orientate in direzione OSO-ENE. Nell'area l'energia di rilievo è modesta, con quote che variano da circa 30 m s.l.m. a 600 m s.l.m., con una quota media di circa 224 m s.l.m. La pendenza media dei versanti per questi territori è inferiore ai 5°. Le acclività maggiori si osservano nelle porzioni di raccordo tra i terrazzi e le valli alluvionali dove, localmente, possono raggiungere valori superiori ai 10°.

L' 8% delle frane ricade all'interno di questa unità tettonica, per un'area in frana pari al 6,4% dell'area totale, e una densità media pari a 1,4 frane al km². Le dimensioni delle frane sono comprese tra 117 m² e 1.175.962 m². La maggior parte delle frane presenti sono localizzate nel settore pedemontano del Tavoliere, nelle vicinanze del limite con L'Unità della Daunia, e lungo gli orli di scarpata delle ampie superfici terrazzate che caratterizzano la morfologia di questa unità tettonica (**Figura 4-24B**). Tuttavia, anche in questi settori, la densità di frana rimane bassa in confronto alle altre unità, e non supera le 13 frane a km². Le tipologie di frana rappresentate sono: scivolamenti (68%), scivolamenti colate (21%), colate (11%).



4.3.4. FRANOSITÀ NELL'UNITÀ DEI BACINI DI THRUST TOP

L'Unità dei Bacini di *Thrust Top* si colloca geograficamente nella porzione centro-meridionale dell'area di studio, e stratigraficamente al di sopra dell'Unità della Daunia. Occupa una superficie di 206 km². Dal punto di vista orografico l'area è caratterizzata da una serie di valli orientate in direzione NNO-SSE, longitudinalmente alla catena, impostate su sinclinali sinformi, con stessa orientazione degli assi strutturali. Queste valli sono separate da dorsali ad esse parallele, impostate su anticlinali antiformali con stessa orientazione degli assi strutturali, dove affiorano i terreni dell'Unità della Daunia. Le quote di quest'area variano da 244 m s.l.m. a 1036 m s.l.m., con una quota media di circa 500 m s.l.m. La pendenza media dei versanti per questi territori è di circa 13°. Le acclività maggiori, spesso superiori a 20°, si osservano in prossimità del contatto, talvolta molto inclinato, con i terreni della sottostante Unità della Daunia. Acclività superiori ai 20° sono anche riscontrate in corrispondenza di profonde incisioni fluviali che localmente isolano morfologie a *mesa*.

Il 19% delle frane ricade all'interno di questa unità tettonica, per un'area in frana pari al 30% dell'area totale, e una densità media pari a 15,7 frane al km². Le dimensioni delle frane sono comprese tra 10 m² e 2.476.000 m².

I valori più elevati di densità di frana si collocano in corrispondenza del contatto con la sottostante unità della Daunia, lungo fianchi di sinclinali talvolta coinvolti in locali sovrascorrimenti. Questi stessi settori ospitano anche frane di grandi dimensioni, caratterizzate da una elevata ricorrenza di frane di generazioni successive (**Figura 4-24B**). Localmente, una elevata densità di frana si riscontra lungo i margini di rilievi tipo *mesa*, soggetti ad una evoluzione tipicamente retrogressiva della franosità. Le tipologie di frana rappresentate sono: scivolamenti (64%), scivolamenti colate (27%), colate (9%).



5. ARCHIVIO DIGITALE

Le informazioni relative alla mappatura delle frane sono state informatizzate con l'obiettivo di realizzare un archivio digitale "georeferenziato" utilizzando QGIS 3.2 e il modulo ArcMap di ArcGIS. La base cartografica di riferimento, consegnata dal committente, consiste in una carta tecnica in scala 1:5.000.

L'archivio digitale della carta inventario geomorfologica delle frane è costituito da un totale di **7 shapefiles** (Tabella 5-1), proiettati in WGS 84 UTM 33 (EPSG 32633), che corrispondono a: i) frane **molto vecchie relitte**, ii) frane **molto vecchie**, iii) frane **vecchie**, precedenti il 2003 (**pre-2003**), iv) frane **recenti** riconducibili all'anno 2003, v) aree a **franosità diffusa**, e vi) **elementi geomorfologici** (superfici terrazzate, conoidi alluvionali, depositi alluvionali).

Tabella 5-1. Shapefiles che costituiscono l'archivio digitale.

Nome shapefile	Descrizione	Tipo di file vettoriale
frn_molto_vecchie_relitte	Lo shapefile contiene frane molto vecchie relitte . Esse interessano generalmente interi versanti e si presentano smantellate dall'azione erosiva dei corsi d'acqua e spesso rimodellate da ricorrenti fenomeni gravitativi. Queste frane risultano spesso sospese rispetto al livello di base attuale, e totalmente o parzialmente isolate dall'evoluzione recente del reticolo di drenaggio.	Poligoni
frn_molto_vecchie	Lo shapefile contiene le frane molto vecchie . Esse presentano una morfologia modificata in più punti dall'azione erosiva dei corsi d'acqua e dall'occorrenza di fenomeni gravitativi nel tempo. Queste frane sono generalmente di grandi dimensioni e la loro evoluzione ha spesso modificato l'andamento del reticolo idrografico principale. Queste frane mostrano una ricorrenza spaziale; sono state riconosciute 2 generazioni. Queste frane risultano in accordo con il reticolo fluviale attuale.	Poligoni
frn_molto_vecchie_Madri	Lo shapefile deriva dal layer "frn_molto_vecchie" e contiene solamente le frane molto vecchie di I generazione sulle quali è stata eseguita l'operazione di dissolve descritta più avanti in questo paragrafo.	Poligoni
frn_molto_vecchie_Figlie	Lo shapefile deriva dal layer "frn_molto_vecchie" e contiene solamente le frane molto vecchie di II generazione sulle quali è stata eseguita l'operazione di dissolve descritta più avanti in questo paragrafo.	Poligoni



frn_pre_2003	Lo shapefile contiene le frane pre-2003 . Esse presentano evidenze morfologiche tipiche dei terreni in frana (forma concavo-convessa del versante, scarpate, gradinature, contropendenze, ecc.). Queste frane hanno un'elevata ricorrenza spaziale; sono state riconosciute 4 generazioni di frane, classificate seguendo un criterio generazionale, come: madri (I generazione), figlie (II generazione), nipoti (III generazione), pronipoti (IV generazione).	Poligoni
frn_pre_2003_Madri	Lo shapefile deriva dal layer "frn_pre_2003" e contiene solamente le frane pre 2003 di I generazione sulle quali è stata eseguita l'operazione di dissolve descritta più avanti in questo paragrafo.	Poligoni
frn_pre_2003_Figlie	Lo shapefile deriva dal layer "frn_pre_2003" e contiene solamente le frane pre 2003 di II generazione sulle quali è stata eseguita l'operazione di dissolve descritta più avanti in questo paragrafo.	Poligoni
frn_pre_2003_Nipoti	Lo shapefile deriva dal layer "frn_pre_2003" e contiene solamente le frane pre 2003 di III generazione sulle quali è stata eseguita l'operazione di dissolve descritta più avanti in questo paragrafo.	Poligoni
frn_pre_2003_Pronipoti	Lo shapefile deriva dal layer "frn_pre_2003" e contiene solamente le frane pre 2003 di IV generazione sulle quali è stata eseguita l'operazione di dissolve descritta più avanti in questo paragrafo.	Poligoni
frn_ev_2003	Lo shapefile contiene le frane riconosciute nelle foto aeree del 2003 . Esse mostrano caratteri di "freschezza" morfologica riconducibili ad uno stato d'evoluzione in atto del movimento, osservato sulla base delle evidenze fotografiche e/o morfologiche riconoscibili sulle fotografie. Queste frane mostrano una ricorrenza spaziale; sono state riconosciute 2 generazioni.	Poligoni
frn_ev_2003_Madri	Lo shapefile deriva dal layer "frn_ev_2003" e contiene solamente le frane delle foto 2003 di I generazione sulle quali è stata eseguita l'operazione di dissolve descritta più avanti in questo paragrafo.	Poligoni
frn_ev_2003_Figlie	Lo shapefile deriva dal layer "frn_ev_2003" e contiene solamente le frane delle foto 2003 di II generazione sulle quali è stata eseguita l'operazione di dissolve descritta più avanti in questo paragrafo.	Poligoni
frnst_diffusa	Lo shapefile contiene le aree soggette a franosità diffusa .	Poligoni



ARCHIVIO DIGITALE

geomorfologia	Lo shapefile contiene gli elementi geomorfologici quali conoidi alluvionali, alluvioni, e superfici terrazzate.	Poligoni
ZA_Daunia_wp5	Lo shapefile contiene il limite della zona di allerta di appartenenza.	Poligoni
wp6_comuni	Lo shapefile contiene i limiti delle dieci aree per le quali è stata eseguita la valutazione del rischio (cfr. WP6)	Poligoni

Nell'archivio digitale ad ogni elemento vettoriale (poligono) è associato un record della banca dati dove sono riportate le informazioni relative alla tipologia, generazione (madre, figlia, nipote e pronipote) profondità.

I valori degli attributi sono descritti ed elencati in [Tabella 3-1](#), [Tabella 3-2](#) e [Tabella 3-3](#) (capitolo 3). I nomi dei campi delle tabelle degli attributi degli *shapefiles* consegnati sono descritti in [Tabella 5-2](#).

I poligoni contenuti in ognuno dei 7 *shapefiles* delle frane rispettano due rigorosi criteri topologici: i) non si sovrappongono l'uno all'altro; e ii) sono geometricamente integri. In questo modo è possibile ricostruire ogni singola frana utilizzando il **Numero identificativo** (N_M, N_F, N_N e N_PN) (vedi [Tabella 5-2](#)).

Tabella 5-2. Attributi dei poligoni della carta inventario geomorfologica.

Campo	Descrizione	Nome shapefile
N_M/F/N	Numero identificativo della frana madre/figlia/nipote.	frn_molto_vecchie_relitte
CL_M/F/N	Indica la tipologia di movimento della frana madre/figlia/nipote. Il campo assume il valore "sigla" riportato in Tabella 1-1 .	frn_molto_vecchie_relitte
DEPTH_M/F/N	L'attributo indica se la frana madre/figlia/nipote è profonda o superficiale. Le frane profonde sono cartografate distinguendo l'area di deposito da quella di scarpata.	frn_molto_vecchie_relitte
Shape_Leng	Riporta la lunghezza del perimetro dei poligoni in metri	frn_molto_vecchie_relitte
Shape_Area	Riporta l'area dei poligoni in metri quadrati.	frn_molto_vecchie_relitte
N_M/F/N	Numero identificativo della frana madre/figlia/nipote.	frn_molto_vecchie



CL_M/F/N	Indica la tipologia di movimento della frana madre/figlia/nipote. Il campo assume il valore "sigla" riportato in Tabella 3-1 .	frn_molto_vecchie
DEPTH_M/F/N	L'attributo indica se la frana madre/figlia/nipote è profonda o superficiale. Le frane profonde sono cartografate distinguendo l'area di deposito da quella di scarpata.	frn_molto_vecchie
Shape_Area	Riporta l'area dei poligoni in metri quadrati.	frn_molto_vecchie
Shape_Length	Riporta la lunghezza del perimetro dei poligoni in metri	frn_molto_vecchie
N_M	Numero identificativo della frana madre. Campo su cui è stato eseguito l'operazione di dissolve.	frn_molto_vecchie_Madri
CL_M	Campo su cui è stato eseguito l'operazione di dissolve. Indica la tipologia di movimento della frana madre. Il campo assume il valore "sigla" riportato in Tabella 3-1 .	frn_molto_vecchie_Madri
FIRST_DEPT	L'attributo indica se la frana madre è profonda o superficiale.	frn_molto_vecchie_Madri
Shape_Leng	Riporta la lunghezza del perimetro dei poligoni in metri	frn_molto_vecchie_Madri
Shape_Area	Riporta l'area dei poligoni in metri quadrati.	frn_molto_vecchie_Madri
N_M/F/N/PN	Numero identificativo della frana madre/figlia/nipote/pronipote.	frn_pre_2003
CL_M/F/N/PN	Indica la tipologia di movimento della frana madre/figlia/nipote/pronipote. Il campo assume il valore "sigla" riportato in Tabella 3-1 .	frn_pre_2003
DEPTH_M/F/N/PN	L'attributo indica se la frana madre/figlia/nipote/pronipote è profonda o superficiale. Le frane profonde sono cartografate distinguendo l'area di deposito da quella di scarpata.	frn_pre_2003



ARCHIVIO DIGITALE

Shape_Area	Riporta l'area dei poligoni in metri quadrati.	frn_pre_2003
Shape_Leng	Riporta la lunghezza del perimetro dei poligoni in metri.	frn_pre_2003
Pregresse	L'attributo indica che i poligoni esterni ai limiti dei poligoni dello shapefile wp6_comuni sono stati riconosciuti utilizzando il volo del 2003; i poligoni interni ai limiti dei poligoni dello shapefile wp6_comuni sono stati riconosciuti utilizzando il volo GAI del 1954.	frn_pre_2003
N_M	Numero identificativo della frana madre. Campo su cui è stato eseguito l'operazione di dissolve.	frn_pre_2003_Madri
CL_M	Campo su cui è stato eseguito l'operazione di dissolve. Indica la tipologia di movimento della frana madre. Il campo assume il valore "sigla" riportato in Tabella 3-1 .	frn_pre_2003_Madri
FIRST_DEPT	L'attributo indica se la frana madre è profonda o superficiale.	frn_pre_2003_Madri
FIRST_Preg	L'attributo indica che i poligoni esterni ai limiti dei poligoni dello shapefile wp6_comuni sono stati riconosciuti utilizzando il volo del 2003; i poligoni interni ai limiti dei poligoni dello shapefile wp6_comuni sono stati riconosciuti utilizzando il volo GAI del 1954.	frn_pre_2003_Madri
Shape_Leng	Riporta la lunghezza del perimetro dei poligoni in metri.	frn_pre_2003_Madri
Shape_Area	Riporta l'area dei poligoni in metri quadrati.	frn_pre_2003_Madri
N_F	Campo su cui è stato eseguito l'operazione di dissolve. Numero identificativo della frana figlia.	frn_pre_2003_Figlie
CL_F	Campo su cui è stato eseguito l'operazione di dissolve. Indica la tipologia di movimento della frana figlia. Il campo assume il valore "sigla" riportato in Tabella 3-1 .	frn_pre_2003_Figlie



FIRST_DEPT	L'attributo indica se la frana figlia è profonda o superficiale.	frn_pre_2003_Figlie
FIRST_Preg	L'attributo indica che i poligoni esterni ai limiti dei poligoni dello shapefile wp6_comuni sono stati riconosciuti utilizzando il volo del 2003; i poligoni interni ai limiti dei poligoni dello shapefile wp6_comuni sono stati riconosciuti utilizzando il volo GAI del 1954.	frn_pre_2003_Figlie
Shape_Leng	Riporta la lunghezza del perimetro dei poligoni in metri.	frn_pre_2003_Figlie
Shape_Area	Riporta l'area dei poligoni in metri quadrati.	frn_pre_2003_Figlie
N_N	Campo su cui è stato eseguito l'operazione di dissolve. Numero identificativo della frana nipote	frn_pre_2003_Nipoti
CL_N	Campo su cui è stato eseguito l'operazione di dissolve. Indica la tipologia di movimento della frana nipote. Il campo assume il valore "sigla" riportato in Tabella 3-1 .	frn_pre_2003_Nipoti
FIRST_DEPT	L'attributo indica se la frana nipote è profonda o superficiale.	frn_pre_2003_Nipoti
FIRST_Preg	L'attributo indica che i poligoni esterni ai limiti dei poligoni dello shapefile wp6_comuni sono stati riconosciuti utilizzando il volo del 2003; i poligoni interni ai limiti dei poligoni dello shapefile wp6_comuni sono stati riconosciuti utilizzando il volo GAI del 1954.	frn_pre_2003_Nipoti
Shape_Leng	Riporta la lunghezza del perimetro dei poligoni in metri.	frn_pre_2003_Nipoti
Shape_Area	Riporta l'area dei poligoni in metri quadrati.	frn_pre_2003_Nipoti
N_PN	Campo su cui è stato eseguito l'operazione di dissolve. Numero identificativo della frana pronipote.	frn_pre_2003_Pronipoti



ARCHIVIO DIGITALE

CL_PN	Campo su cui è stato eseguito l'operazione di dissolve. Indica la tipologia di movimento della frana pronipote. Il campo assume il valore "sigla" riportato in Tabella 3-1 .	frn_pre_2003_Pronipoti
FIRST_DEPT	L'attributo indica se la frana pronipote è profonda o superficiale.	frn_pre_2003_Pronipoti
FIRST_Preg	L'attributo indica che i poligoni esterni ai limiti dei poligoni dello shapefile wp6_comuni sono stati riconosciuti utilizzando il volo del 2003; i poligoni interni ai limiti dei poligoni dello shapefile wp6_comuni sono stati riconosciuti utilizzando il volo GAI del 1954.	frn_pre_2003_Pronipoti
Shape_Leng	Riporta la lunghezza del perimetro dei poligoni in metri.	frn_pre_2003_Pronipoti
Shape_Area	Riporta l'area dei poligoni in metri quadrati.	frn_pre_2003_Pronipoti
N_M	Numero identificativo della frana madre/figlia/nipote.	frn_ev_2003
CL_M/F/N	Indica la tipologia di movimento della frana madre/figlia/nipote. Il campo assume il valore "sigla" riportato in Tabella 3-1 .	frn_ev_2003
DEPTH_M/F/N	L'attributo indica se la frana madre è profonda o superficiale. Le frane profonde sono cartografate distinguendo l'area di deposito da quella di scarpata.	frn_ev_2003
Shape_Leng	Riporta la lunghezza del perimetro dei poligoni in metri.	frn_ev_2003
Shape_Area	Riporta l'area dei poligoni in metri quadrati.	frn_ev_2003
N_M	Campo su cui è stato eseguito l'operazione di dissolve. Numero identificativo della frana madre.	frn_ev_2003_Madri
CL_M	Campo su cui è stato eseguito l'operazione di dissolve. Indica la tipologia di movimento della frana madre. Il campo assume il valore "sigla" riportato in Tabella 3-1 .	frn_ev_2003_Madri



FIRST_DEPT	L'attributo indica se la frana madre è profonda o superficiale.	frn_ev_2003_Madri
Shape_Leng	Riporta la lunghezza del perimetro dei poligoni in metri.	frn_ev_2003_Madri
Shape_Area	Riporta l'area dei poligoni in metri quadrati.	frn_ev_2003_Madri
N_F	Campo su cui è stato eseguito l'operazione di dissolve. Numero identificativo della frana figlia.	frn_ev_2003_Figlie
CL_M	Campo su cui è stato eseguito l'operazione di dissolve. Indica la tipologia di movimento della frana figlia. Il campo assume il valore "sigla" riportato in Tabella 3-1 .	frn_ev_2003_Figlie
FIRST_DEPT	L'attributo indica se la frana figlia è profonda o superficiale.	frn_ev_2003_Figlie
Shape_Leng	Riporta la lunghezza del perimetro dei poligoni in metri.	frn_ev_2003_Figlie
Shape_Area	Riporta l'area dei poligoni in metri quadrati.	frn_ev_2003_Figlie
N_DIFF	Numero identificativo dell'area a franosità diffusa.	frnst_diffusa
CL_DIFF	Riporta la tipologia del tipo di franosità diffusa. Il campo assume il valore "sigla" indicato in Tabella 3-2 .	frnst_diffusa
DEPTH_DIFF	L'attributo indica se l'area a franosità diffusa è superficiale o profonda.	frnst_diffusa
Shape_Area	Riporta l'area dei poligoni in metri quadrati.	frnst_diffusa
Shape_Leng	Riporta la lunghezza del perimetro dei poligoni in metri.	frnst_diffusa
N_GEOM	Numero identificativo dell'elemento geomorfologico.	geomorfologia



CL_GEOM	Riporta la tipologia dell'elemento geomorfologico. Il campo assume il valore "sigla" indicato in Tabella 3-3 .	geomorfologia
Shape_Leng	Riporta la lunghezza del perimetro dei poligoni in metri.	geomorfologia
Shape_Area	Riporta l'area dei poligoni in metri quadrati.	geomorfologia

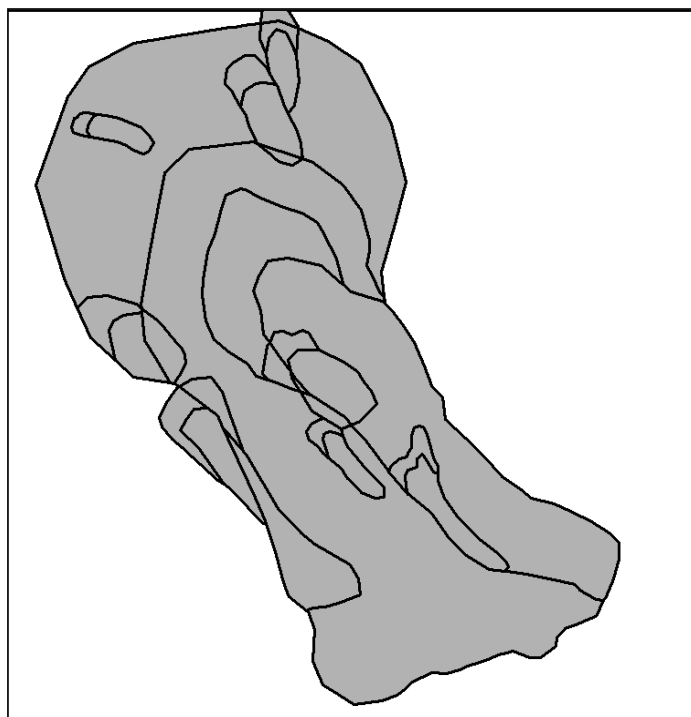


Figura 5-1. Esempio di persistenza spaziale delle frane precedenti il 2003.



Per semplificare la gestione del dato è possibile applicare allo shapefile `frn_pre_2003.shp` l'operazione GIS di "*dissolve*" sui campi `N_M` e `CL_M`, `N_F` e `CL_F`, `N_N` e `CL_N`, ottenendo 4 shapefiles (**Figura 5-1**, **Figura 5-2**), uno per ogni generazione di frana (`frn_pre_2003_madri.shp`, `frn_pre_2003_figlie.shp`, `frn_pre_2003_nipoti.shp` e `frn_pre_2003_pronipoti.shp`). Le stesse operazioni sono applicabili allo shapefile `frn_molto_vecchie.shp` per ottenere 2 shapefiles (`frn_molto_vecchie_Madri.shp` e `frn_molto_vecchie_Figlie.shp`) e allo shapefile `frn_ev_2003` (`frn_ev_2003_Madri.shp` e `frn_ev_2003_Figlie.shp`).

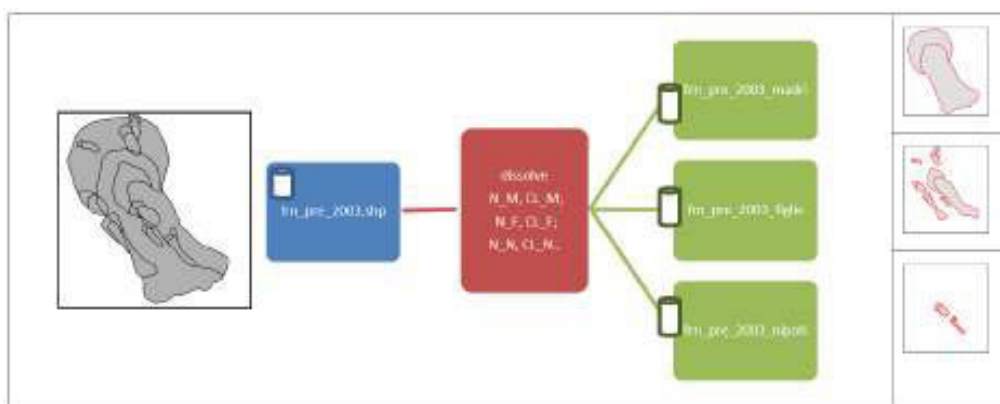


Figura 5-2. Schematizzazione dell'operazione di dissolve.

In questi *shapefiles*, ogni frana è rappresentata dalla scarpata e dal deposito, e non presenta alcuna intersezione al suo interno. Il risultato è riportato nella terza riga della **Figura 5-3**.



	Madri	Figlie	Nipoti																																																																																																																												
frn_pre_2003.shp																																																																																																																															
Banca dati frn_pre_2003	<table border="1"> <thead> <tr><th>N</th><th>M</th><th>CL</th><th>M</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>2167</td><td>s</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2167</td><td>xs</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2167</td><td>xs</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2167</td><td>s</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2167</td><td>xs</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2167</td><td>xs</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2167</td><td>s</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2167</td><td>xs</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2167</td><td>xs</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	N	M	CL	M	2167	s			2167	xs			2167	xs			2167	s			2167	xs			2167	xs			2167	s			2167	xs			2167	xs			<table border="1"> <thead> <tr><th>N</th><th>F</th><th>CL</th><th>F</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>815</td><td>s</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>815</td><td>xs</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>815</td><td>s</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>816</td><td>s</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>816</td><td>xs</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>817</td><td>s</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>817</td><td>xs</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>818</td><td>s</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>818</td><td>s</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>818</td><td>xs</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>819</td><td>sef</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>819</td><td>xsef</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	N	F	CL	F	815	s			815	xs			815	s			816	s			816	xs			817	s			817	xs			818	s			818	s			818	xs			819	sef			819	xsef			<table border="1"> <thead> <tr><th>N</th><th>N</th><th>CL</th><th>N</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>151</td><td>f</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>151</td><td>xf</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>150</td><td>s</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>150</td><td>s</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>150</td><td>s</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>150</td><td>xs</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>150</td><td>xs</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	N	N	CL	N	151	f			151	xf			150	s			150	s			150	s			150	xs			150	xs		
N	M	CL	M																																																																																																																												
2167	s																																																																																																																														
2167	xs																																																																																																																														
2167	xs																																																																																																																														
2167	s																																																																																																																														
2167	xs																																																																																																																														
2167	xs																																																																																																																														
2167	s																																																																																																																														
2167	xs																																																																																																																														
2167	xs																																																																																																																														
N	F	CL	F																																																																																																																												
815	s																																																																																																																														
815	xs																																																																																																																														
815	s																																																																																																																														
816	s																																																																																																																														
816	xs																																																																																																																														
817	s																																																																																																																														
817	xs																																																																																																																														
818	s																																																																																																																														
818	s																																																																																																																														
818	xs																																																																																																																														
819	sef																																																																																																																														
819	xsef																																																																																																																														
N	N	CL	N																																																																																																																												
151	f																																																																																																																														
151	xf																																																																																																																														
150	s																																																																																																																														
150	s																																																																																																																														
150	s																																																																																																																														
150	xs																																																																																																																														
150	xs																																																																																																																														
Frane dissolte sul campo N_M, CL_M; N_F, CL_F; N_N, CL_N																																																																																																																															
	frn_pre_2003_madri	frn_pre_2003_figlie	frn_pre_2003_nipoti																																																																																																																												

Figura 5-3. Esempio di dissolve. Nella prima riga, da sinistra verso destra sono rappresentate in colore ciano i poligoni che costituiscono rispettivamente frana madre, figlia e nipote nello shapefile frn_pre_2003.shp; nella seconda riga sono evidenziati i campi utilizzati nella operazione di dissolve; nella terza riga sono rappresentati i poligoni e gli shapefiles risultanti dall'operazione di dissolve.



6. QUALITÀ DELL'INVENTARIO

Come previsto nell'Allegato Tecnico [DA01], a valle della realizzazione della carta inventario geomorfologica descritta nel presente rapporto di attività, è stata realizzata una specifica azione volta a definire e quantificare gli errori di mappatura contenuti nel prodotto consegnato.

6.1. INTRODUZIONE

Guzzetti et al., (2012) scrivono che “la qualità di un inventario delle frane dipende dalla sua accuratezza, dal tipo e dalla certezza delle informazioni mostrate nella mappa. Definire l'accuratezza di un inventario delle frane non è semplice e non esistono standard (Galli et al., 2008). L'accuratezza dipende dalla completezza della mappa e dalla correttezza geografica e tematica delle informazioni mostrate sulla mappa”.

Abbiamo realizzato un sistema di valutazione esperta, semi-quantitativo, per la definizione degli errori di mappatura e dunque del grado di qualità del prodotto fornito definito “Carta inventario geomorfologica delle frane per l'area del Sub Appennino Dauno”. Tenendo conto che non esistono in letteratura scientifica degli standard qualitativi per le carte inventario, e di conseguenza nemmeno degli standard valutativi dell'accuratezza di tali prodotti cartografici, questo prodotto può essere considerato da una parte una sperimentazione scientifica, dall'altra un approccio innovativo del quale, però, non si dispone di una validazione da parte della comunità scientifica internazionale.

Il controllo di qualità ha come obiettivo quello di quantificare delle grandezze, anche in termini di scelta binaria (sufficiente/insufficiente). Per ridurre la soggettività e possibili vizi sistematici sono stati adottati i seguenti accorgimenti:

- nei casi in cui è stato necessario esprimere stime qualitative ed esperte, ogni valutazione ha richiesto una griglia di riferimento per ridurre la soggettività delle valutazioni;
- l'attività è stata svolta da due valutatori dello stesso team di mappatura del CNR-IRPI che hanno lavorato collegialmente;
- le persone coinvolte non hanno lavorato contemporaneamente sulle stesse aree oggetto di valutazione.

Pur con tutte le attenzioni poste in essere per evitare vizi sistematici nella valutazione stessa, si deve tenere conto che la procedura realizzata e descritta nel presente capitolo rappresenta **una valutazione interna, non validata da personale esperto esterno**.

L'approccio generale è costituito da una valutazione sistematica all'interno di aree campione ritenute rappresentative dell'intero inventario ([Tabella 6-1](#), [Figura 6-1](#)).



QUALITÀ DELL'INVENTARIO

Tabella 6-1. Area dei siti di controllo.

	Sito 1	Sito 2	Sito 3	Sito 4	Sito 5	Totale
Area [km ²]	36,28	51,18	32,13	44,76	37,52	201,87

In questo caso si è ritenuto che una selezione di 5 siti per un totale di circa 202 km² sia una scelta che consenta di individuare aree sufficientemente estese e che rappresentino sufficientemente le diverse caratteristiche morfologiche e litologico-strutturali dell'area di studio. Sull'assunzione della rappresentatività di queste aree si basa l'estrapolazione dei dati sugli errori a tutta l'area oggetto di indagine.

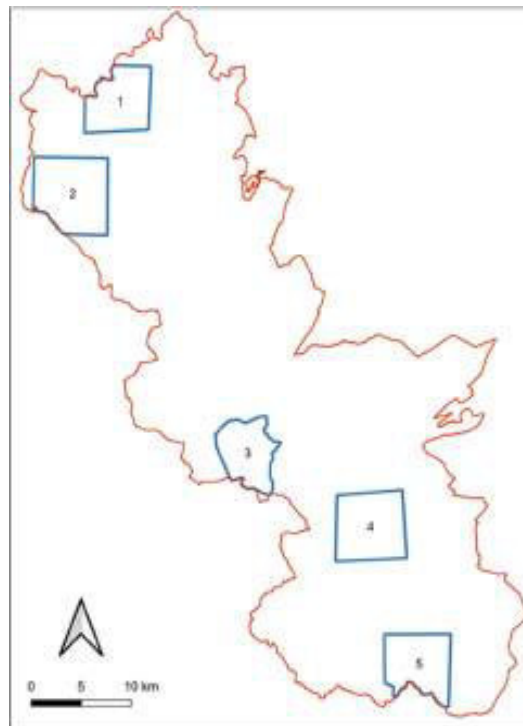


Figura 6-1. Ubicazione dei cinque siti di controllo (poligoni blu).

La sezione seguente è strutturata in tre blocchi che illustrano la valutazione **dell'accuratezza geografica, della completezza, e dell'accuratezza tematica**. Segue una sezione di considerazioni complessive.



6.2. VALUTAZIONE DEGLI ERRORI DI MAPPATURA

Questa sezione illustra la metodologia applicata per la valutazione degli errori di mappatura e, per ogni argomento, i risultati ottenuti. Per ogni componente, verranno prima illustrati in termini generali definizioni e obiettivi delle attività, e secondariamente le operazioni eseguite per la valutazione degli errori di mappatura. In terzo luogo sono presentati i risultati e ne viene data una interpretazione.

6.2.1. ACCURATEZZA GEOGRAFICA

Per *accuratezza geografica dell'inventario* intendiamo la congruenza della rappresentazione alla scala dichiarata della carta finale. In questo caso i controlli sono stati volti a verificare la congruenza della rappresentazione delle frane rispetto alla base topografica alla scala di 1:5.000. L'accuratezza geografica misura il grado di corrispondenza tra le evidenze morfologiche e fotografiche delle frane e la loro rappresentazione in carta. Tale corrispondenza può essere scomposta in termini di **posizione, forma e dimensione**. Una frana infatti può essere rappresentata, ad esempio, con una forma adeguata ma con dimensioni errate o con dimensione e forma accettabili ma posizione errata (ruotata o traslata ad esempio). Errori di forma possono corrispondere sia ad un'errata identificazione degli elementi che caratterizzano la frana sia ad un errato trasferimento delle informazioni. Errori di dimensione o posizione si associano prevalentemente ad un errato trasferimento delle informazioni sulla base topografica.

La valutazione di questi elementi è evidentemente molto semplice quando si dispone di un *benchmark* (riferimento). Nel caso di un nuovo inventario, le opzioni sono due: (i) confrontare la carta delle frane con inventari preesistenti, considerando questi come *benchmark*; (ii) valutare sistematicamente le frane rispetto alla base topografica e alle evidenze fotografiche e morfologiche per assegnare un grado di qualità, esperto, dell'accuratezza geografica di ogni frana.

Il primo approccio richiede l'esistenza di (almeno) un inventario da considerare come riferimento. Dal momento che la Committenza ha richiesto un aggiornamento delle informazioni delle frane presenti nei preesistenti inventari, ciò li pone in una condizione per cui essi non possano considerarsi il riferimento. In altre parole, in questo caso gli inventari preesistenti disponibili non costituiscono un riferimento idoneo ad un confronto per la valutazione degli errori di mappatura, in quanto considerati intrinsecamente incompleti.

Il secondo approccio, per contro, è più adatto al caso specifico, ma più complesso nella sua realizzazione in quanto richiede una valutazione esperta e critica delle geometrie formalizzate rispetto alle evidenze morfologiche. Mentre il primo approccio potrebbe essere realizzato da un operatore esperto di GIS, anche senza esperienza nella cartografia delle frane, il secondo approccio richiede l'impiego sistematico di personale specializzato nella mappatura delle frane.



Infine, sarà anche oggetto di valutazione la presenza di poligoni di area nulla, e di poligoni di area molto piccola, inferiore alla minima area rappresentabile alla scala di pubblicazione. Anche queste informazioni saranno opportunamente riportate alla dimensione dell'intera area di studio.

6.2.1.1. METODOLOGIA PER VALUTARE L'ACCURATEZZA GEOGRAFICA

All'interno delle zone campione si è proceduto a verificare il posizionamento delle frane rispetto alla topografia. In primo luogo, tutti i layer dell'inventario sono stati convertiti in layer tridimensionali assegnando a ciascun poligono il valore di quota del DEM 8×8 metri disponibile per l'area della Daunia. I file vettoriali tridimensionali sono stati poi visualizzati in stereoscopia sulle fotografie aeree del 2003 per valutare il grado di accordo con le evidenze morfologiche e fotografiche disponibili. La valutazione quantitativa ha riguardato, per ogni frana, errori di dimensione, posizione, forma in due livelli: insufficiente e sufficiente. Per convenzione si è definito che **un parametro può essere definito sufficiente quando almeno due terzi della frana sono rappresentati correttamente**. Sulla base di questo sistema:

1. non sono sufficienti frane la cui rappresentazione è circa di un terzo più grande o più piccola rispetto alla dimensione visibile sulla foto aerea (*errore di dimensione*);
2. non sono sufficienti frane mappate per oltre un terzo esternamente alla posizione visibile sulla foto aerea (*errore di posizione*);
3. non sono sufficienti frane mappate con una forma diversa da quella originale, tale che la sua sovrapposizione con la frana corretta sia minore dei due terzi di questa (*errore di forma*).

Per aggregare i dati così raccolti, si è definito che **una frana è rappresentata in maniera insufficiente quando almeno uno dei parametri risulta essere insufficiente**. Una scelta così conservativa è dovuta al fatto che la valutazione è eseguita dagli stessi geomorfologi che hanno realizzato la cartografia oggetto di verifica.

I valori dei parametri sono stati associati a dei campi della tabella degli attributi per poter effettuare delle quantificazioni sulla bontà della mappatura nel suo complesso sulla base di diversi parametri, inclusi ad esempio area, tipologia ed età relativa.

Infine, per l'intero inventario si riporta il numero di poligoni di area nulla e di poligoni con area minore alla minima area cartografabile alla scala di pubblicazione della carta.

6.2.1.2. RISULTATI DELL'ANALISI DI ACCURATEZZA GEOGRAFICA

La valutazione dell'accuratezza geografica ha rivelato che una ampissima percentuale dei fenomeni franosi rappresentati nei siti di controllo sono sufficienti. La [Tabella 6-2](#) riporta la percentuale delle frane rappresentate in maniera insufficiente, per classe di età relativa.



Dalla tabella si evince che il layer maggiormente problematico è quello delle frane recenti (frn_ev_2003.shp), con il 2,44% delle frane rappresentate in maniera insufficiente. Tenuto conto del numero complessivo delle frane in tutto l'inventario della Daunia per questo layer, tale percentuale corrisponde a 47 frane potenzialmente rappresentate in modo insufficiente in tutto l'inventario. All'interno dei siti si riscontra una certa variabilità nei valori percentuali, e in particolare si osserva anche un trend in diminuzione dal sito 1 (a Nord) al sito 5 (a sud), seguendo l'ordine cronologico di mappatura. Tale evidenza potrebbe rappresentare per lo più un (limitato) effetto di apprendimento con il procedere delle attività di mappatura. Assumendo che i siti campione siano rappresentativi della distribuzione delle frane e degli errori di mappatura rispetto all'intero inventario, si stima che l'inventario possa contenere complessivamente 54 frane madri, 8 frane figlie e 61 frane recenti (2003) rappresentate in modo insufficiente, il che può essere letto come lo 0,51% di probabilità che una frana madre sia rappresentata in maniera insufficiente, e che detta probabilità sia 0,25% per una frana figlia, 3,51% per una frana recente. Generalizzando ulteriormente, sulla base dei dati raccolti **si può affermare che la probabilità che una frana sia rappresentata in modo insufficiente dal punto di vista geografico è inferiore all'1% (0,71%).**

Tabella 6-2. Errore geografico espresso come percentuale del numero di frane cartografate in maniera insufficiente. **MVR:** frane molto vecchie relitte; **MV_M/F:** frane molto vecchie Madri/Figlie; **V_M/F/N/PN:** frane vecchie Madri/Figlie/Nipoti/Pronipoti; **R_M/F:** frane recenti (2003) Madri/Figlie; **FRNST_DIFF:** franosità diffusa.

ERRORE GEOGRAFICO: PERCENTUALE DEL NUMERO DI FRANE CON ALMENO UN PARAMETRO INSUFFICIENTE SU NUMERO DI FRANE TOTALI											
	MVR	MV_M	MV_F	V_M	V_F	V_N	V_PN	R_M	R_F	FRNST_DIFF	TOTALE
SITO 1	0	0	-	0,32	1,5	0	0	8,2	-	0	1,45
SITO 2	-	0	-	0,97	0	0	0	2,5	-	0	0,81
SITO 3	0	0	-	0,62	0	0	0	4,1	-	0	0,71
SITO 4	0	0	-	0,22	0	0	0	0	0	0	0,16
SITO 5	-	0	-	0,18	0	0	-	0	-	0	0,12
TOTALE	0	0	-	0,51	0,25	0	0	3,15	0	0	0,71
Stima del numero di frane potenzialmente errato	0	0	-	54	8	0	0	61	0	0	123

Le statistiche descrittive dell'errore geografico rispetto all'area in frana sono riportate in **Tabella 6-3**. Dalla tabella si evince che il layer maggiormente interessato da errori (percentualmente) è quello delle frane recenti (2003). Analogamente a quanto affermato per la numerosità delle frane, si può affermare che lo 0,2% dell'area delle frane madri (147.632 m²), lo 0,11% dell'area delle frane figlie (19.003 m²) e il 2,41% dell'area delle frane di evento 2003 (23.669 m²) sono rappresentate in modo insufficiente. **Nel complesso, è possibile affermare che la probabilità che una frana possa essere rappresentata con errore geografico non accettabile riguarda lo 0,13% dell'area in frana**, ovvero potenzialmente un'area di poco meno di 20 ettari (190.304 m²).

Nell'intero inventario, si trovano 21 poligoni la cui area non risulta rappresentabile alla scala di rappresentazione. Ciò indica che questi poligoni, su carta stampata non saranno adeguatamente rappresentati. L'area minima è definita in base al rapporto tra lo spessore del tratto usato per rappresentare le frane (0.5 mm) e la scala di pubblicazione (1:5.000).



QUALITÀ DELL'INVENTARIO

Tale rapporto fa sì che una frana che ha una larghezza minore di 0.5 mm su carta non possa essere rappresentata come un poligono. **Pertanto l'area minima cartografabile corrisponde ad un quadrato di 1.5 mm per lato, che corrisponde a una frana di circa 56 m² sul terreno.** L'analisi ha rivelato la presenza di 21 poligoni di dimensione inferiore all'area minima cartografabile, 11 dei quali inferiori a 20 m². Di questi 21 poligoni, 9 appartengono al layer di franosità diffusa, 7 alle frane recenti (2003) madri, 5 alle frane pre-2003 madri. **Non si registrano poligoni di area nulla.**

Tabella 6-3. Errore geografico espresso come percentuale dell'area in frana cartografata in maniera insufficiente. **MVR:** frane molto vecchie relitte; **MV_M/F:** frane molto vecchie Madri/Figlie; **V_M/F/N/PN:** frane vecchie Madri/Figlie/Nipoti/Pronipoti; **R_M/F:** frane recenti (2003) Madri/Figlie; **FRNST_DIFF:** franosità diffusa.

ERRORE GEOGRAFICO: PERCENTUALE DEL NUMERO DI FRANE CON ALMENO UN PARAMETRO INSUFFICIENTE SU NUMERO DI FRANE TOTALI											
	MVR	MV_M	MV_F	V_M	V_F	V_N	V_PN	R_M	R_F	FRNST_DIFF	TOTALE
SITO 1	0,00	0,00	NA	0,26	0,49	0,00	0,00	8,01	NA	0,00	0,17
SITO 2	NA	0,00	NA	0,34	0,00	0,00	0,00	1,47	NA	0,00	0,25
SITO 3	0,00	0,00	NA	0,17	0,00	0,00	0,00	3,55	NA	0,00	0,11
SITO 4	0,00	0,00	NA	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
SITO 5	NA	0,00	NA	0,14	0,00	0,00	NA	0,00	NA	0,00	0,09
TOTALE	0,00	0,00	NA	0,20	0,11	0,00	0,00	2,41	0,00	0,00	0,13
Stima area in frana potenzialmente errata (m ²)	0,00	0,00	NA	147632	19003	0,00	0,00	23669	0,00	0,00	190304

6.2.2. COMPLETEZZA

La completezza di un inventario si può definire come la rappresentazione statisticamente completa per una data area minima di riferimento (*Guzzetti et al., 2012*).

Ogni inventario ha un suo **grado di completezza** che viene solitamente **associato alla minima dimensione della frana riconosciuta e cartografata con sistematicità**. Si noti che ciò non esclude che possano essere rappresentate frane più piccole di tale dimensione, ma implica che per queste ultime non si garantisce omogenea rappresentazione in tutto l'inventario. Una volta dichiarata la dimensione minima per la quale la i mappatura è consistente, l'omissione di frane di tali dimensioni, o di dimensioni superiori, corrisponde ad una misura di incompletezza dell'inventario.

Va aggiunto che talvolta la franosità è tale che sono necessarie delle semplificazioni nella rappresentazione delle diverse generazioni di frane, al fine di consentire una consultazione agevole dell'inventario stesso. Ne consegue che si possono avere dei livelli di incompletezza maggiori in zone altamente franose al contrario di zone meno franose dove è verosimile che tutte le frane riconoscibili siano state cartografate. Per questa ragione si è ritenuto opportuno contestualizzare gli errori di omissione individuati all'interno di una zonazione della densità di frana al fine di stimare l'incompletezza dell'inventario all'interno di zone di densità ritenute omogenee. In modo particolare, sono state preparate due carte di densità di frana. La prima, definita carta di densità di frana, rappresenta il numero di frane



QUALITÀ DELL'INVENTARIO

per chilometro quadrato. La seconda, definita carta di densità dell'area in frana, rappresenta *l'estensione dell'area in frana per chilometro quadrato*. Entrambe le carte sono poi state classificate in base ai quartili della distribuzione statistica dei valori di densità, in modo che il territorio risulti suddiviso in quattro classi di densità (bassa, media, alta, molto alta) di uguale estensione areale. In **Figura 6-2A** è rappresentata la carta della densità di frana classificata, mentre in **Figura 6-2B** è rappresentata la carta della densità dell'area in frana classificata. Come si può notare dall'analisi delle due carte di densità, la distribuzione spaziale delle aree a densità più elevata è molto diversa. In particolare, si nota che la carta di densità di frana assume valori molto elevati in corrispondenza di aree dove sono presenti numerose frane, anche se di piccole dimensioni. Per contro, tali aree risultano avere un'estensione dell'area in frana minore rispetto a zone interessate da frane molto grandi.

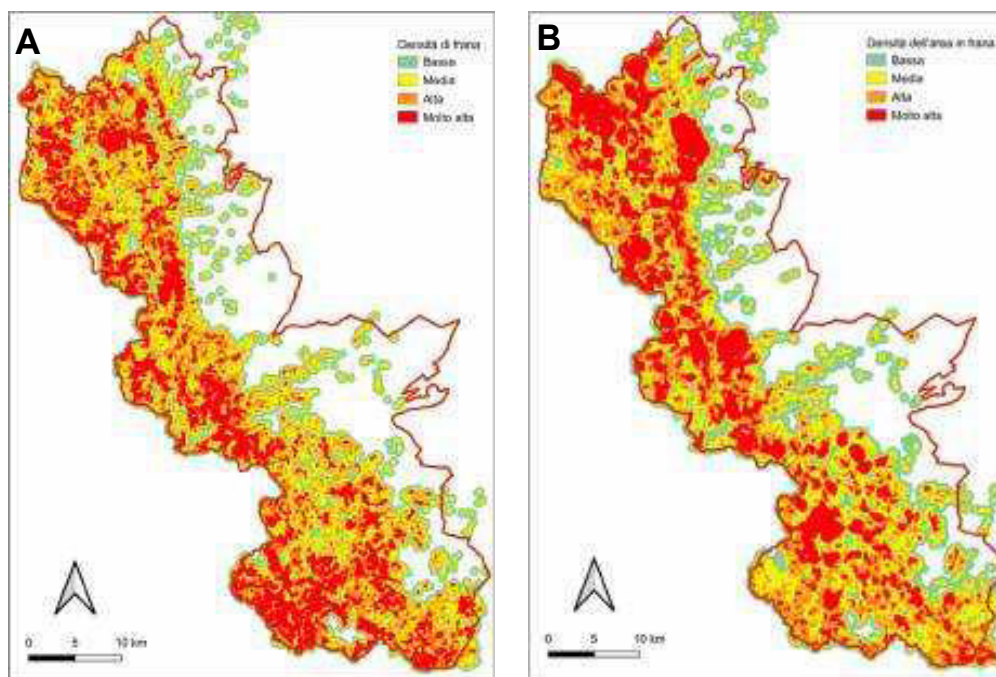


Figura 6-1. Carte della densità di frana (A) e della densità dell'area in frana (B) rappresentate in quattro classi a seconda dei quartili della distribuzione dei valori di densità: Q1: bassa; Q2: media; Q3: alta; Q4: molto alta).



QUALITÀ DELL'INVENTARIO

Per ottenere una rappresentazione della densità di frana che tenga conto sia della numerosità delle frane sia della loro estensione areale (*densità di frana composta*), le due carte di **Figura 6-2** sono state composte attraverso la matrice riportata in **Figura 6-3**. Sono stati assegnati valori di **densità composta**: (i) **bassa** nei casi in cui almeno una mappa ha valore basso e l'altra al massimo medio; (ii) **media** nei casi in cui entrambe hanno densità media oppure una presenta valore basso e l'altra valore alto o molto alto; (iii) **alta** nei casi in cui entrambe hanno valore alto o in cui una ha valore medio e l'altra ha valore alto o molto alto; (iv) **molto alta** nei casi in cui almeno una mappa ha valore molto alto e l'altra almeno valore alto.

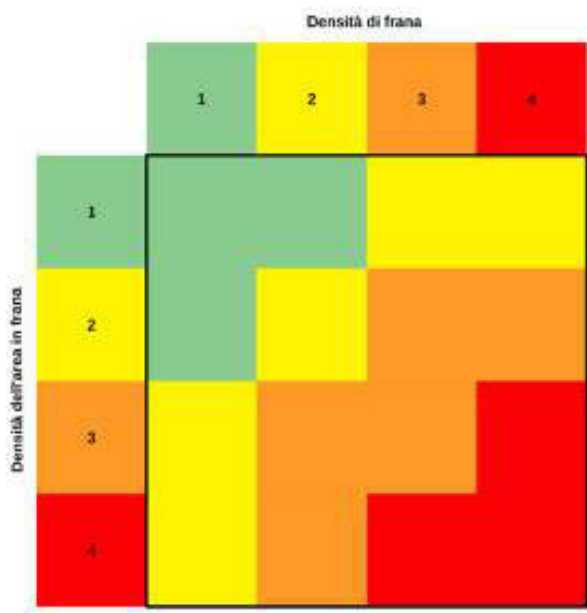


Figura 6-2. Matrice di corrispondenza per generare la carta della densità di frana composta.

La carta di densità di frana composta è rappresentata in **Figura 6-3** e tiene conto sia della numerosità delle frane, sia della loro estensione. Mentre nelle carte di densità di frana riportate in **Figura 6-1** le quattro classi sono per costruzione rappresentate dallo stesso numero di pixel, la carta di densità composta ha una distribuzione differente, che vede dominare le classi a maggior densità. Tale effetto è da ritenersi dovuto alla natura dei luoghi, affetti sia da numerose frane, molto spesso anche di estensioni rilevanti.



QUALITÀ DELL'INVENTARIO

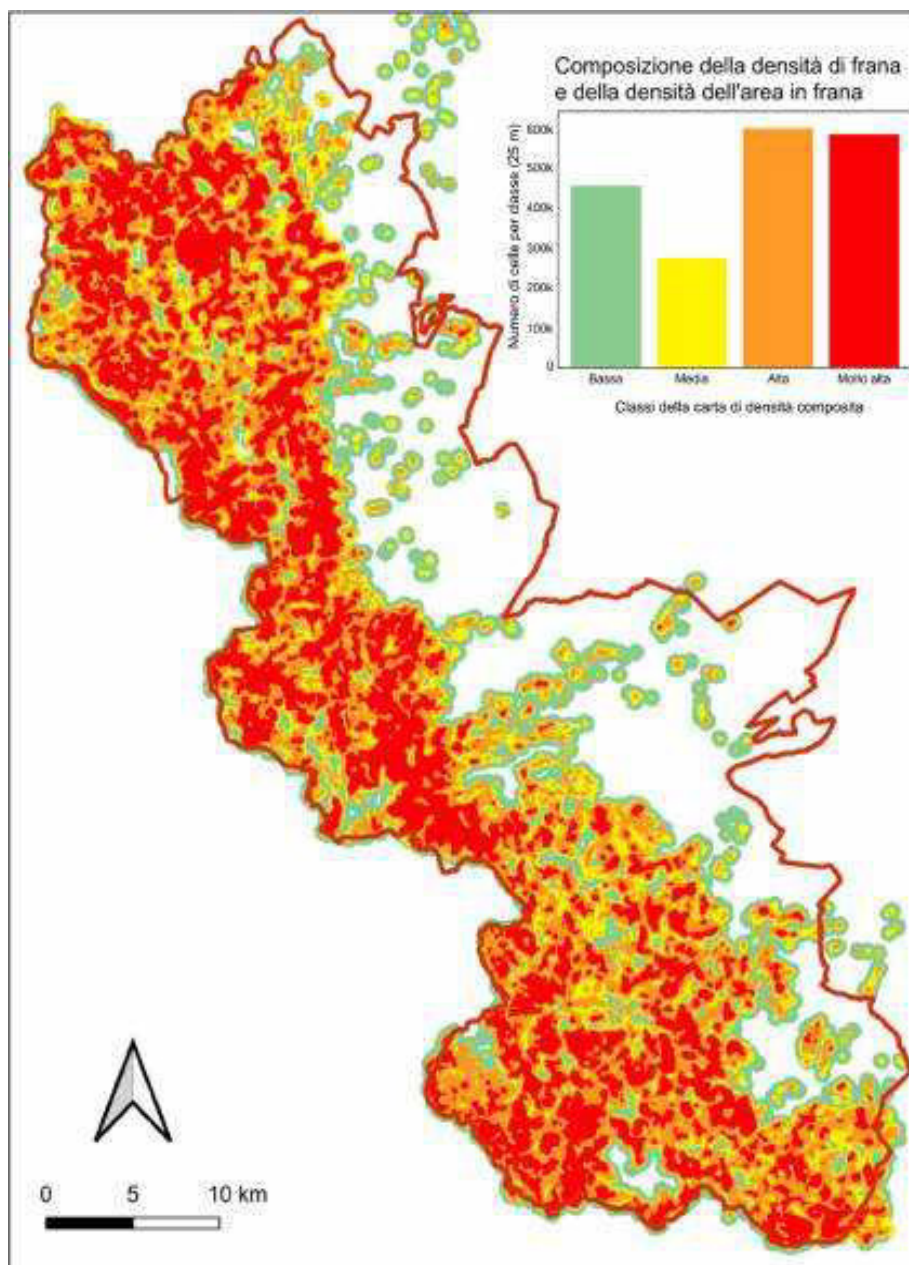


Figura 6-3. Carta della densità di frana composita. La legenda rappresenta l'area (come numero di pixel) coperta da ciascuna classe di densità. La carta rappresenta la densità di frana sia in relazione alla numerosità, sia in relazione all'estensione delle frane.



6.2.2.1. METODOLOGIA PER VALUTARE LA COMPLETEZZA

Per valutare la completezza dell'inventario il primo passaggio necessario è l'individuazione della dimensione minima delle frane cartografate in modo consistente. Tale valore è definito in base all'esperienza dei geomorfologi che hanno realizzato la mappatura, ma anche in base alla dimensione del *rollover* (punto di massimo) della funzione di distribuzione di probabilità delle aree in frana (vedi § 4.2, Figura 4-23). Inoltre saranno definiti due valori differenti per la mappatura geomorfologica in senso stretto (frane pre-2003, frn_pre_2003.shp) e per la mappatura delle frane recenti (frn_ev_2003.shp), in quanto l'approccio interpretativo si focalizza su caratteristiche diverse e su scale di lavoro differenti. Tale scelta risulta anche ben giustificata dalla statistica delle aree delle frane descritta nel capitolo (§ 4.2). A valle di questa operazione, all'interno delle aree campione, si procede ad una valutazione della completezza di questo dato in termini di **numerosità delle frane rappresentate in carta, e quelle effettivamente visibili sulla foto**. Il **rapporto** fra queste due grandezze fornirà un valore compreso fra 0 (totale incompletezza) e 1 (totale completezza) che esprime il grado di **completezza** dell'inventario per la dimensione di frana dichiarata come rappresentata consistentemente. Pertanto sono considerate solamente le frane omesse la cui dimensione supera quella della dimensione minima delle frane cartografate in modo consistente in modo separato per le frane di evento e per le frane pre-2003.

6.2.2.2. RISULTATI DELL'ANALISI DI COMPLETEZZA

L'analisi della distribuzione di probabilità delle aree delle frane ha rivelato una sostanziale differenza tra le frane pre-2003 e quelle dell'evento 2003. Tale differenza si riscontra nella dimensione del *rollover*, ovvero dell'area più rappresentata all'interno dell'inventario. Le curve di probabilità dei due inventari riportate nel § 4.2 rivelano che il *rollover* si colloca intorno ai 300 m² per le frane recenti (frn_ev_2003.shp), e intorno ai 2.000 m² per le frane geomorfologiche (frn_pre_2003.shp).

Sulla base dell'esperienza acquisita durante il progetto, si può affermare che la dimensione minima di mappatura consistente corrisponda all'incirca alla dimensione del *rollover* per entrambe le famiglie di frane considerate. Nel caso delle frane pregresse, si può dunque affermare che sono state rappresentate consistentemente frane delle dimensioni confrontabili a un rettangolo di 40×50 m che alla scala di pubblicazione (1:5.000) corrisponde a 8×10 mm, e sulla foto aerea (scala 1:33.000) corrisponde a 1,2×1,5 mm. Nel caso delle frane di evento, la dimensione si riduce sensibilmente, e la dimensione della frana più piccola rappresentata con consistenza è equivalente ad un rettangolo di 10×20 m, che corrisponde a 2×4 mm alla scala di pubblicazione e a 0,3×0,6 mm sulla foto aerea.

Si noti che, in entrambi i casi, e specialmente per le frane recenti (2003), le dimensioni su foto aerea non sarebbero compatibili con un sistema di rappresentazione analogico, ovvero su fogli di poliestere trasparenti sovrapposti alle foto aeree, in quanto lo spessore del



pennino usato per rappresentare le frane supererebbe la dimensione della frana stessa. **Dunque si può affermare che il grado di completezza di questo inventario è più elevato rispetto a ciò che si sarebbe potuto ottenere con un approccio analogico tradizionale anziché con la visione stereoscopica digitale.**

Nei 5 siti di controllo (**Figura 6-1**) è stato eseguito uno screening di tutta la mappatura realizzata allo scopo di individuare le frane non rappresentate nell'inventario e tuttavia visibili sulle foto aeree del 2003 (errori di omissione). Per ogni frana omessa, gli interpreti che hanno realizzato la valutazione della qualità dell'inventario hanno tracciato un bordo indicativo per stimarne l'area. Le omissioni sono state rilevate per ciascun layer dell'inventario.

L'analisi di completezza ha rivelato che sono state omesse un totale di 247 frane più grandi della dimensione minima di mappatura consistente. La **Figura 6-5** mostra la distribuzione dell'area delle frane omesse all'interno di ciascun sito di controllo, raggruppate per layer dell'inventario a cui si riferiscono. La distribuzione dei boxplot conferma che le aree delle frane di evento omesse sono sistematicamente più piccole delle frane pre-2003, dato rilevato anche per l'intero inventario (§ 4.2) e che conferma la adeguatezza della scelta di determinare due valori distinti per valutare il grado di completezza dell'inventario.

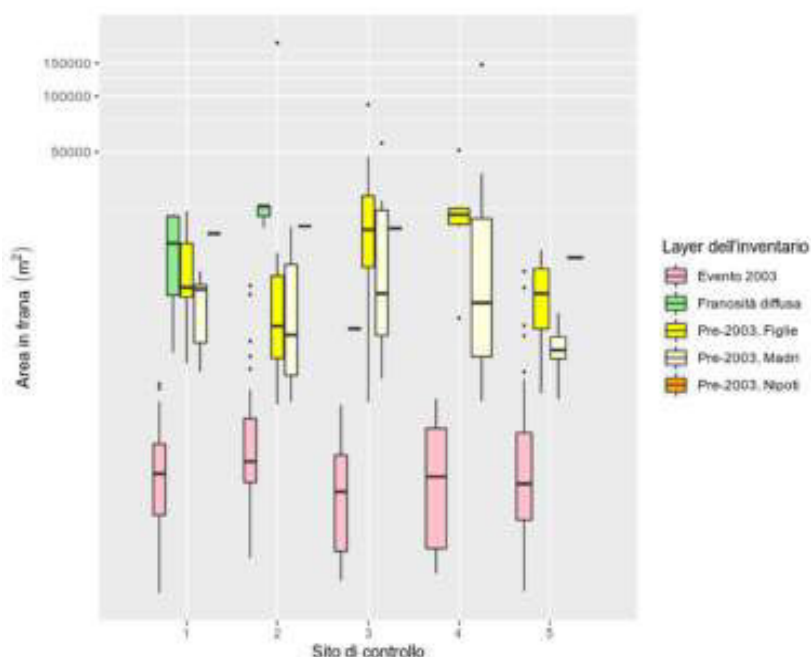


Figura 6-4. Boxplot dell'area delle frane per i 5 siti di controllo. I colori diversi rappresentano i diversi layer dell'inventario. Area in m².



QUALITÀ DELL'INVENTARIO

La [Tabella 6-4](#) riporta la numerosità delle frane omesse all'interno di ciascun sito di controllo e all'interno dei layer a cui si riferiscono. La tabella rivela che non ci sono omissioni registrate per le frane molto vecchie e relitte, né per le frane pre-2003 di quarta generazione (nipoti) o di evento del 2003 di seconda generazione (figlie). Sebbene la distribuzione delle frane omesse sia variabile tra i siti, alcune differenze significative emergono essenzialmente a causa di rilevanti omissioni a carico delle frane dell'evento 2003, che da solo contiene il 60% delle frane omesse (149).

[Tabella 6-4](#). Numero di frane omesse raggruppate per sito di controllo e layer di riferimento dell'inventario. **MVR**: frane molto vecchie relitte; **MV_M/F**: frane molto vecchie Madri/Figlie; **V_M/F/N/PN**: frane vecchie Madri/Figlie/Nipoti/Pronipoti; **R_M/F**: frane recenti (2003) Madri/Figlie; **FRNST_DIFF**: franosità diffusa.

COMPLETEZZA: NUMERO DI FRANE OMESSE											
	MVR	MV_M	MV_F	V_M	V_F	V_N	V_PN	R_M	R_F	FRNST_DIFF	TOTALE
SITO 1	0	0	0	5	5	1	0	54	0	4	69
SITO 2	0	0	0	19	11	1	0	37	0	3	71
SITO 3	0	0	0	8	10	1	0	14	0	1	34
SITO 4	0	0	0	12	6	0	0	4	0	0	22
SITO 5	0	0	0	8	2	1	0	40	0	0	51
TOTALE	0	0	0	52	34	4	0	149	0	8	247

Se si tiene conto del fatto che le frane all'interno dei siti di controllo sono 3837, le 247 frane omesse rappresentano complessivamente il 6,4%. Assumendo che il campione rappresentato dai 5 siti di controllo sia rappresentativo del territorio, delle caratteristiche dell'inventario e degli errori commessi durante la mappatura, questo valore consente di stimare che per l'intero inventario si siano omesse **1110 frane, il 6,4% dell'inventario completo**.

Se invece si considerano separatamente frane pregresse e di evento il dato sulla completezza fornisce ulteriori informazioni utili per la consultazione. Per quanto riguarda le **frane pregresse**, all'interno dei siti ne sono rappresentate in totale 3551. Le omissioni nei siti di controllo (98) rappresentano il **2,7%**, che esteso all'intero inventario consente di stimare che non siano state identificate **423 frane pregresse**.

Analogamente, per quanto riguarda le frane di evento, all'interno dei siti di controllo le frane rappresentate sono in totale 292, pertanto l'omissione di **149 frane** rappresenta il **51%**. Considerando il numero di frane all'interno dell'intero inventario, si potrebbe affermare che le frane di evento potenzialmente **omesse ammonti a 1156**. Tale affermazione non può, tuttavia, avere la stessa valenza di quella relativa alle frane pregresse, in quanto per definizione le frane di evento sono il risultato di un evento scatenante (precipitazioni intense, fusione del manto nevoso) e l'assunzione per cui i siti di controllo siano rappresentativi di tutti gli eventi avvenuti nel territorio della Daunia nel 2003 è certamente falsa.

La [Tabella 6-5](#) riporta la numerosità delle frane omesse all'interno di ciascun layer di riferimento nei settori della carta di densità di frana composita. Il segnale che emerge dai dati complessivi (colonna Totale in [Tabella 6-5](#)) è di un sistematico incremento della numerosità delle frane omesse all'aumentare della numerosità e dell'estensione delle frane. In particolare, si noti come oltre il 63% delle omissioni rilevate sia concentrato nella zona a



QUALITÀ DELL'INVENTARIO

densità molto alta, il 28% in quella a densità alta, il 6,4% in quella a media densità e solo l'1,4% nella zona a bassa densità.

Tabella 6-5. Numero di frane omesse raggruppate per settore di densità di frana composta e layer di riferimento dell'inventario. **MVR:** frane molto vecchie relitte; **MV_M/F:** frane molto vecchie Madri/Figlie; **V_M/F/N/PN:** frane vecchie Madri/Figlie/Nipoti/Pronipoti; **R_M/F:** frane recenti (2003) Madri/Figlie; **FRNST_DIFF:** franosità diffusa.

COMPLETEZZA: NUMERO DI FRANE OMESSE PER DENSITA' DI FRANA											
Densità di frana composta	MVR	MV_M	MV_F	V_M	V_F	V_N	V_PN	R_M	R_F	FRNST_DIFF	TOTALE
Bassa	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1	4
Media	0	0	0	10	2	0	0	4	0	0	16
Alta	0	0	0	23	13	1	0	30	0	3	70
Molto Alta	0	0	0	17	19	3	0	114	0	4	157
TOTALE	0	0	0	52	34	4	0	149	0	8	247

Questa ulteriore informazione è rilevante in quanto evidenzia che l'incompletezza non è omogeneamente distribuita all'interno del territorio investigato, ma è bassa o trascurabile nei settori meno popolati da frane, mentre è alta o molto alta all'interno di aree la cui franosità è stata rappresentata in maniera già adeguata (**Figura 6-5** e **Figura 6-6**, **Tabella 6-5**).

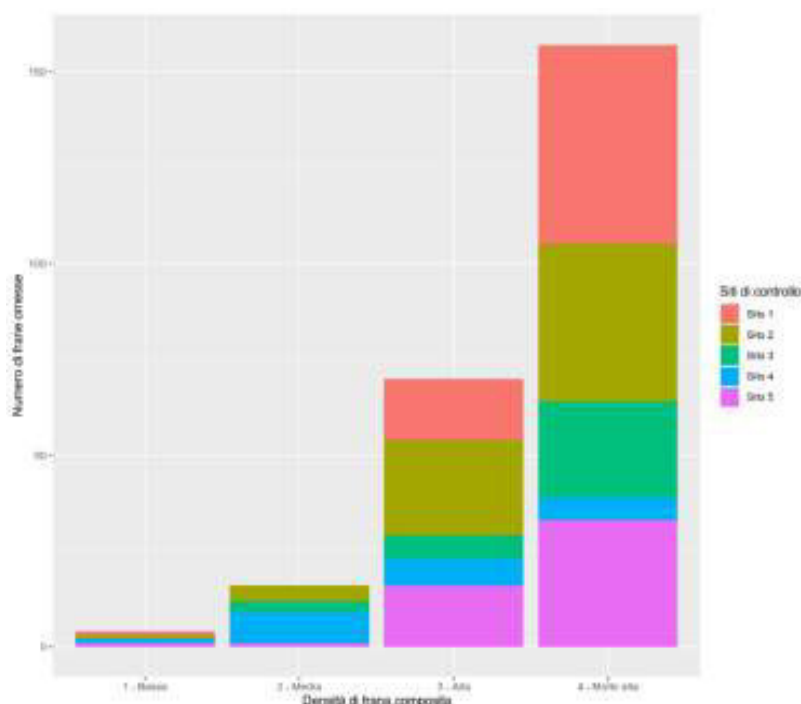


Figura 6-5. Barplot della numerosità delle frane omesse nei 4 settori di densità di frana composta. I colori diversi rappresentano i diversi layer dell'inventario.

Considerando separatamente le frane pregresse, si stima che l'1,5% delle frane sia in zona a densità molto alta, il 3,7% in zona ad alta densità, mentre il numero di frane nelle zone a



QUALITÀ DELL'INVENTARIO

densità media e bassa è statisticamente non significativo. Relativamente alle frane di evento, si stima che nella zona a densità molto alta il grado di incompletezza sia del 43%, e del 100% nella zona ad alta densità (ci si attende il doppio delle frane cartografate), mentre i dati non sono statisticamente rappresentativi nei settori a bassa e media densità.

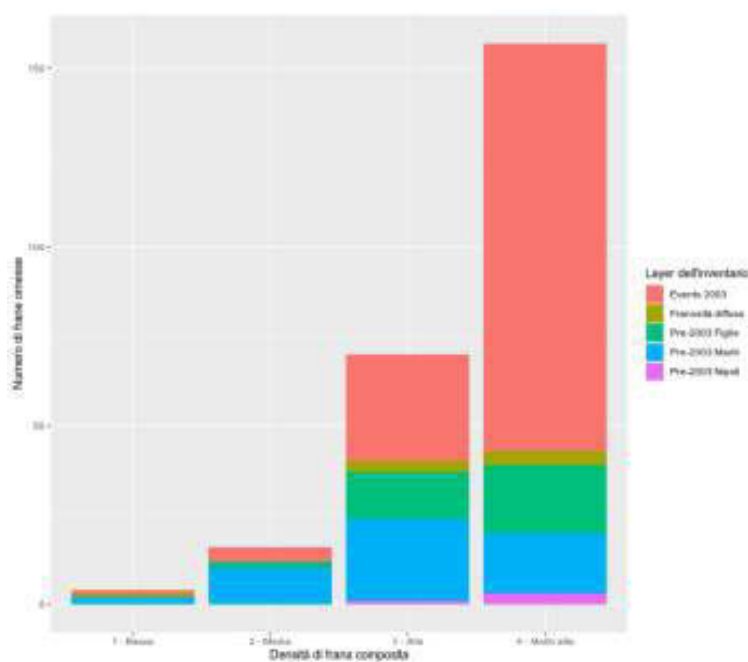


Figura 6-6. Barplot della numerosità delle frane omesse nei 4 settori di densità di frana composta. I colori diversi rappresentano i diversi layer dell'inventario.

In **Figura 6-5** e in **Figura 6-6** è rappresentata la distribuzione delle frane omesse nei settori di densità di frana composta, all'interno dei siti di controllo, e nei diversi layer dell'inventario a cui si riferiscono.

In sintesi, le analisi sulla completezza hanno dunque evidenziato che **le frane pregresse** sono state rappresentate in modo accettabile, con un **grado complessivo di incompletezza che raggiunge il 2,7% nel complesso, e al massimo il 3,7% nelle aree ad alta densità di frana**. La mappatura dell'**evento del 2003** è risultata maggiormente problematica, con un grado di **incompletezza del 51%**, e che nelle **zone ad alta densità raggiunge anche il 100%**. Tale informazione, tuttavia non può essere ritenuta attendibile quanto quella relativa alle frane pregresse, in quanto si ribadisce che **non si può ritenere che i siti di controllo siano effettivamente rappresentativi dell'evento**, o degli eventi, che si sono verificati sul territorio della Daunia nelle settimane o nei mesi precedenti la data del volo del 2003.



6.2.3. ACCURATEZZA TEMATICA

L'accuratezza tematica si può definire come la *completezza della compilazione degli attributi e correttezza degli attributi associati ai poligoni*.

In particolare è necessario verificare che la tabella degli attributi non presenti record vuoti, che le diverse parti delle frane siano codificate correttamente (ad esempio non esistano inversioni tra scarpata e deposito), che la numerazione delle frane sia univoca, che la classificazione delle frane rispecchi le caratteristiche mostrate dalle evidenze morfologiche e fotografiche delle fotografie aeree analizzate, che la profondità stimata sia correttamente assegnata a seconda della presenza/assenza della rappresentazione della scarpata, e che l'età relativa sia correttamente assegnata alle frane a seconda delle evidenze geomorfologiche.

6.2.3.1. METODOLOGIA PER VALUTARE L'ACCURATEZZA TEMATICA

Per le zone campione sarà verificato sistematicamente:

1. la completezza della compilazione degli attributi
2. la correttezza dell'assegnazione di scarpata e deposito nelle frane
3. la correttezza dell'assegnazione del numero di frana in modo che non esistano duplicati
4. la correttezza della classificazione delle frane cartografate, sia in termini tipologici sia in termini di età relativa
5. la corrispondenza della profondità stimata in base alla rappresentazione della scarpata delle frane.

Si noti che il punto 4 è l'unico che richieda una sistematica analisi dei poligoni rispetto alle fotografie aeree.

Nei siti di controllo, ad ogni punto di analisi corrisponde un punteggio in termini percentuali tra frane erroneamente codificate e frane presenti nei siti di controllo. Tale numero corrisponde ad una stima di frane potenzialmente affette da specifici errori tematici all'interno dell'inventario. Infine, si assegna anche un punteggio sintetico come valore medio delle percentuali espresse relativamente ai 5 punti in elenco.

6.2.3.2. RISULTATI DELL'ANALISI DI ACCURATEZZA TEMATICA

I risultati dell'analisi dell'accuratezza tematica sono rappresentati in [Tabella 6-6](#). Si noti come l'incidenza di errori tematici sia molto limitata, ed essenzialmente concentrata sugli errori di classificazione, legati a errori di interpretazione. Nell'ultima riga, la tabella riporta anche percentuale di incidenza dell'errore specifico all'interno dei siti di controllo e la potenziale numerosità delle frane affette da quello specifico errore nell'intero inventario.



QUALITÀ DELL'INVENTARIO

Tabella 6-6. Numero di frane interessate da errore tematico raggruppate per sito di controllo. L'ultima riga riporta la percentuale di incidenza dell'errore specifico all'interno dei siti di controllo e la potenziale numerosità delle frane affette da quello specifico errore nell'intero inventario.

ERRORE TEMATICO						
	Età relativa	Profondità	Numerazione	Classificazione	Topologia	Totale
SITO 1	2	0	0	19	0	21
SITO 2	7	1	0	25	0	33
SITO 3	0	0	1	4	0	5
SITO 4	1	1	0	4	0	6
SITO 5	0	0	0	3	0	4
TOTALE	10	2	1	55	1	69
Sima delle frane potenzialmente errate	0,26% (45)	0,05% (9)	0,03% (4)	1,43% (248)	0,03% (4)	

La **Figura 6-8** mostra la numerosità e la distribuzione degli errori di classificazione nei layer dell'inventario. La maggior parte degli errori riguarda le frane pre-2003 di prima generazione (matri). Nella maggior parte dei casi le frane erroneamente classificate sono scivolamenti, in secondo ordine scivolamenti-colata. La maggior parte degli errori riguarda frane delle quali una componente di scivolamento o di colamento non è stata correttamente riconosciuta. In rari casi l'errore ha riguardato colate che sono state erroneamente classificate come scivolamenti (mai il caso contrario).

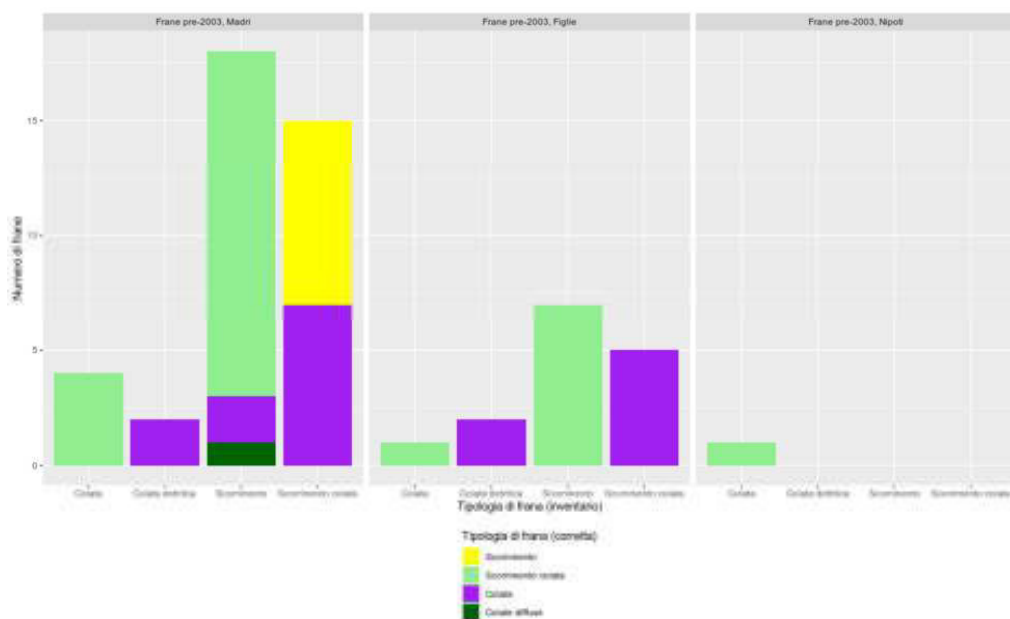


Figura 6-8. Barplot che rappresenta il numero di frane interessate da errore tematico raggruppate per layer dell'inventario. I colori rappresentano la classificazione che è stata associata alle frane a valle del processo di verifica degli errori tematici.



L'età relativa è risultata essere stata ben classificata. Si rileva infatti che solo lo 0,26% delle frane risulta essere erroneamente assegnato ad una classe di età relativa. Gli altri errori (profondità, numerazione e topologia della scarpata e del deposito) sono irrilevanti.

6.3. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le analisi effettuate per la valutazione degli errori di mappatura sono state effettuate su un territorio che ricopre circa il 10% della Daunia, e che comprende circa il 20% delle frane dell'intero inventario. Sotto l'assunzione che il campionamento effettuato tramite i 5 siti di **Figura 6-1** sia rappresentativo del territorio investigato, della distribuzione delle frane e della distribuzione degli errori di mappatura, gli errori di mappatura sono stati estesi all'intero inventario. Come già specificato, tale assunzione non risulta essere idonea per la mappatura dell'evento 2003, per il quale non è nota la distribuzione geografica.

In **Tabella 6-7** sono riassunti i valori per l'intera area ricoperta dai siti di controllo. Si può affermare che la carta inventario realizzata non è affetta da errori sostanziali, infatti per quanto riguarda la franosità pregressa, la probabilità di un errore geografico è inferiore all'1%, inferiore al 2% di riscontrare errori tematici, e inferiore al 3% di riscontrare omissioni. Come discusso nel paragrafo 6.2.2, gli errori sono più numerosi nelle zone a maggiore densità di frana, mentre sono meno numerosi nelle zone a bassa densità di frana. Tuttavia in queste zone l'impatto in percentuale dell'incompletezza è maggiore. Per quanto concerne le frane recenti, la mappatura risulta essere affetta da un moderato grado di incompletezza presumibilmente ascrivibile alla diversità di approccio foto-interpretativo e di scala di lettura delle immagini, necessari per individuare le frane. Analogamente alle frane pregresse, gli errori sono più numerosi nelle zone ad elevata densità di frana composita. Sebbene i valori di completezza non siano completamente attendibili per quanto concerne l'evento a causa della debolezza dell'assunzione di base, si ritiene di consigliare una lettura critica di queste informazioni in fase di consultazione dell'inventario.

Tabella 6-7. Sintesi degli errori di mappatura della carta inventario delle frane per il Sub-appennino dauno. Errore geografico (numero) indica la percentuale del numero di frane con almeno un parametro insufficiente tra posizione, dimensione e forma; Errore geografico (area) indica la percentuale di area in frana con almeno un parametro insufficiente tra posizione, dimensione e forma; Completezza Pre-2003 indica la percentuale di frane omesse per le frane pre-2003; Completezza 2003 indica la percentuale di frane omesse per le frane di evento 2003; Errore tematico indica la percentuale del numero di frane affette da errori tematici.

	Errore geografico (numero)	Errore geografico (area)	Completezza Pre-2003	Completezza 2003	Errore tematico
TOT.	0,71%	0,13%	2,7%	51%	1,8%



7. CONFRONTO CON GLI INVENTARI PREESISTENTI

Questa sezione è dedicata al confronto dell'inventario geomorfologico realizzato per il Sub-Appennino Dauno dal CNR-IRPI (di seguito inventario IRPI) e gli inventari preesistenti per la stessa area e disponibili al sito web dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, sede Puglia (<https://www.adb.puglia.it/public/page.php?13>):

- I. **IFFI** (di seguito **Inventario IFFI, Figura 7-1A**): Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia;
- II. **Archivi ufficiali** (di seguito **Inventario Archivi, Figura 7-1B**): Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) delle Autorità di Bacino della Puglia, della Basilicata, dei Fiumi Trigno, Biferno e minori Saccione e Fortore, e dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno; Progetto Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI - aggiornamento 2006), redatto dall'ex Servizio Geologico Nazionale, ora ISPRA; Progetto Censimento delle Aree Italiane storicamente Vulnerate da calamità geologiche ed idrauliche (AVI), redatto dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche (GNDCI-CNR);
- III. **Fotointerpretazione AdBP** (di seguito **Inventario AdBP, Figura 7-1C**): frane derivanti dallo studio di fotointerpretazione condotto dall'AdBP (1478 frane ascrivibili tutte alla tipologia PG3, ovvero P).;
- IV. **Provincia di Foggia** (di seguito **Inventario Foggia, Figura 7-1D**): trattasi delle frane rilevate dalla Provincia di Foggia nell'ambito delle convenzioni sottoscritte con l'AdBP relative ad "Attività di raccolta e classificazione di dati su fenomeni franosi della Provincia di Foggia" e "Conduzione di studi di approfondimento degli aspetti relativi ai fenomeni franosi classificati".

Tra gli inventari oggetto di questo confronto solamente IFFI è disponibile in formato vettoriale e scaricabile dalla piattaforma IDROGEO gestita da ISPRA (<https://idrogeo.isprambiente.it/app/>). Gli altri inventari sono solamente disponibili come copertura raster, senza informazioni sulla tipologia e sui limiti delle singole frane riportate. Pertanto, a causa della disomogeneità esistente tra i formati di dati disponibili, per un confronto uniforme è possibile solamente procedere a livello di copertura tra tutti gli inventari disponibili, ovvero non considerando le singole frane, ma solo l'estensione complessiva dell'area in frana.

Le informazioni disponibili a riguardo di questi inventari ad esclusione di IFFI, sono scarse o assenti per consentire un confronto riguardante la metodologia realizzativa e il contenuto informativo. Nello specifico, dalla pagina <https://www.adb.puglia.it/public/page.php?13> risulta che:

- I. l'inventario AdBP è realizzato da fotointerpretazione, anche se non sono indicate le scale e le date delle immagini utilizzate, né se la fotointerpretazione è stata eseguita



CONFRONTO INVENTARI PREESISTENTI

- su immagini a colori o in bianco e nero, su immagini aeree o da satellite, analogiche o digitali, stereoscopiche o monoscopiche.
- II. sull'inventario Archivi, le fonti di informazione sono fortemente eterogenee tra loro e non è noto quali fonti siano rappresentate all'interno dell'area di studio del Sub-Appennino Dauno. Si rileva, peraltro, che alcune frane disponibili per IFFI nella piattaforma IDROGEO, non risultano comprese nell'inventario Archivi, che contiene l'aggiornamento IFFI 2006, pertanto si configura un problema di disallineamento tra le banche dati del Distretto Meridionale e di ISPRA. Anche le metodologie realizzative sono eterogenee fra loro e ciascuna di esse è caratterizzata da fonti di errore diverse. L'ubicazione delle frane può derivare infatti da sopralluoghi (IFFI, PAI, AVI), fonti cronachistiche (AVI), o fotointerpretazione (IFFI, PAI). Ciascuna delle frane riportate in questo inventario può essere realizzata tramite una o più tra le sopra citate metodologie, e tale informazione non è riportata nella carta resa disponibile.
 - III. l'inventario Foggia, analogamente all'Inventario Archivi, è stato realizzato anch'esso con tecniche non rese note. Come per gli altri inventari non è nota la scala di lavoro, la fonte delle informazioni e se le frane siano state rilevate nell'ambito di un evento o di studi di approfondimento di situazioni note. In quest'ultimo caso non si potrebbe parlare di "carta inventario" in senso stretto, ma di un aggiornamento.



CONFRONTO INVENTARI PREESISTENTI

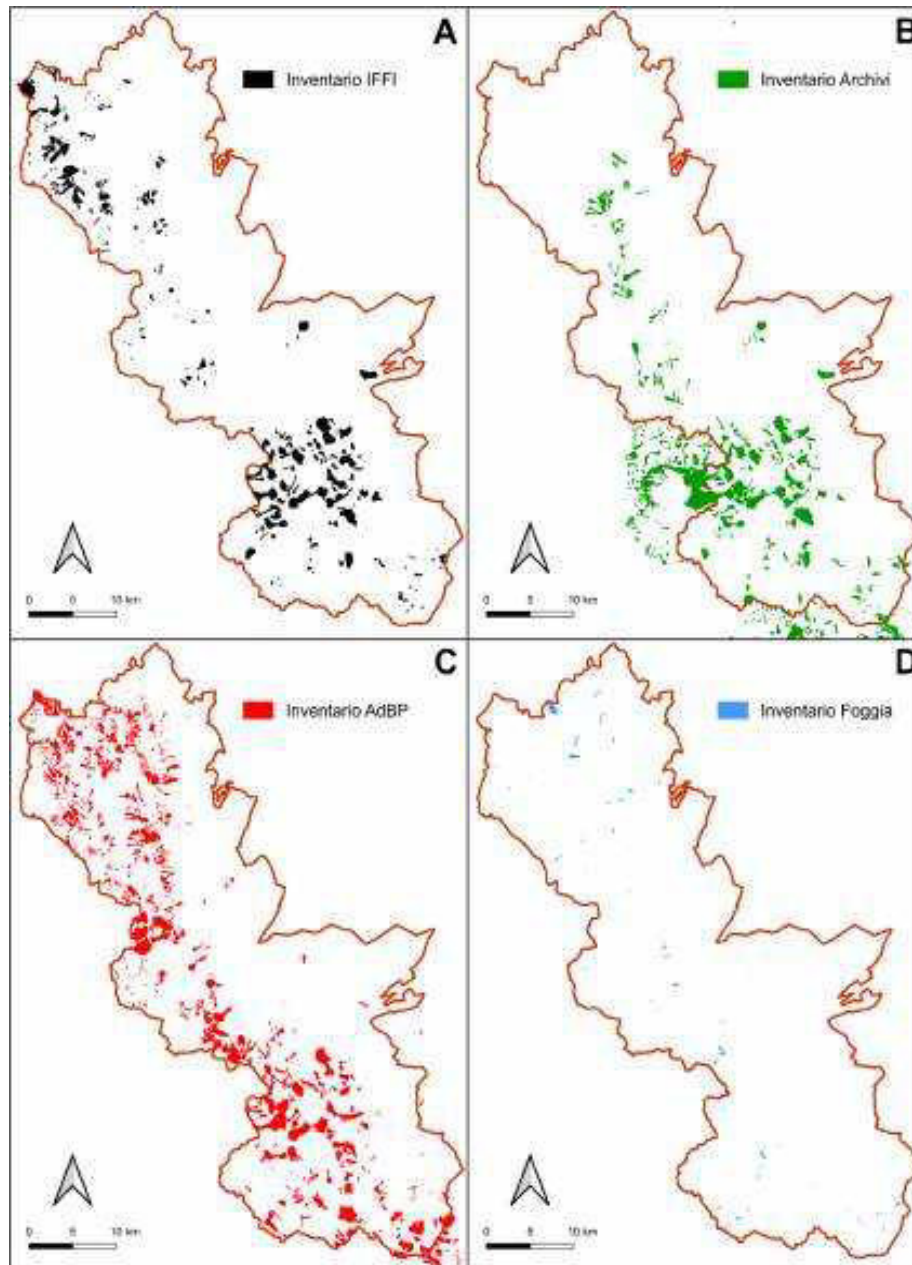


Figura 7-1. Copertura dei quattro inventari elencati e disponibili per l'area del Sub-Appennino Dauno. (A) Inventario IFFI, (B) Inventario Archivi, (C) Inventario AdBP, (D) Inventario Foggia.



CONFRONTO INVENTARI PREESISTENTI

La **Figura 7-2** mostra una visione sinottica dei quattro inventari nel loro complesso. Dalla figura risulta una forte discontinuità della copertura, con aree nelle quali sono riportate numerose frane, e aree nelle quali la mappatura dei dissesti non sembra essere stata realizzata. La **Tabella 7.1** riporta l'area in frana di ciascuno dei quattro inventari qui menzionati.

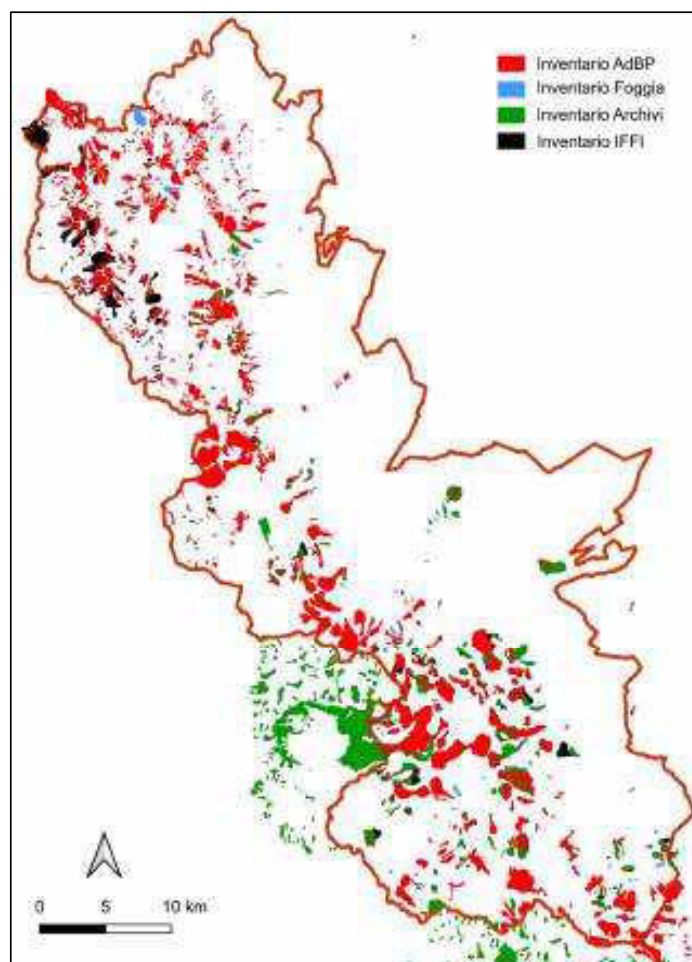


Figura 7-2. Confronto delle coperture degli inventari disponibili e riportati individualmente in **Figura 7-1**.

Per analizzare più nel dettaglio la relazione tra le coperture delle carte inventario disponibili e quella di IRPI, è stata realizzata una carta che consente di conoscere il grado di accordo tra le diverse cartografie disponibili a livello di *pixel*, tramite un indice posizionale. In particolare, la carta consiste in un file *raster* con risoluzione di 25 metri, e in cui per ogni



CONFRONTO INVENTARI PREESISTENTI

cella il valore dell'indice riassume la presenza o assenza di un dato inventario. L'indice è costituito da 5 cifre che possono assumere valore 0 (assenza dell'inventario) o 1 (presenza dell'inventario). Partendo da sinistra, la prima cifra indica l'inventario Foggia, la seconda cifra l'Inventario AdBP, la terza l'Inventario Archivi, la quarta l'Inventario IFFI, e la quinta l'Inventario IRPI (**Figura 7-3**). Ad esempio, se un pixel assume valore 11011, ad esso corrisponde una porzione di territorio per il quale sono presenti tutti gli inventari ad eccezione dell'Inventario Archivi (corrispondente allo 0 in terza posizione).

Tabella 7-1. Area in frana di ciascun inventario e percentuale dell'area che è riconosciuta anche nell'inventario IRPI.

	Area in frana (km ²)	Area riconosciuta in IRPI (%)
IRPI	441,6	100
IFFI	61,7	72,9
ARCHIVI	124,1	72,0
AdBP	160,8	74,4
FOGGIA	5,3	51,5

Il diagramma a barre di **Figura 7-3** riassume la porzione di territorio sottesa da ciascuna combinazione tra gli inventari disponibili. Si osserva come per quasi metà dei possibili casi di sovrapposizione tra gli inventari, l'area in frana totale non raggiunge il chilometro quadrato, e l'area comune a tutti e 5 gli inventari è pari all'incirca a 2000 m² (barra corrispondente all'indice 11111 in **Figura 7-3**).

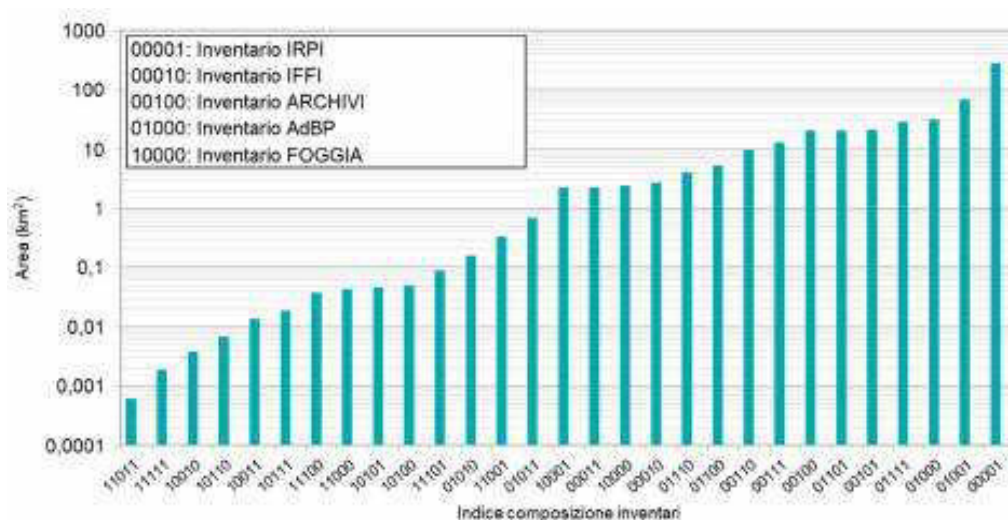


Figura 7-3. Grafico a barre dell'area in frana che ricade all'interno delle possibili relazioni geometriche tra tutti gli inventari disponibili. Si veda il testo per maggiori informazioni.



CONFRONTO INVENTARI PREESISTENTI

A partire da questa carta composta da tutti gli inventari, sono stati ricavati i seguenti dati:

- L'area in frana riportata in ciascun inventario e non riportata in ciascuno degli altri inventari;
- L'area in frana in comune tra ciascuna coppia di inventari;
- Il grado di accordo geografico tra gli inventari.

Per quanto riguarda il primo punto, la [Tabella 7-2](#) riporta l'area in frana cartografata nell'inventario riportato in colonna e non cartografata nell'inventario riportato in riga. Ad esempio l'area in frana cartografata nell'Inventario IRPI e non cartografata nell'Inventario IFFI è di 396,6 km², mentre il caso opposto corrisponde a 16,76 km². In termini generali, si osserva che l'inventario IRPI contiene la maggiore area in frana non in comune rispetto a tutti gli altri inventari disponibili. Confrontando i dati di [Tabella 7-2](#) con quelli di [Tabella 7-1](#) si ha conferma del rilevante disaccordo geometrico tra tutti gli inventari preesistenti ([Figura 7-2](#)), in quanto i valori di area non comune tra ciascun inventario e ognuno degli altri è spesso molto superiore al 50% dell'area totale cartografata.

[Tabella 7-2](#). Area in frana di ciascun inventario (colonna) non rappresentata negli altri inventari (riga). Tra parentesi è indicato il valore in percentuale rispetto all'area in frana totale dell'inventario di riferimento (colonna).

	IRPI	IFFI	ARCHIVI	AdBP	FOGGIA
IRPI		16,73 (27,13%)	34,69 (27,96%)	41,15 (25,59%)	2,59 (48,46%)
IFFI	396,7 (89,83%)		68,29 (55,04%)	126,84 (78,87%)	5,3 (99,15%)
ARCHIVI	357,51 (80,95%)	5,86 (9,51%)		101,45 (63,08%)	5,09 (95,31%)
AdBP	321,96 (72,9%)	24,95 (40,46%)	64,7 (52,14%)		4,84 (90,67%)
FOGGIA	438,88 (99,38%)	61,61 (99,93%)	123,84 (99,8%)	160,32 (99,69%)	

In secondo luogo, dal confronto tra gli inventari emerge anche il dato sull'area comune a tutte le coppie di inventari ([Tabella 7-3](#)). Dalla tabella emerge che l'inventario che ha più area in frana in comune con la carta inventario realizzata da IRPI è l'Inventario AdBP, per il quale oltre il 74% dell'area è rappresentata anche da IRPI ([Tabella 7.1](#)). I dati più bassi sono invece registrati per l'Inventario Foggia, che ha la maggior parte dell'area in comune solo con l'inventario IRPI (51,5%, [Tabella 7.1](#)).

[Tabella 7-3](#). Area in frana comune a tutte le coppie di inventari (area verde). Indice di disaccordo geografico (*mismatch*) tra ogni coppia di inventari (area grigia). In rosso sono indicati i valori di mismatch superiori a 0,8, mentre in giallo valori compresi tra 0,8 e 0,5.

	IRPI	IFFI	ARCHIVI	AdBP	FOGGIA
IRPI		0,900	0,820	0,750	0,994
IFFI	44,93		0,571	0,820	0,999
ARCHIVI	84,11	55,79		0,740	0,998
AdBP	119,67	33,98	59,37		0,997
FOGGIA	2,75	0,046	0,25	0,50	

Valore dell'indice di <i>Mismatch</i> tra gli inventari
Area (km ²) in frana comune agli inventari



CONFRONTO INVENTARI PREESISTENTI

In terzo luogo, è possibile utilizzare le informazioni fin qui raccolte e commentate per calcolare l'indice di accordo geografico (o *mismatch*, [Tabella 7-3](#)). Per ogni coppia di inventari l'indice riporta un valore compreso tra 0 (completo accordo) e 1 (completo disaccordo), ed è usato per indicare il generale grado di accordo geografico tra due cartografie delle frane. Matematicamente è definito come:

$$E = \frac{A \cup B - A \cap B}{A \cup B},$$

dove $A \cup B$ indica l'area comune e non comune ai due inventari (unione GIS), e $A \cap B$ indica l'area area comune tra i due inventari (intersezione GIS).

Sulla base della nostra esperienza, l'accordo geografico tra inventari realizzati con tecniche simili può essere considerato accettabile quando l'indice E è al massimo pari a 0,4. In [Tabella 7-3](#) si evidenzia come per nessuna coppia di inventari l'accordo geografico sia accettabile. L'accordo migliore si realizza tra l'Inventario Archivi e l'Inventario IFFI (0,571), verosimilmente perché IFFI è confluito nell'Inventario Archivi. Disaccordo geografico confrontabile si evidenzia per l'Inventario AdBP con l'Inventario Archivi (0,74) e l'Inventario IRPI (0,75).

Sebbene le informazioni illustrate finora rappresentino il grado di accordo e disaccordo della rappresentazione dell'area in frana, non è possibile tramite queste informazioni stabilire quale tra gli inventari sia, caso per caso, frana per frana, il riferimento "corretto". Infatti come detto all'inizio di questo capitolo, le frane sono state rilevate spesso con metodi (rilevamento, fotointerpretazione, dati da archivio) e dati differenti tra loro (immagini di diversa età, tipologia e risoluzione), ed è pertanto molto probabile che alcune frane, non presenti in alcuni inventari, non fossero effettivamente visibili. A titolo esemplificativo, la **Figura 7-4** mostra il confronto tra la mappatura dell'Inventario AdBP e l'Inventario IRPI nella zona di Sant'Agata di Puglia. La situazione indicata dalla freccia azzurra (**Figura 7-4B**) evidenzia un diverso grado di dettaglio nella formalizzazione delle aree in frana, più dettagliato per l'Inventario IRPI che riporta 22 frane (**Figura 7-4C**), mentre nell'Inventario AdBP i dissesti sono stati sintetizzati in un unico poligono (**Figura 7-4B**). Questa stessa situazione esemplifica molti casi in cui è riportata area in frana in AdBP che non è riportata in IRPI. Come si evince dalla figura non si tratta di frane non riconosciute ma di un diverso grado di dettaglio nella rappresentazione cartografica, probabilmente legato al tipo e alla scala delle immagini e del lavoro. La situazione evidenziata dalla freccia rossa, invece, evidenzia una fascia al piede di un versante che è stata riportata come non in frana nell'Inventario AdBP, là dove l'Inventario IRPI riporta un gruppo di frane di diversa dimensione le cui evidenze sono molto chiare in **Figura 7-4A**.



CONFRONTO INVENTARI PREESISTENTI

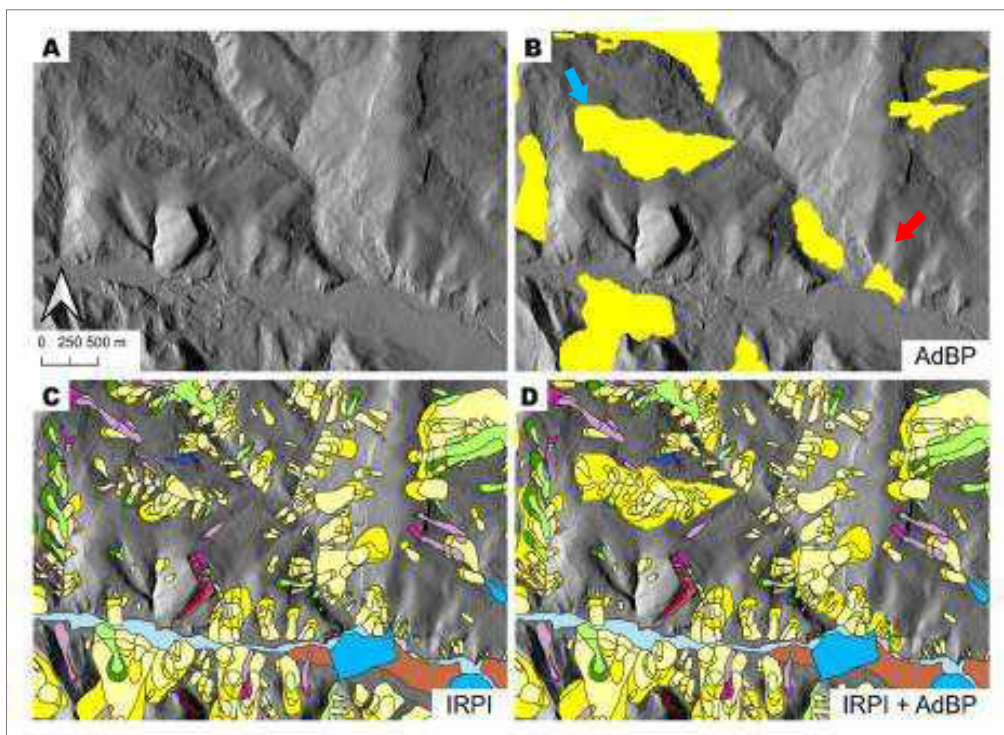


Figura 7-4. Confronto tra le cartografie prodotte per una porzione di territorio vicino al centro abitato di Sant'Agata di Puglia (A). Il riquadro (B) mostra la carta Inventario AdBP, il riquadro (C) riporta l'Inventario IRPI, mentre nel riquadro (D) sono mostrate le due cartografie a confronto. Le frecce azzurra e rossa nel riquadro (B) indicano le due situazioni commentate nel testo.

In conclusione, da questo confronto emerge un quadro di forte eterogeneità delle informazioni disponibili, non soltanto nella formalizzazione geometrica e tematica, ma anche nella disponibilità delle informazioni a corredo degli inventari stessi. Informazioni sui metodi e i dati utilizzati per la realizzazione delle carte inventario sono infatti cruciali perché consentono di valutare meglio le differenze tra inventari. La forte discrepanza tra gli inventari costituisce sicuramente un problema di gestione del dato, ma si ribadisce qui che il confronto realizzato non consente di definire, caso per caso, frana per frana quale inventario considerare come "la verità a terra", in quanto sarebbe necessario un controllo sistematico e specifico per tutte le situazioni locali.



8. BIBLIOGRAFIA

- Ardizzone F., Cardinali M., Carrara A., Guzzetti F., & Reichenbach P. (2002) *Impact of mapping errors on the reliability of landslide hazard maps*. Natural hazards and earth system sciences 2 (1/2), 3-14.
- Cardinali, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Antonini, G., Galli, M., Cacciano, M., Castellani, M. & Salvati, P. (2002) *A geomorphological approach to estimate landslide hazard and risk in urban and rural areas in Umbria, central Italy*. Natural Hazards and Earth Systems Science, 2:1-2 57-72.
- Cruden D.M. e Varnes D.J., (1996) *Landslides types and processes*. Transportation Research Board. Nat. Ac. Sci., Washington, USA.
- Dramis, F., Maifredi, P., & Sorriso-Valvo, M. (1985). *Deformazioni gravitative profonde di versante. Aspetti geomorfologici e loro diffusione in Italia*. Geologia Applicata e Idrogeologia, 20, 377-390.
- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., & Chang, K. T. (2012). *Landslide inventory maps: New tools for an old problem*. Earth-Science Reviews, 112(1-2), 42-66.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., & Ardizzone, F. (2005). *Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale*. Geomorphology, 72(1-4), 272-299.
- Guzzetti, F., Malamud, B.D., Turcotte, D.L., Reichenbach, P. (2002) *Power-law correlations of landslide areas in central Italy*. Earth and Planetary Science Letters 195 (3-4), 169-183
- Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). *The Varnes classification of landslide types, an update*. Landslides, 11(2), 167-194.
- Malamud, B. D., Turcotte, D. L., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (2004). *Landslide inventories and their statistical properties*. Earth Surface Processes and Landforms, 29(6), 687-711.
- MiTE. Dati Lidar del Piano Straordinario di Telerilevamento - Legge n. 179/2002 (art. 27) Ministero dell'Ambiente (ora Ministero della Transizione Ecologica - MiTE). <http://www.pcn.minambiente.it/mattm/progetto-pst-dati-lidar/>
- Pike, R. J. (1988). *The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models*. Mathematical geology, 20(5), 491-511.
- Reichenbach P., Galli M., Cardinali M., Guzzetti F. & Ardizzone F. (2005) *Geomorphological mapping to assess landslide risk: concepts, methods and applications in the Umbria Region of central Italy*. In: Glade, T., Anderson, M.G. and Crozier, M.J. (eds.) *Landslide risk assessment*. John Wiley, 429-468.
- Rib, H. T., & Liang, T. (1978). *Recognition and identification*. Transportation Research Board Special Report, (176).
- Schuster, E., Kockelman, W. K., Turner, A. K., & Schuster, R. L. (1996). *Special report 247*. TRB National Research.

BIBLIOGRAFIA

- Soldati, M., Corsini, A., & Pasuto, A. (2004). *Landslides and climate change in the Italian Dolomites since the Late glacial*. Catena, 55(2), 141-161.
- WP/WLI (1993) *A suggested method for describing the activity of a landslide*. Inter. Assoc. Engineering Geology Bull., V. 47, pp. 53-57.
- WP/WLI (1990) *A suggested method for reporting a landslide*. Inter. Assoc. Engineering Geology Bull., V. 41, pp. 5-12.



APPENDICE - A: ALLINEAMENTO BANCA DATI CON SPECIFICHE IFFI

L'allegato tecnico prevedeva che le informazioni raccolte nella carta inventario di tipo geomorfologico delle frane nel Sub-Appennino Dauno venissero strutturate in modo coerente con le schede di 1° e 2° livello del progetto IFFI.

Per quanto riguarda la scheda di primo livello nell'allegato tecnico IFFI «si ritiene che la **fotointerpretazione** sia lo strumento più idoneo per integrare le conoscenze] ... **[limitatamente alla compilazione del 1° livello della scheda.]**» Per la compilazione delle schede di 2° livello l'allegato tecnico IFFI richiede che «[...] Informazioni di maggiore dettaglio si possono ottenere eseguendo rilevamenti di terreno specificamente finalizzati alla conoscenza delle singole frane. Solo in questo modo è possibile procedere alla compilazione della scheda di secondo livello.» Da questa premessa è emersa la criticità sulla possibilità di compilare la scheda di 2° livello. Infatti l'inventario realizzato nell'ambito delle attività del Work Package 5 (**Realizzazione di una carta inventario delle frane di tipo geomorfologico nel Sub-Appennino Dauno**) deriva interamente da **fotointerpretazione**, e i controlli in campagna hanno avuto il solo scopo di **verificare e validare a campione** l'informazione raccolta attraverso l'interpretazione di fotografie aeree.

Questo punto critico è stato chiarito con il committente, e le informazioni raccolte sono state elaborate per essere compatibili con l'archivio IFFI unicamente per la compilazione della scheda di 1° livello.

Questa attività è stata svolta in collaborazione con i funzionari e consulenti del Distretto dell'Appennino Meridionale (DAM), con i quali sono state concordate le modalità di allineamento tra la banca dati realizzata da IRPI le codifiche richieste dalla banca dati IFFI.

I dati dell'inventario geomorfologico forniti al DAM sono stati preparati separando le diverse generazioni di frana, laddove presenti. I layers forniti e la loro struttura dati sono riportati in **Figura A-1**. Per i soli layers *frn_pre_2003*, *frn_ev_2003*, *frn_molto_vecchie* sono state riconosciute più generazioni di frana. I layer separati delle diverse generazioni sono stati generati dal layer di origine attraverso operazioni di dissolve sui campi *N_M/N_F/N_N/N_PN* (identificativo numerico univoco per ogni frana del layer) e sul campo classe (*CL_M/CL_F/CL_N/CL_PN*).

Nei seguenti paragrafi sono riportate le informazioni della banca dati associata agli shapefiles (layers) che sono state utilizzate per compilare i campi della scheda IFFI. I paragrafi sono nominati come le sezioni della scheda IFFI.



APPENDICE

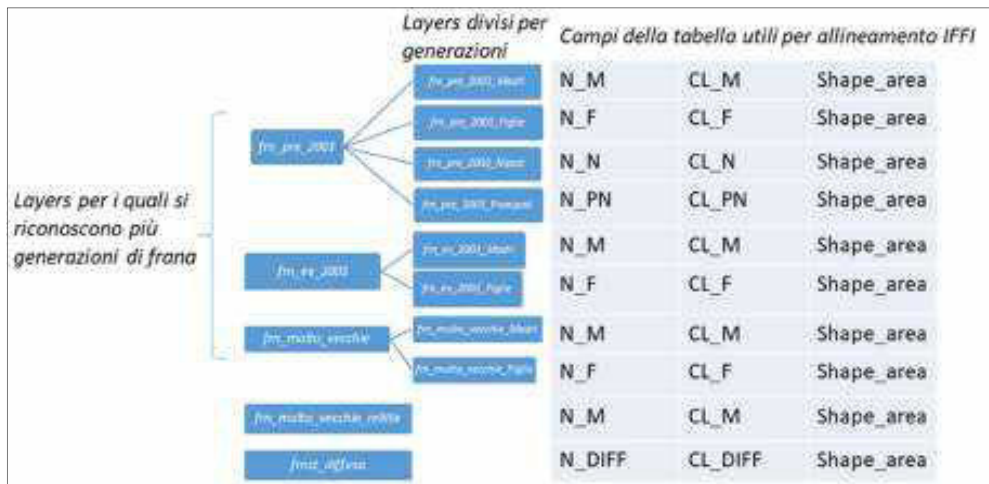


Figura A-1. Layer forniti per l'allineamento IFFI e loro struttura dati.



APPENDICE

SEZIONE CLASSIFICAZIONE DELL'EVENTO FRANOSO –TABELLA TIPOLOGIA DEL MOVIMENTO

La classificazione delle frane derivante dalla banca dati IRPI è stata ricodificata attraverso delle tabelle di corrispondenza per renderle compatibili con la Banca Dati IFFI. In particolare, per quanto riguarda la tipologia del movimento franoso, sono state definite le seguenti corrispondenze tra “sigla IRPI” e “Codice_tipo_IFFI” (**Figura A-2**).

Sigla IRPI	codice_tipo IFFI	<i>Dizionari dell'allegato tecnico IFFI</i>
rf	1	
s	2	
sef	7	
f	4	
df	5	
sck	8	
wrf	9	
wss/ wdf	11	

movimento	Nome movimento
0	n.d.
1	Crollo/ribaltamento
2	Scivolamento rotazionale/traslativo
3	Espansione
4	Colamento lento
5	Colamento rapido
6	Sprofondamento
7	Complesso
8	DGPV
9	Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi
10	Aree soggette a sprofondamenti diffusi
11	Aree soggette a frane superficiali diffuse

Figura A-2. Corrispondenza tra sigla IRPI e Codice_tipo_IFFI (movimento e nome del movimento). Per una descrizione di dettaglio del tipo IRPI vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**



SEZIONE ATTIVITÀ –TABELLA STATO

Per quanto riguarda lo stato di attività ([Tabella A-1](#)), è stato concordato di classificare con stato **relitto** (codice IFFI = 400) le frane afferenti alla layer *frn_molto_vecchie_relitte*, per le quali lo stato di attività può essere determinato in maniera robusta. A tutti gli altri layers è stato scelto di attribuire uno stato di attività **non determinato (codice IFFI =0)**, con possibilità di inserire in un **campo note**, per le sole frane di evento 2003, la dicitura “**In evoluzione nel 2003**”.

[Tabella A-1](#). Stato di attività.

Layers	Codice IFFI	Descrizione
frn_pre_2003_Madri	0	Non determinato
frn_pre_2003_Figlie	0	Non determinato
frn_pre_2003_Nipoti	0	Non determinato
frn_pre_2003_Pronipoti	0	Non determinato
frn_ev_2003_Madri	0	Non determinato
frn_ev_2003_Figlie	0	Non determinato
frn_molto_vecchie_Madri	0	Non determinato
frn_molto_vecchie_Figlie	0	Non determinato
frn_molto_vecchie_relitte	400	Relitto
frn_diffuso	0	Non determinato



SEZIONE METODOLOGIA UTILIZZATA PER LA VALUTAZIONE DEL TIPO DI MOVIMENTO E DELLO STATO DI ATTIVITÀ

Questa sezione riporta l'identificativo del volo aereo utilizzato per l'individuazione delle frane effettuata attraverso fotointerpretazione. Come riportato nell'allegato tecnico IFFI «Si ricorda che la Regione dovrà fornire un elenco completo dei voli utilizzati per il reperimento delle informazioni, utilizzando la tabella VOLO_AEREO».

Le fotografie aeree utilizzate per la realizzazione della carta inventario geomorfologica sono riportate nella [Tabella A-2](#).

[Tabella A-2](#). Voli aerei sui quali sono state riconosciute le frane.

Layers	Voli aerei	
	10 comuni WP6	Aree di studio esterna al WP6
frn_pre_2003_Madri	Volo Gai 1954	Volo IGMI 2003
frn_pre_2003_Figlie	Volo Gai 1954	Volo IGMI 2003
frn_pre_2003_Nipoti	Volo Gai 1954	Volo IGMI 2003
frn_pre_2003_Pronipoti	Volo Gai 1954	Volo IGMI 2003
frn_ev_2003_Madri	Volo IGMI 2003	Volo IGMI 2003
frn_ev_2003_Figlie	Volo IGMI 2003	Volo IGMI 2003
frn_molto_vecchie_Madri	Volo Gai 1954	Volo IGMI 2003
frn_molto_vecchie_Figlie	Volo Gai 1954	Volo IGMI 2003
frn_molto_vecchie_relitte	Volo Gai 1954	Volo IGMI 2003
frn_diffuso	Volo Gai 1954	Volo IGMI 2003



ALLINEAMENTO DELLE INFORMAZIONI DELLA CARTA MULTI-TEMPORALE CON LE SPECIFICHE DELL'ARCHIVIO IFFI

In accordo con la committenza sono stati forniti al DAM anche i dati inerenti le mappature multi-temporali dei 10 siti oggetto delle attività del Work Package 6 [D06-04].

Tali informazioni sono state strutturate in modo coerente con le informazioni di frana fornite nel WP5 (identificativo, N_M/N_F, tipo CL_M/CL_F, shape_area), con in aggiunta l'attributo del nome del comune. I layers consegnati sono descritti in **Figura A-3**.

Si tratta delle frane di evento degli anni 1954, 1976, e 1991 e degli eventi in evoluzione negli inter-periodi 1954-1976, 1976-1991, 1991-2003, mappati nei territori individuati attorno ai centri abitati principali [D06-04]. Qualora negli anni o negli inter-periodi siano state riconosciute più generazioni di frana il suffisso _M e _F identifica rispettivamente le frane madri e le frane figlie relative quell'evento/inter-periodo.

Per quanto riguarda la tipologia del movimento franoso, per le frane della carta inventario multi-temporale (WP6) è stata adottata la stessa legenda usata nella carta inventario geomorfologica (WP5), pertanto le corrispondenze tra sigla IRPI e Codice_tipo_IIFFI è la stessa riportata in [Tabella 3-1](#) e in [Tabella 3-2](#).

Per quanto riguarda la Sezione "attività", a tutte le frane dei layers della carta inventario multi-temporale è stato assegnato valore "non determinato" (codice IFFI=0) ma nel **campo note**, è possibile riportare la dicitura "In evoluzione al (*anno di riferimento del layer*)" o "in evoluzione tra (anni di riferimento degli inter-periodi)".

I voli aerei utilizzati per realizzare i diversi layers della carta inventario multi-temporale sono riportati in [Tabella A-3](#).



APPENDICE

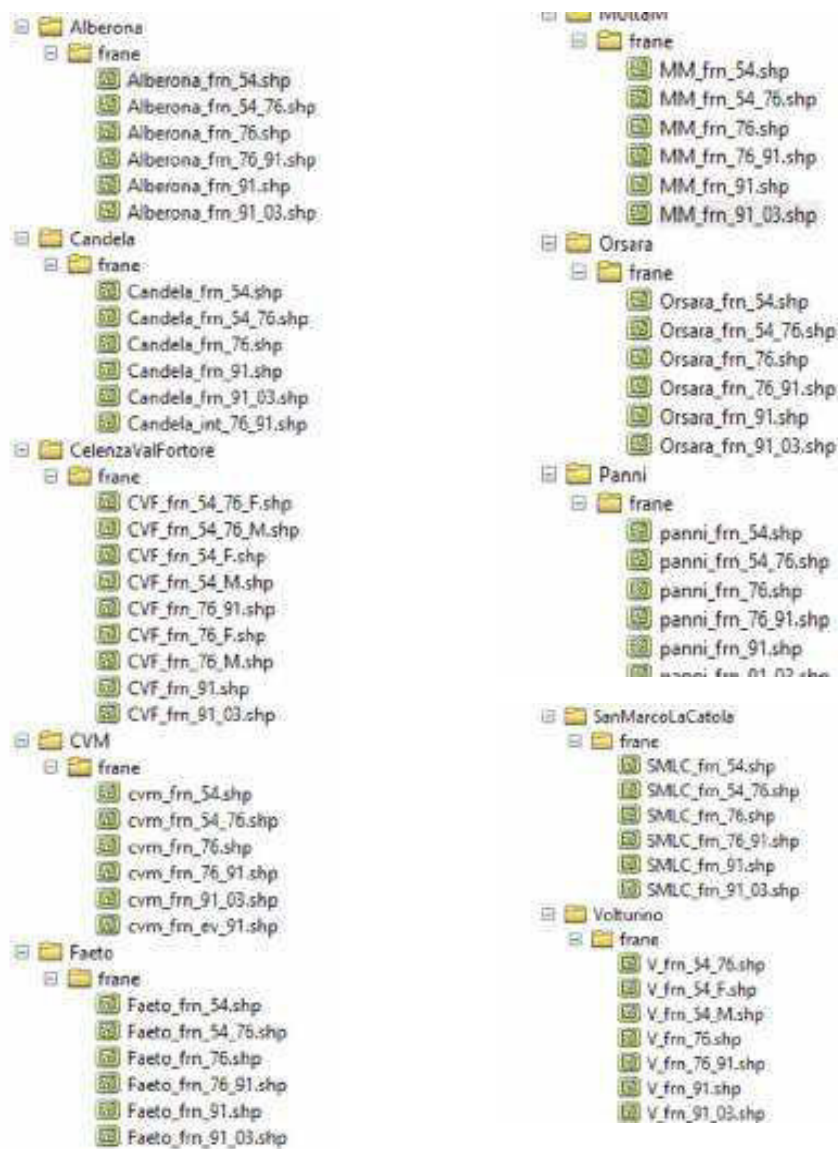


Figura A-3. Layers dell’inventario multi-temporale. CVM Castelluccio Valmaggiore, MM Motta Montecorvino, SMLC San Marco la Catola, V Volturino.



Tabella A-3. Voli aerei utilizzati per la realizzazione dell'inventario multi-temporale.

Eventi /interperiodi	Layers	Descrizione	Voli aerei
Eventi	(nome_comune)_frn_54_(generazione)	Frane ritenute in evoluzione nel 1954	Volo Gai 1954
	(nome_comune)_frn_76_(generazione)	Frane ritenute in evoluzione nel 1976	Volo IGMI 1976
	(nome_comune)_frn_91_(generazione)	Frane ritenute in evoluzione nel 1991	Volo IGMI 1991
Inter-periodi	(nome_comune)_frn_54_76_(generazione)	Frane ritenute in evoluzione nel periodo tra 1954-1976	Volo Gai 1954-Volo IGMI 1976
	(nome_comune)_frn_76_91_(generazione)	Frane ritenute in evoluzione nel periodo tra 1976-1991	Volo IGMI 1976 -Volo IGMI 1991
	(nome_comune)_frn_91_03_(generazione)	Frane ritenute in evoluzione nel periodo tra 1991-2003	Volo IGMI 1991 -Volo IGMI 2003

