

GEOLOGI e TERRITORIO

Periodico di Scienze della Terra dell'Ordine dei Geologi della Puglia

ISSN: 1974-1189

**MAPPE DI ATTIVITÀ DELLE FRANE: ANALISI DELLA RIATTIVAZIONE
DI ALCUNI DISSESTI IDROGEOLOGICI IN APPENNINO DAUNO.**

Luigi Spalluto, Antonello Fiore, Maria Nilla Miccoli

**PROSPEZIONI GEOFISICHE DEL SOTTOSUOLO
PER LA DIAGNOSTICA STRUTTURALE DI MANUFATTI DI INTERESSE
STORICO ARTISTICO: IL CASO DELLA CATTEDRALE DI CASTRO (LECCE).**

Giovanni Leucci, Giovanni Quarta

GEOLOGI e TERRITORIO

Periodico dell'Ordine Regionale
dei Geologi - Puglia
Anno XII - n. 2/2015

Direttore editoriale:
Valletta Salvatore

Direttore responsabile:
Alfarano Espedito

Comitato di redazione:
Dibenedetto Michele, Di Fazio Antonio,
De Razza Tiziana, Corvasce Maddalena A.,
Bonora Davide, d'Amico Nicola A.,
D'Amico Vincenzo, Ieva Maria Costantina,
Impagnatiello Domenico P.,
Quarta Giovanni, Valletta Salvatore

Comitato scientifico:
Antonicelli Antonello, Assennato Giorgio,
Baldassarre Giuseppe, Blonda Massimo,
Borri Dino, Capolongo Domenico,
Cotecchia Federica, Del Gaudio Vincenzo,
Dellino Pierfrancesco, Di Fazio Antonio,
Di Santo Antonio R., Fornelli Annamaria,
Gallicchio Salvatore, Leucci Giovanni,
Monterisi Luigi, Negri Sergio, Pagliarulo Rosa,
Polemio Maurizio, Ricchetti Giustino,
Sabato Luisa, Sansò Paolo,
Santalioia Francesca, Simeone Vincenzo,
Spilotro Giuseppe, Walsh Nicola

Coordinamento scientifico:
Di Fazio Antonio, Quarta Giovanni,
Valletta Salvatore

Segreteria di redazione:
De Razza Tiziana, Spizzico Silvio

Redazione, Amministrazione e Pubblicità:
Ordine dei Geologi - Puglia
Via Junipero Serra, 19 - 70125 Bari
www.geologipuglia.it - info@geologipuglia.it

Stampa:
Sagraf Srl - Z.I. Capurso (BA)

Autorizzazione del Tribunale di Bari:
n. 29 del 16.06.2004

Chiuso in tipografia il 18 dicembre 2015

SOMMARIO

2

Editoriale del Presidente dell'ORG - Puglia
Salvatore Valletta

3

**MAPPE DI ATTIVITÀ DELLE FRANE:
ANALISI DELLA RIATTIVAZIONE
DI ALCUNI DISSESTI IDROGEOLOGICI
IN APPENNINO DAUNO.**

Luigi Spalluto, Antonello Fiore, Maria Nilla Miccoli

19

**PROSPEZIONI GEOFISICHE DEL SOTTOSUOLO
PER LA DIAGNOSTICA STRUTTURALE DI
MANUFATTI DI INTERESSE STORICO
ARTISTICO: IL CASO DELLA CATTEDRALE
DI CASTRO (LECCE).**

Giovanni Leucci, Giovanni Quarta



Foto di copertina di Antonello Fiore:
frana in agro di Rocchetta Sant'Antonio
(FG), bacino idrografico Calaggio.

Si chiude il 2015 e corre l'obbligo di ricordare l'incessante lavoro del Consiglio dell'Ordine che, perseguendo il contenimento e l'ottimizzazione delle spese di gestione, ha continuato nelle azioni a tutela della professione con interventi sistematici presso le Pubbliche Amministrazioni.

Sono stati tantissimi gli interventi finalizzati alla corretta applicazione delle normative in tema di competenze geologiche ed in particolare per il rispetto del divieto di subappalto della relazione geologica e per il rispetto del D.M. 143 del 31 ottobre 2013 in tema di definizione delle tariffe per le prestazioni professionali.

Molta attenzione è stata dedicata agli strumenti di pianificazione territoriale che vedono ancora oggi non adeguatamente valorizzate le competenze professionali dei geologi. Ci riferiamo a Piani Comunali delle Coste e ai Piani Urbanistici Generali non sempre adeguati nel coinvolgimento dei geologi per i necessari approfondimenti territoriali.

La commissione APC ha concluso le verifiche dell'assolvimento dell'obbligo di aggiornamento professionale ed ha programmato importanti eventi formativi per il 2016, anno che chiude il primo triennio con il nuovo Regolamento.

L'ordine sta collaborando con la Regione Puglia, impegnata nella nuova organizzazione della Protezione civile denominata "Smart Protezione civile" con al centro la prevenzione e la mitigazione dei rischi.

C'è ancora tanto da fare per accrescere la sensibilità e l'attenzione alle problematiche territoriali e, in generale, all'affermazione della cultura geologica. In questo senso il Consiglio dell'Ordine ha inteso inviare ai Comuni e agli Uffici edilizia sismica delle Province copia delle «Raccomandazioni per la redazione della "Relazione Geologica" ai sensi delle Norme Tecniche sulle Costruzioni» redatte e pubblicate dalla Fondazione "Centro Studi" del Consiglio Nazionale dei Geologi su mandato dello stesso Consiglio. Tanto per evidenziare la necessità di adeguate indagini geognostiche a corredo degli elaborati geologici e ribadire che la relazione geologica è di esclusiva competenza del tecnico geologo iscritto all'Albo Professionale ed obbligatoria per tutte le nuove costruzioni e interventi edilizi. Su questi temi incontreremo l'Anci Puglia per le più opportune collaborazioni.

Nell'augurare a tutti un ottimo 2016, troverete anche quest'anno, allegato alla rivista, il tradizionale calendario 2016 con le foto premiate nella sesta edizione del concorso fotografico "Passeggiando tra i paesaggi geologici della Puglia".

Bari, Dicembre 2015

Salvatore Valletta

MAPPE DI ATTIVITÀ DELLE FRANE: ANALISI DELLA RIATTIVAZIONE DI ALCUNI DISSESTI IDROGEOLOGICI IN APPENNINO DAUNO.

Luigi Spalluto¹ - Antonello Fiore² - Maria Nilla Miccoli³

¹Iscritto ORG Puglia n. 710 - ²Iscritto ORG Puglia n. 133ES - ³Iscritta ORG Puglia n. 740

Autorità di Bacino della Puglia c/o INNOVAPUGLIA (Ex Tecnopolis CSATA)
Str. Prov. per Casamassima, Km 3 - 70010 Valenzano (Ba) - luigi.spalluto@adb.puglia.it

1. INTRODUZIONE

Il problema della fragilità del territorio regionale della Puglia e dell'esposizione al rischio della sua popolazione e delle infrastrutture ai dissesti geomorfologici riguarda aree molto estese; tra queste, rientrano molti comuni dell'Appennino dauno, nella provincia di Foggia, per cui sussiste una pericolosità diffusa legata alla presenza di corpi di frana in evoluzione (Bruno *et al.*, 1992a; b; Crescenzi, 1993; Zezza *et al.*, 1994; Iovine *et al.*, 1996; Parise, 2003; Wasowski *et al.*, 2007; Ciaranfi *et al.*, 2011; Pieri *et al.*, 2011; Parise *et al.*, 2012).

Nell'ultimo decennio, i fenomeni di dissesti dei versanti, sia superficiali che profondi, verificatisi in un'ampia area dei monti dell'Appennino dauno, ha reso necessario un presidio continuo e aggiornato del territorio mirato allo studio della pericolosità per franosità e al monitoraggio delle frane in evoluzione. Queste infatti costituiscono, potenzialmente, uno dei principali fattori di rischio per gli abitati e per le infrastrutture che insistono su questa porzione del territorio pugliese.

Le azioni di controllo e monitoraggio del territorio si devono sviluppare con continuità principalmente attraverso attività di monitoraggio, finalizzate alla misurazione e all'analisi degli elementi che contribuiscono all'evoluzione dei fenomeni franosi, quali: registrazione delle precipitazioni (con misure pluviometriche); misurazione dell'oscillazione delle acque sotterranee (con misure del livello piezometrico); stima degli spostamenti superficiali del terreno (con rilievi topografici); registrazione degli spostamenti profondi dei versanti (con letture inclinometriche). La raccolta sistematica di tali informazioni permette di ottenere informazioni sulla distribuzione e sullo stato di attività dei movimenti franosi, di approfondire le conoscenze sull'evoluzione dei dissesti e sui fattori predisponenti e quelli scatenanti.

La recente riattivazione di corpi di frana in aree non urbanizzate ha evidenziato come il dissesto in atto lungo i versanti della daunia sia un fenomeno imprevedibile e complesso che potrebbe manifestarsi anche in quelle aree in cui le evidenze di superficie non sembrano mostrare segni di attività in corso.

Nel presente studio sono illustrati i risultati di tre casi studio emblematici di riattivazione di frane ubicate lungo il fronte esterno dell'Appennino dauno nei comuni di Alberona, Volturino e Celle di San Vito. Tali frane negli ultimi 15-20 anni hanno ripreso la loro attività che è ri-

sultata in una sensibile variazione morfologica dei luoghi.

A tal fine, la segreteria tecnica operativa dell'Autorità di Bacino, nell'ambito delle attività previste dall'Azione 2.3.6, Linea di Intervento 2.3, del Programma Pluriennale di Attuazione dell'Asse II del P.O. FESR Puglia 2007-2013, ha avviato uno studio sull'evoluzione multitemporale delle frane in esame, basata sull'interpretazione di foto aeree di differenti anni, focalizzando l'attenzione sull'evoluzione superficiale dei dissesti a partire dalla seconda metà degli anni novanta fino al 2013. L'obiettivo dello studio è stato quello di determinare i caratteri evolutivi della franosità nei tre casi studio in esame attraverso la redazione di altrettante mappe di attività delle frane ottenute dalla comparazione di mappe di inventario realizzate per le diverse annate considerate. Le mappe di inventario delle frane sono state ottenute incrociando dati geologici e geomorfologici di letteratura con informazioni inedite provenienti dall'interpretazione fotogeologica di foto aeree di diverse levate e rilievi sul campo. In particolare, il materiale analizzato per ricostruire l'evoluzione temporale delle frane è costituito da: Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000 - F° 163 "Lucera" (Jacobacci *et al.*, 1967) e F° 174 "Ariano Irpino" (Jacobacci & Martelli, 1967); Progetto CARG Puglia alla scala 1: 50.000 - F° 407 "San Bartolomeo in Galdo" (Pieri *et al.*, 2011) e Carta della Pericolosità per Franosità del F° 407 "San Bartolomeo in Galdo" (Ciaranfi *et al.*, 2011); Progetto IFFI - <http://www.progettoiffi.isprambiente.it/cartanetiffi/carto3.asp?cat=40&lang=IT> (Pennetta, 2007); WebGis del PAI (http://adb.puglia.dyndns.org/gis/map_default.phtml); WebGis delle aree soggette a fenomeni d'instabilità (http://adb.puglia.dyndns.org/POR/map_default.phtml); Ortofoto della Regione Puglia del 2006, 2010, 2011, e 2013 (fonte SIT Puglia: <http://sit.puglia.it>); Ortofoto del 1988-1989, 1994-1998 e 2000 (fonte Geoportale Nazionale Ministero dell'Ambiente <http://www.pcn.minambiente.it/GN/>); foto aeree stereoscopiche dell'Istituto Geografico Militare (levata del 2003, scala 1: 33.000); Modello digitale del terreno (risoluzione 1 m) fornito all'AdBP dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) (levata del 2012); Modello digitale del terreno (risoluzione 8 m) della Regione Puglia (fonte SIT Puglia, levata del 2006); rilievi geologici e geomorfologici inediti sul campo (scala 1: 10.000).

Le cartografie sono state georeferenziate nel sistema UTM WGS 84 fuso 33 e analizzate congiuntamente in

ambiente GIS. Il punto di partenza è stato quello di sovrapporre il DTM del MATTM sull'ortofoto del 2013, in maniera da ottenere un modello 3D della superficie topografica di grande dettaglio su cui editare i principali elementi geomorfologici del territorio. Le informazioni sono state successivamente integrate con i dati raccolti durante il rilevamento sul terreno, in maniera da avere una carta d'inventario della franosità (scala 1: 10.000), per ogni caso studio analizzato, che fosse la più rappresentativa possibile della situazione recente delle aree in frana. Successivamente si è passati ad analizzare la situazione storica, in modo da realizzare delle mappe di attività delle frane costituite dalla comparazione di quattro distinte carte d'inventario relative ad altrettante annate.

Il fenomeno franoso è stato descritto seguendo le indicazioni delle Commissioni Internazionali dell'IAEG (1990) e del Working Party on World Landslide Inventory (WP/WLI, 1993) e di altre pubblicazioni sull'argomento (Varnes, 1978; Cruden & Varnes, 1996; Hungr *et al.*, 2001; 2012; Cruden & Van Dine, 2013). Il rilevamento e la rappresentazione cartografica degli elementi morfologici rilevati e/o fotointerpretati sono stati realizzati secondo quanto previsto nelle Linee guida per la realizzazione di una cartografia della pericolosità geologica connessa ai fenomeni di instabilità dei versanti alla scala 1: 50.000 (Amanti *et al.*, 1992), nella Proposta di legenda geomorfologica ad indirizzo applicativo del Gruppo Nazionale di Geografia Fisica e Geomorfologia (Pellegrini *et al.*, 1993) e dai quaderni del Servizio Geologico Nazionale per la realizzazione della Carta Geomorfologica d'Italia alla scala 1: 50.000 (AA.VV. 1996; 1997).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il settore nord-occidentale della Regione Puglia com-

prende la zona di transizione tra l'Appennino dauno e il Tavoliere di Puglia estendendosi su domini geologico-strutturali appartenenti al sistema di *foreland thrust belt* dell'Appennino meridionale (Mostardini & Merlini, 1986; Casero *et al.*, 1988; Patacca *et al.*, 1990; Pescatore *et al.*, 1999; Patacca & Scandone, 2007). Tale sistema da O verso E è costituito da tre distinti domini strutturali: la Catena appenninica, la Fossa bradanica e l'Avampaese apulo (Fig. 1).

Nell'area in esame, il settore di catena comprende i rilievi più esterni dell'Appennino dauno costituiti unicamente dalle formazioni dell'Unità Tettonica della Daunia (Dazzaro & Rapisardi, 1984; 1987; 1996; Dazzaro *et al.*, 1988; Ciaranfi *et al.*, 2011; Pieri *et al.*, 2011) (Fig. 2): il *Flysch Rosso* (Cretacico-Burdigaliano inferiore), il *flysch di Faeto* (Langhiano-Serravalliano) e le marne argillose del Toppo Capuana (Tortoniano superiore-Messiniano inferiore). Il *Flysch Rosso* è composto nella porzione inferiore da una fitta alternanza di straterelli di argilliti di colore variabile dal verde al rossastro a cui si intercalano livelli nerastri di argille bituminose associate a diaspri di colore giallo. Nella parte alta si distinguono argilliti rosse scagliettate a cui si intercalano calcareniti e calcilutiti biancastre passanti verso la sommità ad argille bentonitiche e a livelli di calcareniti giallastre con liste e noduli di selce. Lo spessore complessivo è valutato nell'ordine dei 300 m. Il *flysch di Faeto* è costituito da strati e banchi di calcareniti, calciruditi, calcilutiti, marne calcaree ed argille marnose; lo spessore massimo stimato è di 500 m. Il *flysch di Faeto* poggia in contatto stratigrafico concordante sul *Flysch Rosso* e verso l'alto passa con contatto stratigrafico per alternanza alle marne del Toppo Capuana. Le marne del Toppo Capuana rappresentano l'unità stratigrafica più recente dell'Unità Tettonica della Daunia

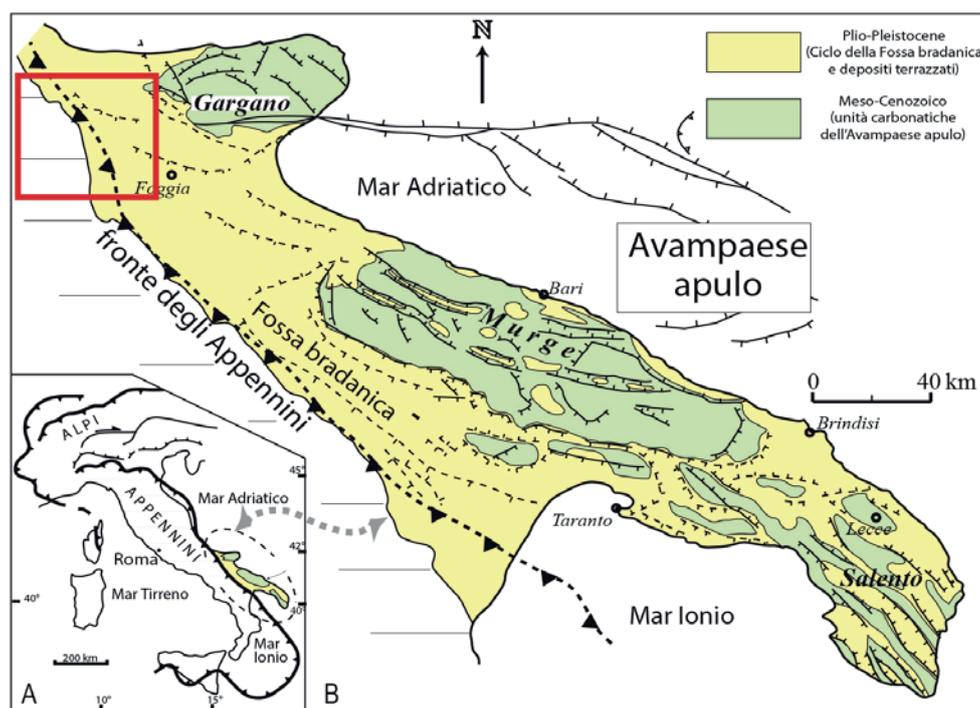


Figura 1 - Carta geologico-strutturale di sintesi della Regione Puglia (Pieri *et al.*, 1997). Nel quadrato rosso è ubicata l'area rappresentata in fig. 2.

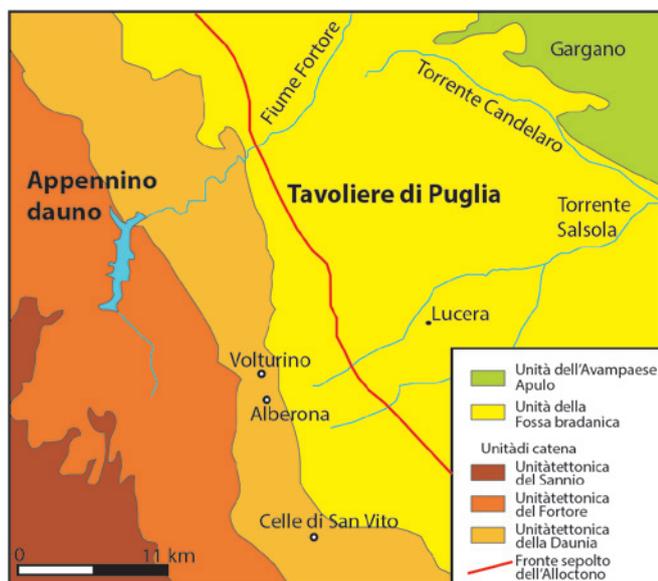


Figura 2 - Schema di inquadramento geologico alla scala 1: 550.000 (ridisegnato dal F° 407 "San Bartolomeo in Galdo" del Progetto CARG alla scala 1: 50.000).

ed è costituita da banchi di marne ed argille marnose grigio-scure a cui si intercalano rari e sottili strati di areniti a granulometria fine. Lo spessore massimo non supera i 200 m. Su tutte le formazioni dell'Unità tettonica della Daunia poggiano in discontinuità depositi sabbioso-conglomeratici, spessi poche decine di metri, appartenenti alla formazione delle calciruditi e arenarie di Pietra Montecorvino (Pliocene medio).

Il settore di avanfossa del Tavoliere di Puglia è invece costituito da una potente successione (circa 500 m) di marne argillose, argille siltose e argille grigio-azzurre a stratificazione indistinta, con lenti sabbiose, appartenenti alle argille subappennine (Pliocene medio-Pleistocene inferiore). Sulle argille subappennine poggiano in discordanza numerose unità a limiti inconformi raggruppate nel Supersintema del Tavoliere di Puglia (Pleistocene medio-superiore). Si tratta di depositi continentali, spessi circa 8-10 m, costituiti da ghiaie poligeniche ed eterometriche con intercalazioni lenticolari di sabbie ghiaiose (Spalluto & Moretti, 2006; Moretti *et al.*, 2010; Ciaranfi *et al.*, 2011; Pieri *et al.*, 2011; Gallicchio *et al.*, 2014)

Dal punto di vista strutturale l'Unità Tettonica della Daunia è sovrapposta tettonicamente all'Unità della Fossa bradanica attraverso un sovrascorrimento immergente verso O, con direzione del trasporto tettonico verso E (Dazzaro & Rapisardi, 1987). Questa struttura rappresenta l'elemento compressivo affiorante più esterno dell'Appennino, il cui fronte sepolto giace al di sotto dei terreni della Fossa bradanica (Sella *et al.*, 1988). Il quadro tettonico del settore esterno dell'Appennino dauno è inoltre costituito da faglie a componente sia trascorrente che distensiva, che si sviluppano principalmente in direzione NE-SO. L'Unità tettonica della Daunia presenta inoltre uno stile deformativo caratterizzato da pieghe per propagazione di faglia e da sovrascorrimenti che hanno

subito un trasferimento lungo faglie trascorrenti sub-verticali con direzione NE-SO (Pieri *et al.*, 2011). La presenza di uno stile deformativo complesso è indice di una profonda deformazione delle unità di catena affioranti; queste, infatti, si presentano sovente intensamente fratturate e scompagnate in corrispondenza delle aree in cui affiorano le principali strutture tettoniche.

3. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI GENERALI

Dal punto di vista morfologico l'area in esame presenta un settore occidentale, corrispondente ai settori più esterni dell'Appennino dauno e costituito da una serie di dorsali asimmetriche subparallele orientate NNO-SSE, e un settore orientale, corrispondente ai settori più prossimi alla catena del Tavoliere di Puglia e costituito da un paesaggio collinare. Le due aree sono separate da una scarpata di origine tettonico-erosiva che genera un dislivello di circa 250 m. Le dorsali si elevano fino a superare la quota di 1000 m, presentano versanti asimmetrici e sono il prodotto dell'attività tettonica più recente che ha strutturato questo settore dell'Appennino. L'area in esame è inoltre caratterizzata dalla presenza di un reticolo idrografico con corsi d'acqua a regime torrentizio, defluenti da O verso E con profili ad alto gradiente, incassati nei depositi dell'Unità Tettonica della Daunia e con tracciati subparalleli tra loro. Analogamente alle altre forme del rilievo, anche lo sviluppo del reticolo idrografico è stato condizionato dall'evoluzione tettonica più recente dell'area in relazione all'avanzamento del sovrascorrimento più esterno dell'Appennino dauno (Ciaranfi *et al.*, 2011; Pieri *et al.*, 2011).

La franosità ravvisata nell'area in esame è fortemente condizionata dalla forma del rilievo e dalla complessa situazione geologico-strutturale delle unità più esterne della catena. Infatti, le pendenze elevate presenti lungo i fianchi delle dorsali appenniniche, associate con la pervasiva fratturazione tettonica delle successioni sedimentarie affioranti, rappresentano le principali cause dell'instabilità locale dei versanti. L'evoluzione dei corsi d'acqua invece sembra aver svolto un ruolo del tutto secondaria nella modellazione dei versanti limitandosi all'azione di rimodellamento dei settori pedemontani delle frane (Ciaranfi *et al.*, 2011). I fenomeni più imponenti si sviluppano in corrispondenza delle aree di affioramento del Flysch Rosso. Ciò è dovuto alla composizione prevalentemente argillosa di questa unità, dalla maggiore energia del rilievo e dall'intensa tettonizzazione degli strati. In corrispondenza del contatto stratigrafico tra Flysch Rosso e flysch di Faeto, l'elevata franosità del Flysch Rosso, che affiora con continuità nella parte medio bassa del settore di catena, ha coinvolto nel dissesto gli strati fratturati del sovrastante flysch di Faeto (Ciaranfi *et al.*, 2011; Parise *et al.*, 2012). Nel complesso, le frane individuate nell'area in esame sono principalmente di due tipi: le colate di terra e le colate complesse (Ciaranfi *et al.*, 2011; Parise *et al.*, 2012). Le prime riguardano esclusivamente i terreni argillosi del Flysch Rosso e danno origine a delle colate che

tendono a incanalarsi in valli strette e allungate terminando al piede con un lobo che si espande in aree subpianeggianti delimitato, lungo i lati, da dei solchi di erosione. Le colate possiedono un movimento da lento a molto lento e proseguono il loro percorso fino alla quota di base in cui l'energia potenziale può considerarsi esaurita. La seconda tipologia è quella delle frane complesse che si formano al contatto tra due litotipi aventi differente competenza. Tali frane mostrano un movimento composito: rotazionale in corrispondenza del litotipo più competente (flysch di Faeto); colamento nel litotipo meno competente (Flysch Rosso). Le frane complesse possono raggiungere estensioni di alcuni chilometri e si rinvengono al fronte dell'alloc-tono fino a raggiungere i settori più prossimali del settore di avanfossa.

4. CASI STUDIO

Le frane oggetto del presente studio sono localizzate nei seguenti territori: Alberona (località Lama Giantomaso), Volturino (località Buzzarone) e Celle di San Vito (località Lama Lumelle).

4.1 Frana di Lama Giantomaso (Comune di Alberona)

L'area in cui è localizzata la frana di Lama Giantomaso nel Comune di Alberona è caratterizzata dalla presenza

in affioramento di argilliti scagliettate del Flysch Rosso che passano verso l'alto a strati di calcari intensamente fratturati e alterati del flysch di Faeto (Fig. 3). Il contatto stratigrafico è concordante e la giacitura degli strati è a reggipoggio.

L'analisi geomorfologica tridimensionale del corpo di frana, ottenuta sovrapponendo l'ortofoto georeferenziata del 2013 e il F° 407 "San Bartolomeo in Galdo" (realizzato nel 2002, scala 1: 50.000) sul DTM del MATTM, ha permesso di fare le seguenti considerazioni (Fig. 4): i) la frana di Lama Giantomaso è una frana complessa che si estende su una superficie di 0,591 km², è lunga oltre 2,5 km, e termina al piede con un lobo lungo oltre 600 m e ampio circa 420 m; ii) non tutto il tratto perimetrato della frana presenta indizi superficiali di un'evoluzione in atto ed è suddivisibile in aree in cui è possibile riscontrare morfologie indicative di attività e di aree quiescenti; iii) la parte apicale della frana è attiva ed è sviluppata interamente nei calcari fratturati e alterati del flysch di Faeto, presenta più aree sorgenti delimitate da scarpate lateralmente discontinue ed è caratterizzata da una diffusa erosione areale. A causa della maggiore competenza dei calcari di questa formazione, la frana di Lama Giantomaso mostra in questo settore un movimento roto-traslattivo che ha portato a giorno, lungo le scarpate, gli strati

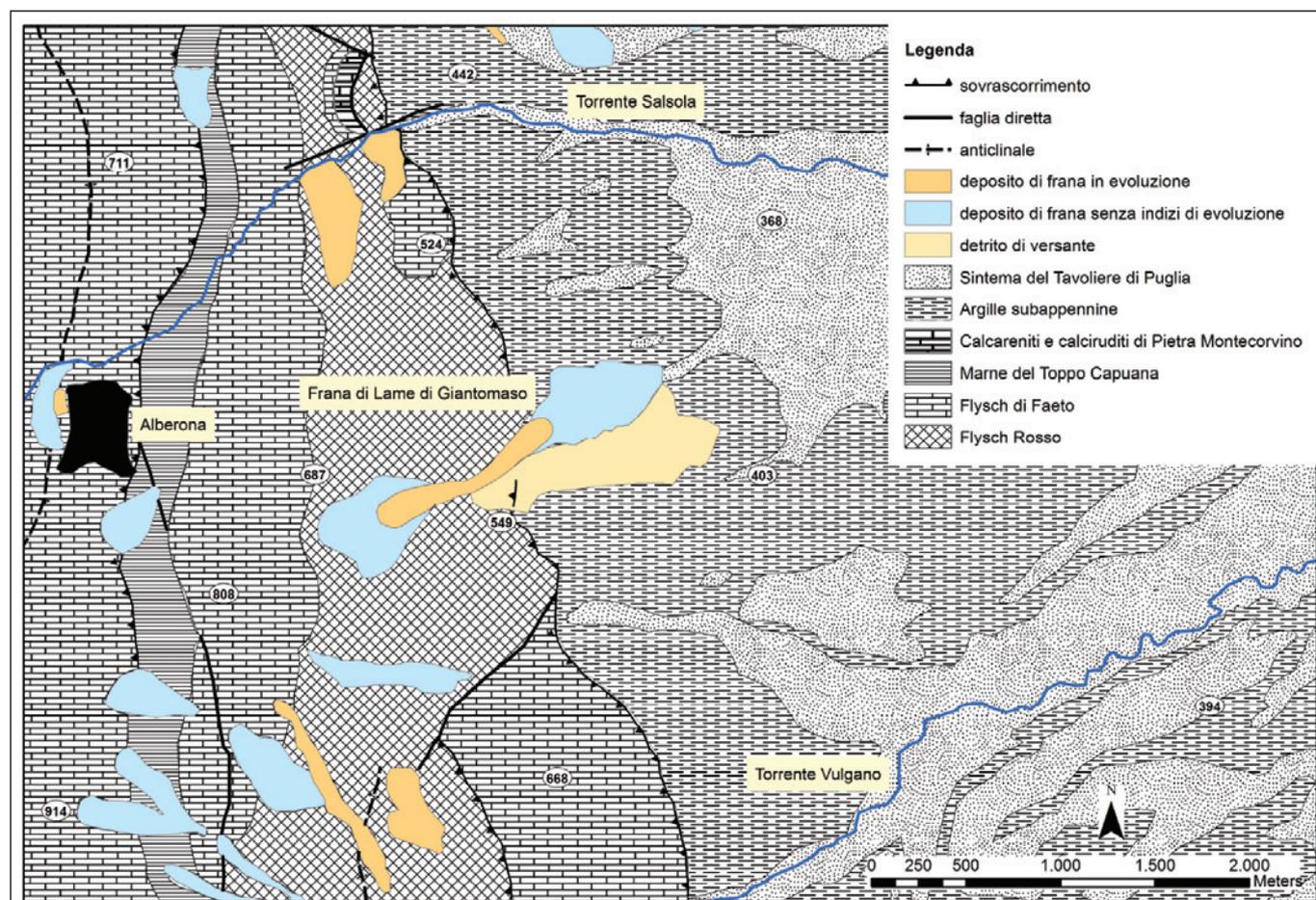


Figura 3 - Carta geologica dell'area di Alberona (modificata e ridisegnata dal F° 407 "San Bartolomeo in Galdo" del Progetto CARG alla scala 1: 50.000).

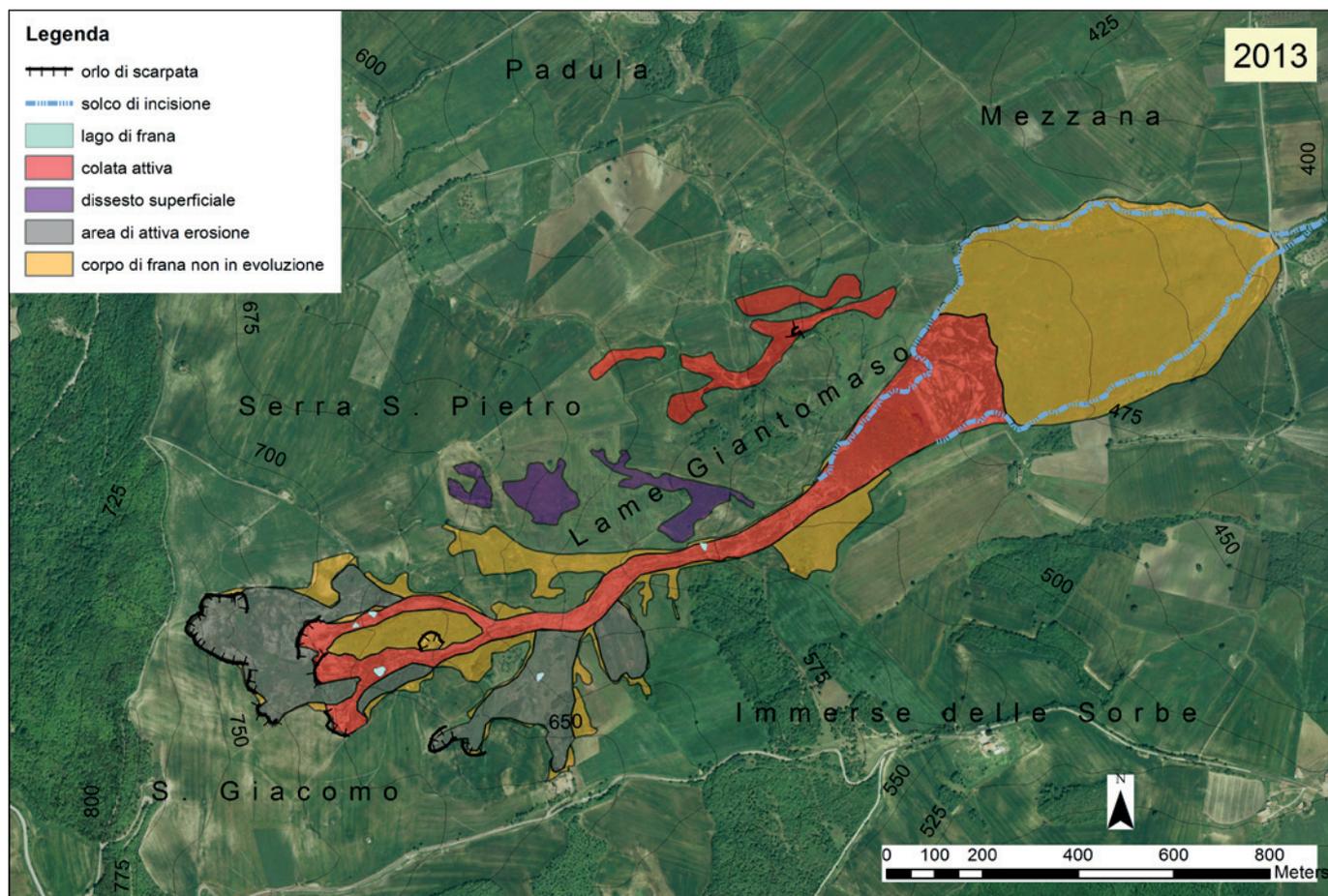


Figura 4 - Mappa inventario della frana di Lama Giantomaso su ortofoto del 2013.

intensamente tettonizzati e alterati del flysch di Faeto; iv) gran parte del corpo di frana si sviluppa interamente nelle argilliti del Flysch Rosso, presenta le caratteristiche di una colata di terra costituita da materiale molto eterogeneo a granulometria prevalentemente fine e scorre su un versante con pendenza media di $12,8^\circ$; v) la colata attiva presenta due distinte aree di alimentazione ed è delimitata a monte da altrettante nicchie, si sviluppa per una lunghezza di circa 1,7 km, scorre in un canale ampio circa 72 m, bordato su entrambi i lati da superfici di taglio che delimitano il materiale in movimento, e termina al piede con un lobo, lungo circa 470 m e ampio circa 250 m.

L'analisi multitemporale ha evidenziato come la frana di Lama Giantomaso sia una frana composta formatasi per riattivazione di un corpo di frana pre-esistente, cartografato nel F° 163 "Lucera" della Carta Geologica d'Italia (realizzato nel 1963, scala 1: 100.000). La frana è presente negli archivi ufficiali della Provincia di Foggia, nella cartografia geologica e geomorfologica ufficiale ed è cartografata come area a pericolosità geomorfologica molto elevata (PG3) nel PAI dell'AdBP.

L'analisi multitemporale svolta nel presente studio (Fig. 5) ha evidenziato che, nella seconda metà degli anni '90, la frana di Lama Giantomaso non presenta indizi di evoluzione; i limiti del corpo di frana quiescente sono appena percepibili, a causa anche delle modificazioni

morfologiche prodotte dall'uso del suolo per finalità agricole. A partire dal 2000 iniziano ad essere visibili segni di attività con lo sviluppo di alcune piccole colate nel tratto più a monte della frana. Inoltre, il coronamento della frana subisce un arretramento per erosione regressiva quantificabile in circa 200 verso O, sebbene non siano ancora visibili delle scarpate lungo i fianchi delle nicchie di neoformazione (orlo di scarpata incipiente) (Fig. 5A). L'evoluzione della frana continua negli anni successivi e nel 2006 raggiunge una configurazione simile all'attuale. Nel tratto a monte, in seguito al movimento roto-traslazionale del corpo di frana, si formano scarpate ripide con dislivelli quantificabili da alcuni metri fino a un massimo di circa 15-20. Le colate, che in precedenza erano piccole e isolate, tendono a confluire in un unico canale delimitato da nette superfici di scorrimento; inoltre, alcune delle colate attive nel 2000 sembrano non mostrare più evidenze di un'evoluzione in atto. Lungo il versante esposto a S (sinistra orografica), in corrispondenza delle aree di affioramento delle argilliti del Flysch Rosso, sono evidenti i segni di un dissesto superficiale che ha interessato la porzione più superficiale del terreno "soil creeping". Il piede della frana è attraversato da alcuni canali di erosione lineare attiva, non visibili nell'ortofoto del 2000, la cui formazione è da imputare alle variazioni morfologiche indotte dall'avanzamento della colata attiva al piede della

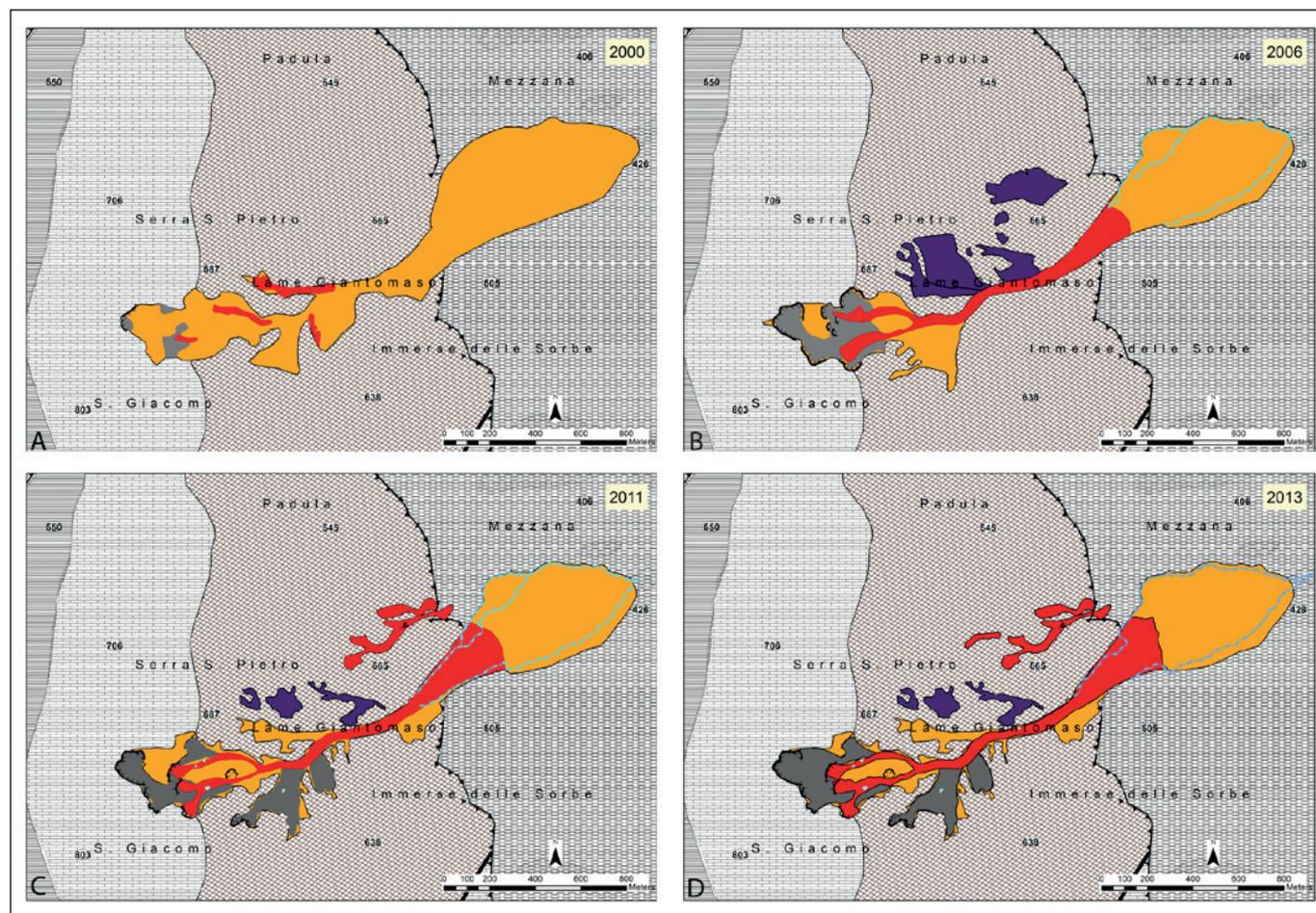


Figura 5 - Mappa di attività della frana di Lama Giantomaso ottenuta dal confronto delle mappe inventario realizzate per il 2000 (fig. 5A), 2006 (fig. 5B), 2011 (fig. 5C) e 2013 (fig. 5D). Legenda nelle figure 3 e 4.

frana (Fig. 5B).. Tra il 2006 e il 2011 la colata principale avanza al piede di circa 160 m; la zona a monte invece non mostra variazioni significative. Infatti, sono visibili solo alcuni lievi ampliamenti delle nicchie di distacco mentre, di contro, aumenta l'area in cui si osserva un'attiva erosione areale e si nota la formazione di alcuni laghi effimeri nel tratto prossimale delle colate attive. Inoltre, i canali di erosione al piede della frana cambiano la loro configurazione sul corpo di frana rispetto al 2006. Lungo il versante a N della frana, nel tratto di versante esposto a E, si osservano due colate di neoformazione (Fig. 5C). Nel 2013 il fronte della colata è avanzato di circa 60 m rispetto al 2011; la zona a monte non ha subito variazioni significative perché il coronamento è rimasto invariato rispetto al 2006 e al 2011. Variazioni minori sono anche osservabili nella distribuzione dei laghi effimeri sulla colata in movimento e, al piede della frana, nella configurazione dei canali di erosione attiva (Fig. 5D).

Il rilevamento sul campo (Ottobre 2015) ha evidenziato che la frana di Lama Giantomaso mostra una configurazione simile a quella illustrata nella mappa inventario del 2013 (Fig. 6). Tuttavia, restano molto evidenti i segni superficiali di un'attività in corso com'è dimostrato dalla presenza di aree di attiva erosione in corrispondenza delle

aree di nicchia che passano verso valle a una colata su cui è possibile osservare alcuni laghetti (Fig. 5D).

4.2 Frana di Buzzarone (Comune di Volturino)

Il settore occidentale dell'area in cui è ubicata la frana di Buzzarone nel Comune di Volturino è caratterizzata in affioramento dalla presenza delle formazioni dell'Unità tettonica della Daunia; il settore orientale comprende le aree più prossimali del Tavoliere di Puglia dove affiorano le unità della Fossa bradanica (Pieri *et al.*, 2011) (Fig. 7). In particolare, nel settore occidentale, dal basso verso l'alto, si riconoscono le argilliti del Flysch Rosso che passano in continuità di sedimentazione alle sequenze calcaree e marnose del flysch di Faeto e alle marne argillose del Toppo Capuana. Tutte le formazioni sono concordanti e presentano un assetto a reggipoggio. Gran parte del corpo di frana si sviluppa sulle formazioni dell'Unità tettonica della Daunia mentre, verso NE, il piede della frana raggiunge il settore più prossimale del Tavoliere di Puglia e si sviluppa sulle argille marnose della formazione delle argille subappennine.

L'analisi geomorfologica tridimensionale del corpo di frana ottenuta sovrapponendo l'ortofoto georeferenziata del 2013 e il F° 407 "San Bartolomeo in Galdo" sul DTM



Figura 6 - Foto panoramica dal piede della frana di Lama Giantomaso (Ottobre 2015).

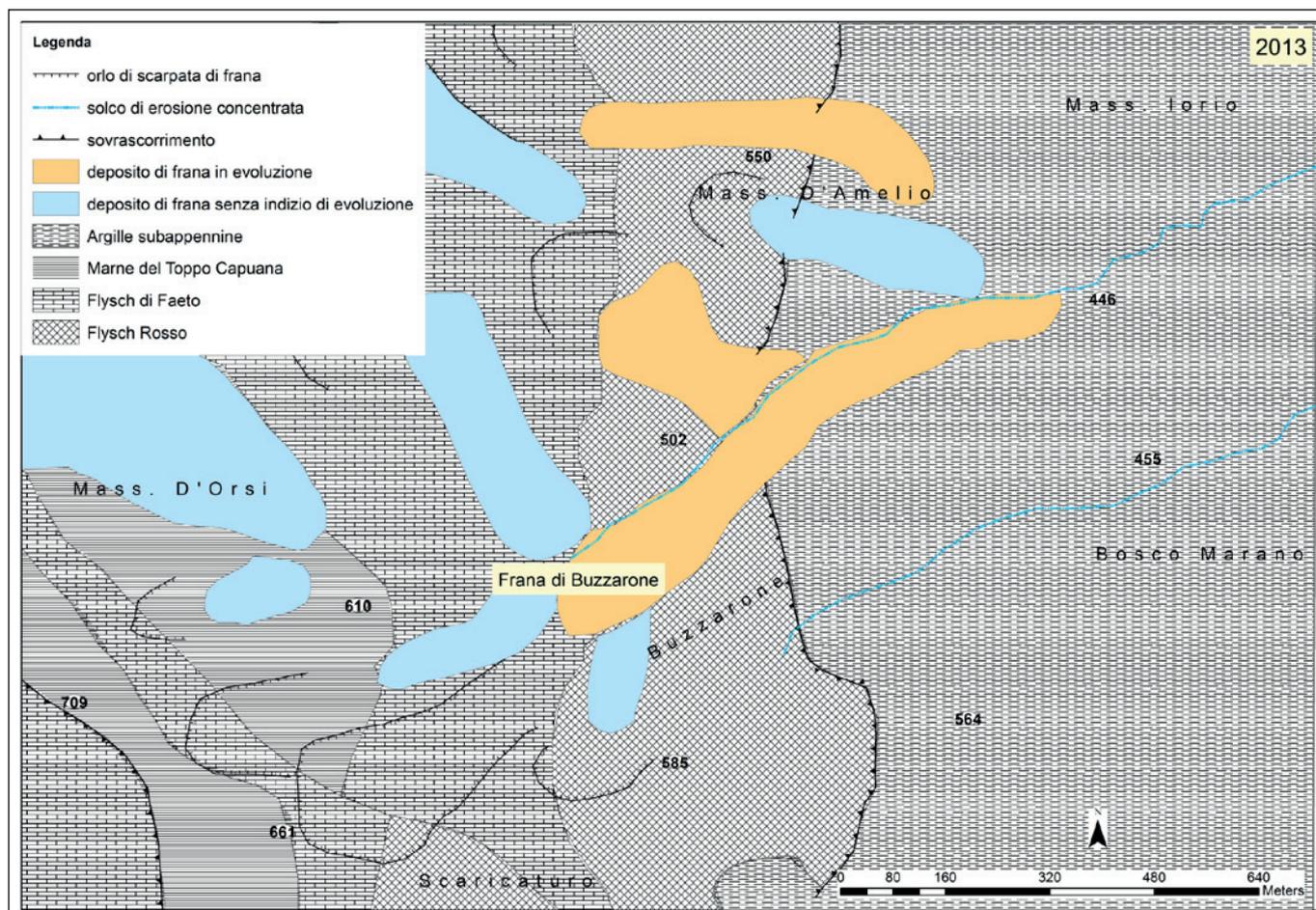


Figura 7 - Carta geologica dell'area di Volturino (modificato e ridisegnato dal F° 407 "San Bartolomeo in Galdo" del Progetto CARG alla scala 1: 50.000).

del MATTM (Fig. 8) ha permesso di fare le seguenti considerazioni: i) gran parte del corpo di frana si sviluppa nelle argilliti del Flysch Rosso ed è classificabile come una colata di terra, costituita da materiale eterogeneo a prevalente composizione fine, che scorre su un versante con inclinazione media di 13,5°; ii) nel complesso l'intero corpo di frana ha una forma stretta e allungata, si estende su una superficie di 0,189 km², è lunga circa 1,49 km, ed è suddivisibile in aree in evoluzione e aree quiescenti; iii) il coronamento della frana interseca il tracciato dell'ex SP 135 che, localmente, mostra evidenti segni di dissesto; iv) la porzione della frana in cui sono visibili indizi di un'evoluzione in atto è quella a monte, quivi si riconosce una colata attiva, alimentata da un'unica area sorgente delimitata a monte da una scarpata di frana di neoformazione, sviluppatasi in gran parte sul corpo di frana pre-esistente; v) la colata in evoluzione è lunga circa 778 m e termina con un lobo lungo circa 230 m e ampio circa 147 m.

L'analisi multitemporale ha evidenziato come l'attuale estensione della frana di Buzzarone sia il risultato della parziale riattivazione di un corpo di frana pre-esistente, già cartografato, con un'estensione simile all'attuale, nel F° 163 "Lucera" della Carta Geologica d'Italia (scala 1: 100.000). Studi più recenti condotti per la redazione del F° 407 "San Bartolomeo in Galdo" della Carta Geologi-

ca d'Italia (Pieri et al. 2011) e per la Carta della Pericolosità per Franosità del medesimo foglio (Ciaranfi et al., 2011) (entrambi aggiornati al 2002 alla scala 1: 50.000 per il Progetto CARG), considerano la frana di Buzzarone come attiva. La frana di Buzzarone compare inoltre negli archivi ufficiali della Provincia di Foggia ed è perimetrata come area a pericolosità geomorfologica molto elevata (PG3) nel PAI dell'AdBP.

L'analisi multitemporale della frana di Buzzarone condotta nel presente studio (Fig. 9) ha evidenziato che, fino al 2000, il corpo di frana, pur presentando un'estensione areale simile all'attuale, non presenta indizi di evoluzione (Fig. 9A). La parziale riattivazione è visibile a partire dal 2006 quando, nel settore più a monte della frana, si forma una scarpata di neo-formazione, solo parzialmente connessa alla riattivazione della nicchia pre-esistente. La scarpata sottende un'area in cui è evidente la roto-traslazione verso NE delle marne argillose del Toppo Capuana e dei calcari del flysch di Faeto. A causa del dissesto, la viabilità poderali che attraversava il corpo di frana, ben visibile nell'ortofoto del 2000, è stata cancellata. Inoltre, lungo il versante in sinistra idrografica, nel tratto in cui affiora il Flysch Rosso, sono evidenti i segni di un dissesto superficiale che ha interessato la porzione più superficiale del suolo (Fig. 9B). Tra il 2006 e il 2011 la scarpata

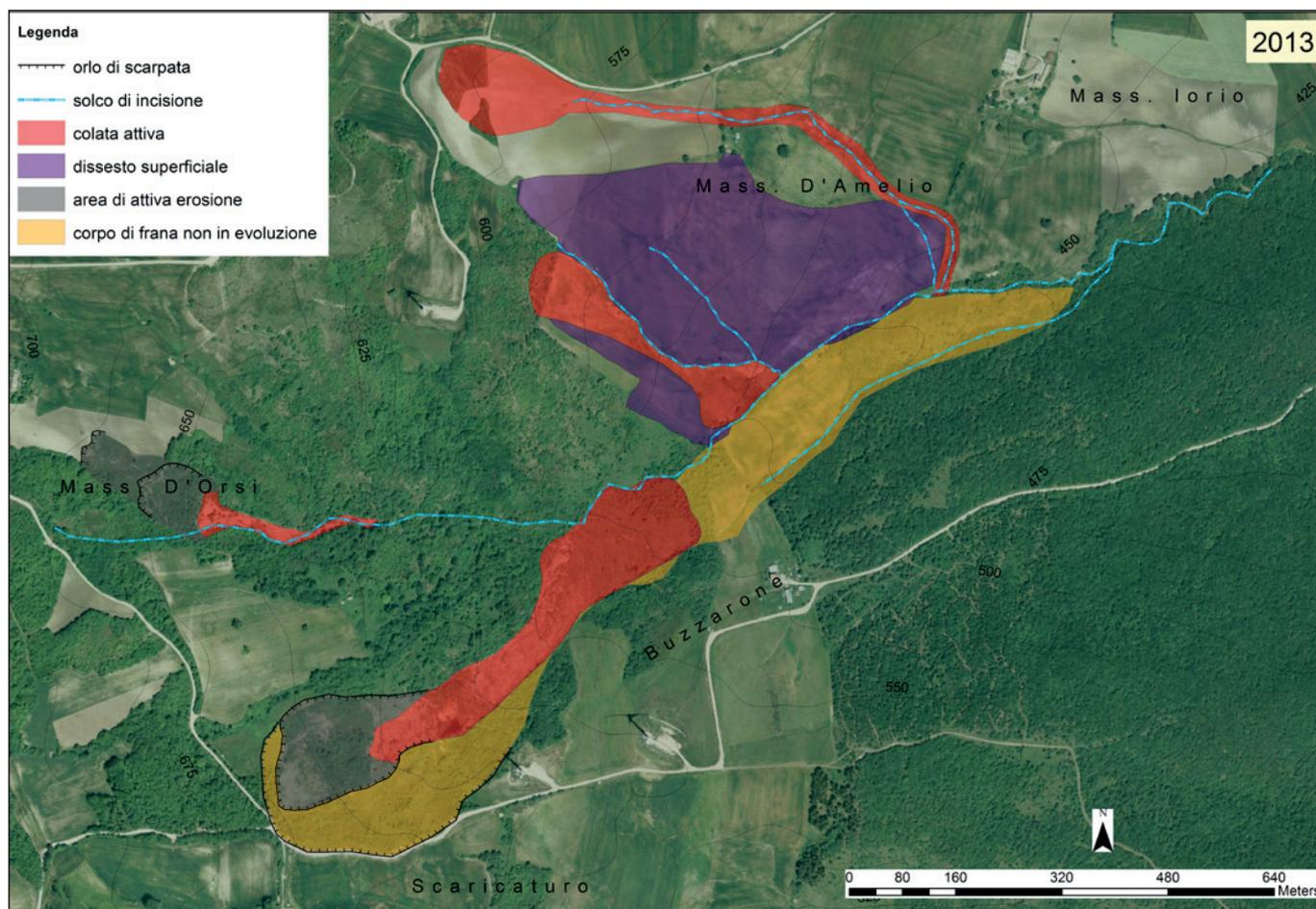


Figura 8 - Mappa inventario della frana di Buzzarone del 2013.

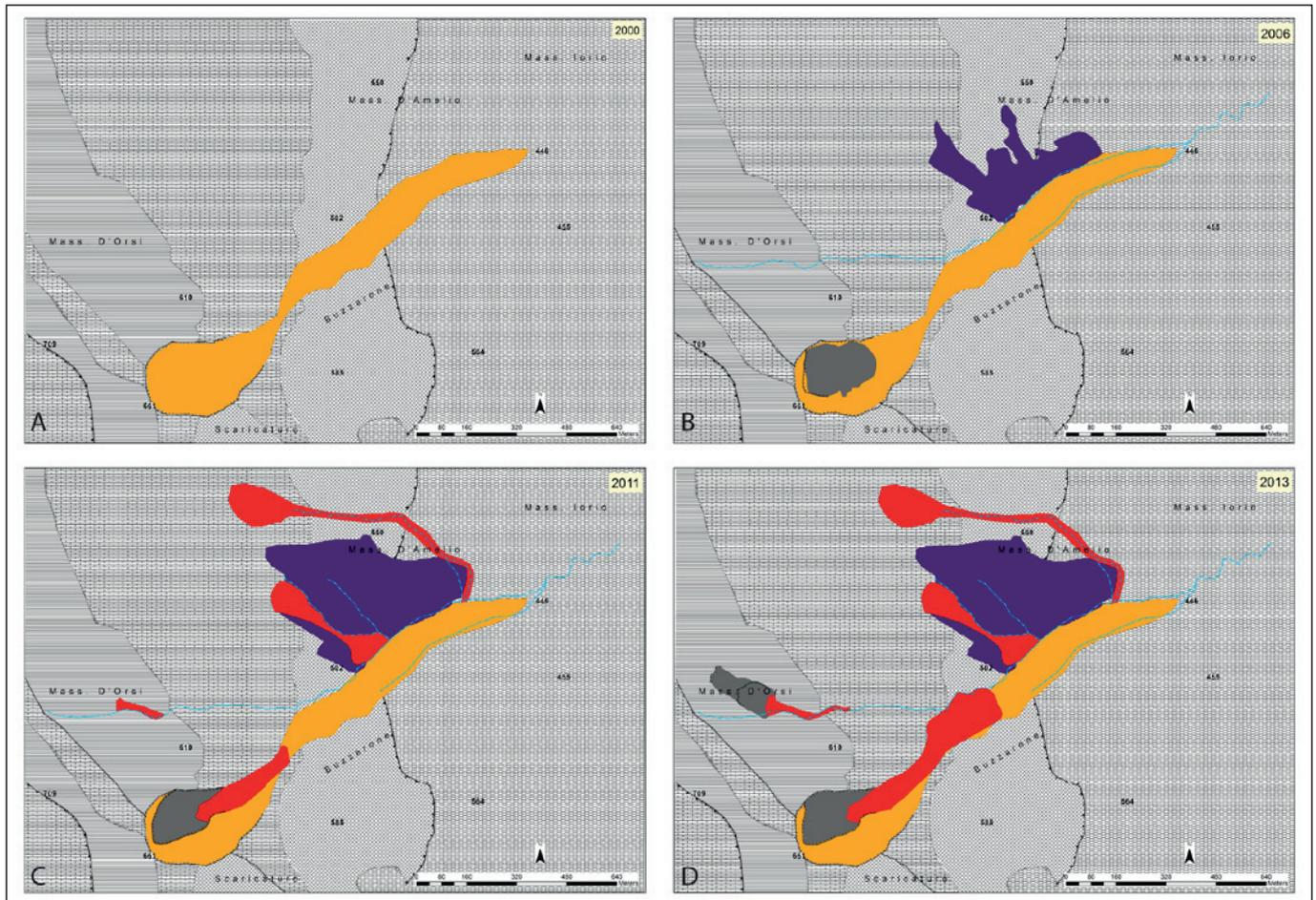


Figura 9 - Mappa di attività della frana di Buzzarone ottenuta dal confronto delle mappe inventario realizzate per il 2000 (fig. 9A), 2006 (fig. 9B), 2011 (fig. 9C) e 2013 (fig. 9D).



Figura 10 - Foto della scarpata che delimita a monte la frana di Buzzarone (Ottobre 2015).

di frana di neoformazione è arretrata di circa 15-20 m verso SO; verso valle invece, si forma una colata di terra che tende a incanalarsi seguendo grossomodo il tracciato del corpo di frana pre-esistente. Lungo il versante in sinistra orografica, esposto a S, si nota la formazione di alcune colate e di alcuni solchi di erosione concentrata. Tali colate hanno come livello di base il piede della porzione non in evoluzione della frana di Buzzarone, mentre i solchi confluiscono a valle nel reticolo idrografico pre-esistente. Lungo tale versante sono anche evidenti i segni di un dissesto superficiale che ha interessato la porzione più superficiale del terreno (Fig. 9C). Tra il 2011 e il 2013 la scarpata della porzione attiva della frana è arretrata di circa 20 m; il fronte della colata attiva è avanzato di circa 200 m verso NE. Anche le colate secondarie visibili sul versante in sinistra orografica della frana mostrano i segni di un'evoluzione in atto (Fig. 9D).

Il rilevamento sul campo (Ottobre 2015) ha evidenziato che la frana presenta numerosi indizi di un'attività in atto. In particolare, nel tratto a monte sono visibili numerosi alberi sradicati, fratture che segnalano un'incipiente ampliamento dell'orlo della nicchia di frana, rigonfiamenti nel corpo di frana e danneggiamenti della viabilità esistente (Fig. 10). Quest'ultima è stata realizzata negli ultimi anni, in gran parte ampliando tratturi

esistenti, per l'installazione di un campo di pale eoliche. La vicinanza di alcune pale eoliche al corpo in evoluzione della frana potrebbe potenzialmente minacciare la stabilità delle torri eoliche qualora il dissesto in atto dovesse espandersi ulteriormente. Nel tratto a valle, il piede della colata attiva è avanzato di alcune decine di metri, rispetto al limite raggiunto nel 2013, è inoltre osservabile un palo della luce piegato e lo sradicamento di arbusti e piante in conseguenza all'avanzamento di qualche metro del fronte attivo della frana negli ultimi due anni.

4.3 Frana di Lame Lumelle (Comune di Celle di San Vito)

L'area in cui è situata la frana di Lame Lumelle nel Comune di Celle di San Vito è caratterizzata in affioramento dalla presenza delle argilliti del Flysch Rosso che passano verso l'alto ai calcari del flysch di Faeto con assetto a franapoggio più inclinato del pendio. Le due formazioni sono interessate da una faglia diretta, orientata NO-SE e immergente ad alto angolo verso NE. Tale faglia attraversa l'area sorgente principale della frana giustapponendo le argilliti del Flysch Rosso agli strati calcarei intensamente fratturati ed alterati del flysch di Faeto (Fig. 11).

L'analisi geomorfologica tridimensionale del corpo di frana ottenuta sovrapponendo l'ortofoto georeferenziata del 2013 e il F° 174 "Ariano Irpino" (scala 1: 100.000)

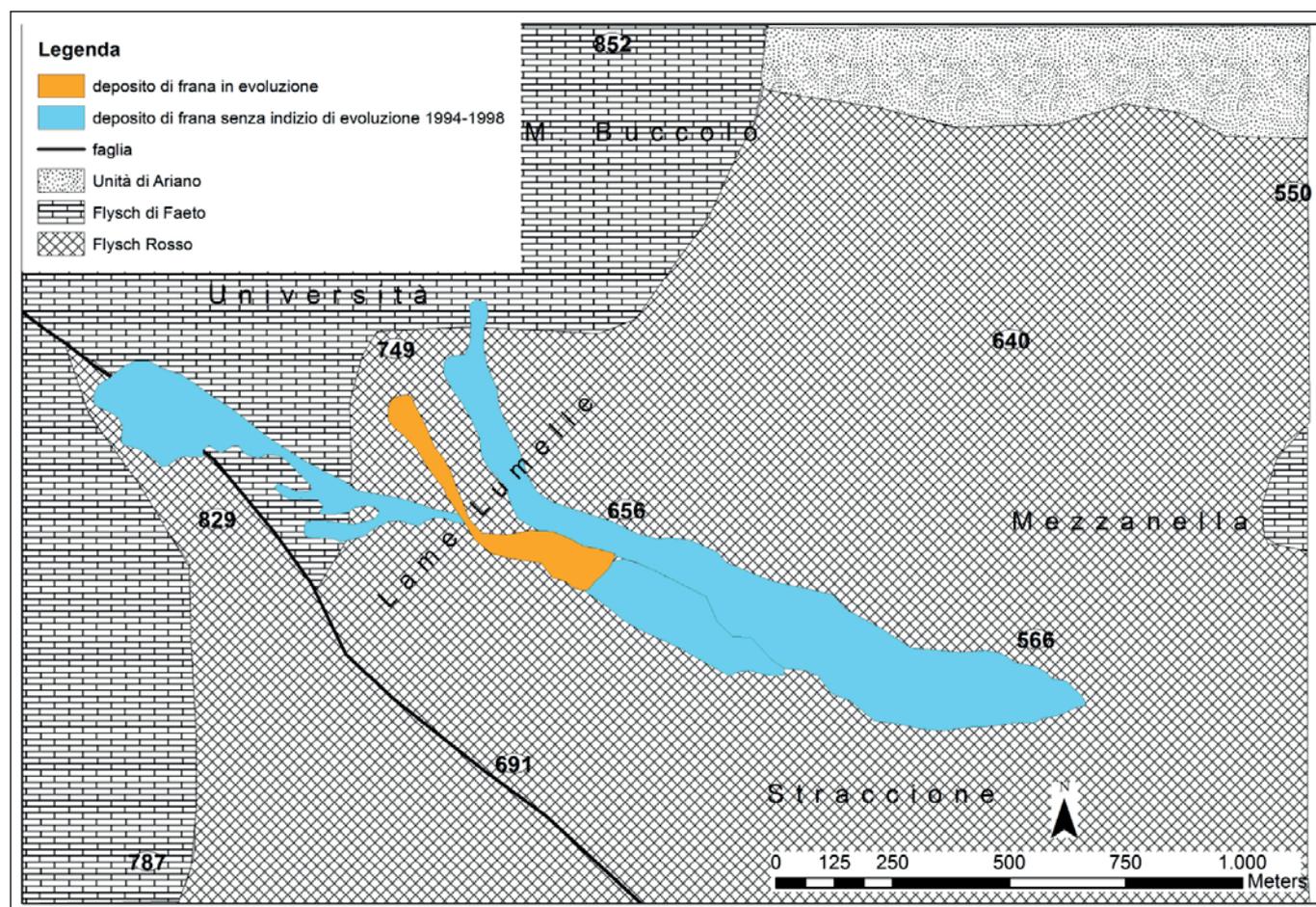


Figura 11 - Carta geologica dell'area di Celle di San Vito (modificata e ridisegnata dal F° 174 "Ariano Irpino" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000).

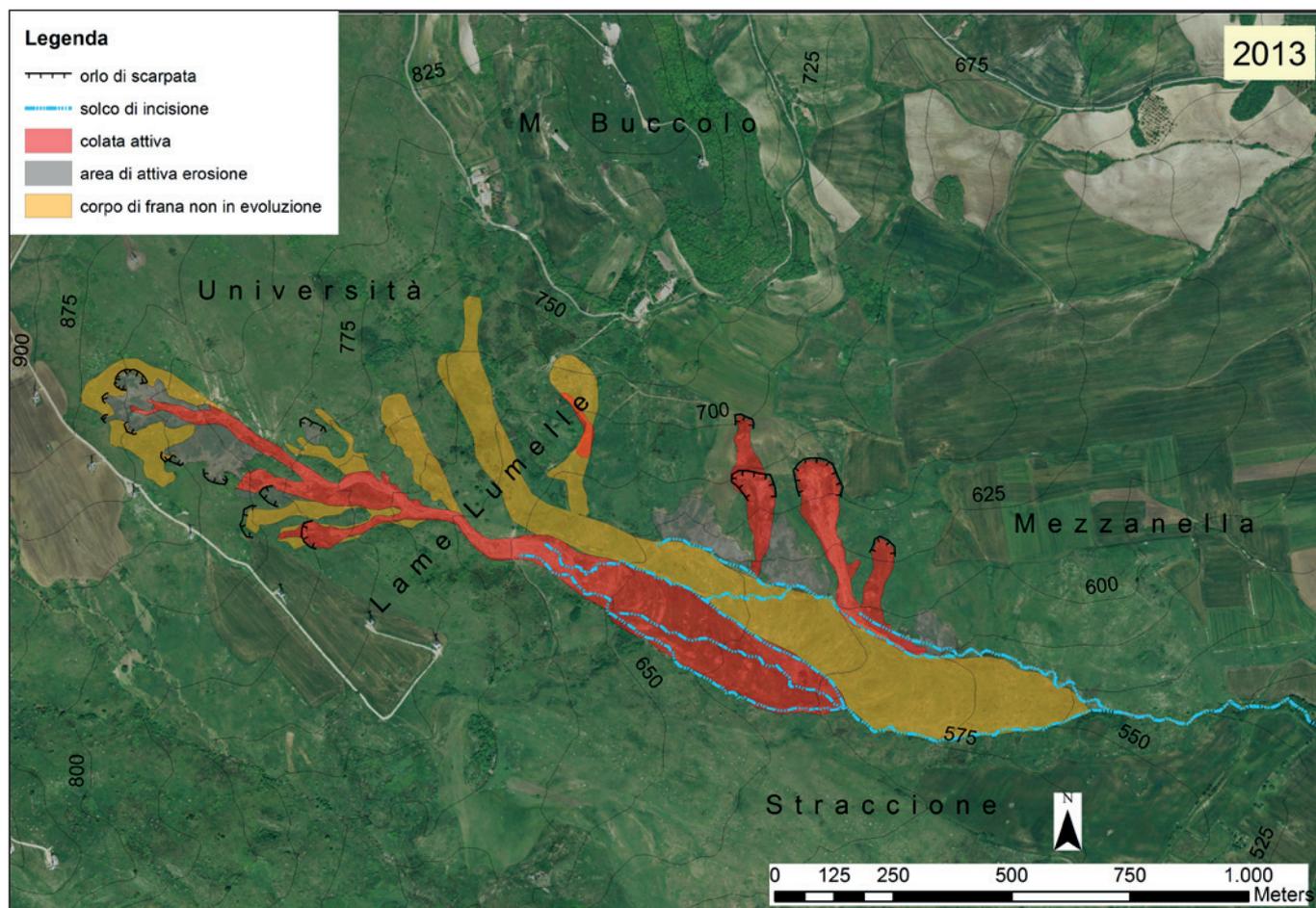


Figura 12 - Mappa inventario della frana di Lama Lumelle del 2013.

sul DTM del MATTM (Fig. 12) ha permesso di fare le seguenti considerazioni: i) nell'area in esame è possibile osservare due distinte frane che convergono nel tratto a valle coalescendo. L'unica che presenta un deposito di frana in evoluzione è quella a S, mentre quella a N appare come un corpo di frana non in evoluzione; ii) gran parte del corpo di frana in evoluzione si sviluppa nelle argilliti del Flysch Rosso ed è classificabile, alla stregua dei precedenti casi studio, come una frana complessa che evolve in una colata di terra costituita da materiale eterogeneo a prevalente composizione fine e scorre su un versante con pendenza media di 10° ; iii) il corpo di frana in evoluzione si estende su una superficie di $0,201 \text{ km}^2$, è lungo circa $1,75 \text{ km}$, presenta pi  aree sorgenti che danno origine a una colata che scorre verso valle in un canale, ampio circa 45 m , delimitato da nette superfici di scorrimento; iv) la zona apicale della frana   localizzata in corrispondenza del contatto, sia stratigrafico che tettonico, tra il Flysch Rosso ed il flysch di Faeto; v) la parte terminale della frana   costituita da un piede lungo circa 750 m e ampio circa 150 m .

L'analisi multitemporale ha evidenziato come il corpo di frana in evoluzione della frana di Lama Lumelle si sia formato per riattivazione di una frana pre-esistente, non cartografata nel F  163 "Lucera" della Carta Geologica

d'Italia (realizzato nel 1963, scala 1: 100.000). La frana   presente negli archivi ufficiali della Provincia di Foggia,   cartografata come area a pericolosit  geomorfologica molto elevata (PG3) nel PAI dell'AdBP.

L'analisi multitemporale condotta nel presente studio (Fig. 13) ha evidenziato che nella seconda met  degli anni '90 gran parte della frana era in condizioni di quiescenza, ad eccezione di una colata attiva nel settore a monte, lungo il versante in sinistra orografica (Fig. 13A). Nel 2000, l'area della frana in evoluzione si estende fino a comprendere gran parte del settore a monte assumendo i connotati di una frana complessa multi-sorgente (Fig. 13B). Nel 2006, il coronamento   arretrato di circa 80 m rispetto al 2000, mentre il piede della frana   avanzato di circa 230 m . Lungo il fronte della frana si formano dei solchi di erosione concentrata che confluiscono pi  a valle nell'affluente del Torrente Sannoro. Sul versante in sinistra orografica, in localit  Mezzanella, si notano aree su cui   presente un'attiva erosione che riguarda gli strati pi  superficiali del Flysch Rosso e alcune colate secondarie che hanno come livello di base il piede dell'antico corpo di frana (Fig. 13C). Nel 2013, il tratto a monte della frana si allarga ulteriormente fino a raggiungere la configurazione attuale; il piede avanza di oltre 400 m (Fig. 13D).

Il rilevamento sul campo (Novembre 2015) ha eviden-

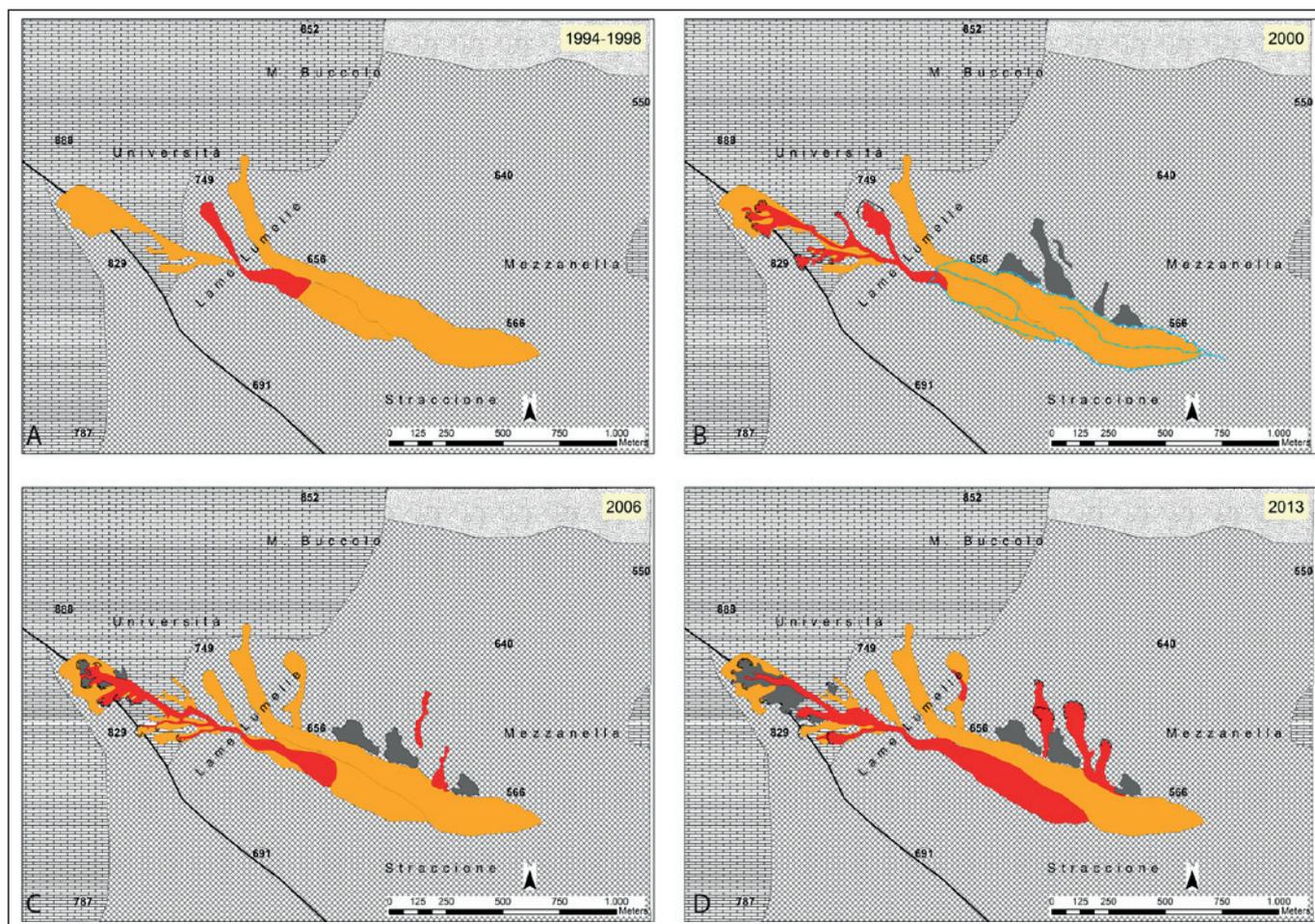


Figura 13 - Mappa di attività della frana di Lama Lumelle ottenuta dal confronto delle mappe inventario realizzate per il 1994-1998 (fig. 13A), 2000 (fig. 13 B), 2006 (fig. 13C), 2013 (fig. 13D).

ziato che la frana di Lama Lumelle presenta caratteristiche morfologiche simili a quelle illustrate per la mappa inventario del 2013. Il tratto a monte presenta infatti la stessa configurazione del 2013 (Fig. 14). Tuttavia, lungo il versante in destra orografica sono stati osservati i segni di un allargamento incipiente dell'area interessata dal dissesto; in particolare, tra le molte evidenze di superficie, sono visibili alcune fratture estensionali, nei terreni del Flysch Rosso, che lambiscono due delle torri eoliche installate nell'area negli ultimi anni (Fig. 15). Inoltre, sono molto evidenti i segni superficiali di un'attività in corso sia in corrispondenza della nicchia principale che lungo alcuni tratti del versante in sinistra orografica (analogamente a quanto evidenziato in Fig. 13D) laddove il dissesto è favorito dalla giacitura a franapoggio più inclinata del pendio degli strati del Flysch Rosso e del flysch di Faeto.

6. CONCLUSIONI

Il rilevamento geomorfologico di alcune frane situate lungo il margine esterno dell'Appennino dauno e l'analisi multitemporale dell'evoluzione del dissesto hanno evidenziato che i tre casi studio analizzati hanno caratteristiche comuni: i) si sviluppano lungo il margine esterno dell'Appennino fino a raggiungere, in alcuni casi, le aree

pedemontane del Tavoliere di Puglia; ii) si sviluppano in corrispondenza del contatto stratigrafico o tettonico tra diverse unità geologiche (e.g. flysch di Faeto e Flysch Rosso) e sono influenzate dalle peculiari caratteristiche geologico-strutturali degli strati affioranti lungo i versanti (grado di fratturazione e giacitura degli strati); iii) hanno in molti casi più aree di alimentazione, attive in maniera indipendente, che generano movimenti in massa ad evoluzione complessa alimentando un canale principale che termina in un'area topograficamente rilevata, a forma di lobo o ventaglio, estesa in aree sub-pianeggianti; iv) sono classificabili come frane complesse che mostrano un movimento roto-traslazionale nel settore apicale (aree di affioramento degli strati calcarei più competenti del flysch di Faeto), ed evolvono verso valle in colate di fango (aree di affioramento delle argilliti del Flysch Rosso) che scorrono all'interno di canali delimitati su entrambi i lati da nette superfici di taglio; v) scorrono su versanti con pendenze medie comprese tra i 10° e i 15°, e hanno velocità di avanzamento quantificabili da alcuni metri a diverse decine di metri all'anno (frane con velocità da basse a moderate in Varnes, 1978); vi) sono state riattivate negli ultimi 15-20 anni.

Il rilevamento dei principali elementi che caratteriz-



Figura 14 - Foto panoramica della nicchia di distacco della frana di Lama Lumelle (Novembre 2015).



Figura 15 - Fratture estensionali che indicano un incipiente allargamento dell'area interessata dal dissesto in destra orografica della frana di Lama Lumelle (Novembre 2015). Le fratture sono giunte a lambire due torri eoliche.

zano le aree in frana e la loro rappresentazione in mappe di attività dei fenomeni di dissesto dei versanti rappresentano un passaggio cruciale nell'analisi geomorfologica di aree in cui sussiste una pericolosità per franosità. I casi studio presentati in questa nota evidenziano l'importanza di attività di rilevamento in campo e di un'analisi multitemporale delle aree in frana come aspetto irrinunciabile per ricostruire le geometrie dei corpi di frana e per identificare il tipo di movimento. Tutte queste informazioni sono essenziali per effettuare analisi quantitative basate su algoritmi numerici che, di volta in volta, dovranno essere applicati solo a valle delle indagini qualitative di dettaglio, per le scelte di pianificazione urbanistica e per progettare interventi o azioni di mitigazione della pericolosità.

La realizzazione di mappe di attività delle frane per i casi studio in esame ha mostrato come la cartografia geomorfologica multitemporale sia uno strumento che consente di evidenziare la storia evolutiva di una frana. L'analisi geomorfologica dei settori più attivi delle frane in un dato intervallo di tempo, accoppiata a studi di caratteri idrologico, idrogeologico e sismico può infatti consentire di correlare l'attività delle frane a specifici fattori d'innescio del dissesto quali, ad esempio, piogge di carattere eccezionale, eventi sismici, variazioni di uso del suolo ecc.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (1996) – *Carta Geomorfologica d'Italia alla scala 1: 50.000 – guida alla rappresentazione cartografica*. Quaderni SGN, serie III, 2, 97 pp.

AA.VV. (1997) – *Carta Geomorfologica d'Italia alla scala 1: 50.000 – guida al rilevamento*. Quaderni SGN, serie III, 6, 147 pp.

AMANTI M., CARRARA A., CASTALDO G., COLOSIMO P., GISSOTTI G., GOVI M., MARCHIONNA G., NARDI R., PANIZZA M., PECCI M. & VIANELLO G. (1992) – *Linee guida per la realizzazione di una cartografia della pericolosità geologica connessa ai fenomeni di instabilità dei versanti alla scala 1: 50.000*. Versione Preliminare. SGN, Progetto CARG, 53 pp.

BRUNO G., CHERUBINI C. & RAMUNNI F.P. (1992a) – *Fenomeni di cattura fluviale e condizioni di stabilità nel territorio di Castelluccio Valmaggiore (Puglia)*. Geologica Romana, 30, 137-143.

BRUNO G., CRESCENZI E., IOVINE G., MERENDA L. & ZEZZA F. (1992b) – *Valutazioni di sicurezza idrogeologica e rischio da frana nei comuni dell'Appennino Dauno Pugliese. Un esempio: l'abitato di Pietra Montecorvino (FG)*. Geologica Romana, 30, 581-588.

CASERO R., ROURE F., ENDIGNOUX L., MORETTI I., MILLER C., SAGE L., & VIALLY R. (1988) – *Neogene geodynamic evolution of the southern Apennines*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 109-120.

CIARANFI N., GALLICCHIO S., MORETTI M., PIERI P., DI BARI M., PICCARRETA M., DEL GAUDIO V., PIERRI P., MAGGIORE M., FIORE A., IURILLI V., WALSH N., LOPEZ N., PALOMBELLA M., PUIGDEVALL I., RICCHETTI E., STRAZIUSO K. &

CAPOLONGO D. (2011) – *Note Illustrative della Carta della Pericolosità per Franosità alla scala 1: 50.000. F° 407 "San Bartolomeo in Galdo"*. ISPRA – Servizio Geologico d'Italia.

CRESCENZI E. (1993) – *La carta delle frane della Tavola Pietra Montecorvino (FG)*. Geologia Applicata e Idrogeologia, 28, 315-325.

CRUDEN, D. & VANDINE, D.F. (2013) – *Classification, Description, Causes and Indirect Effects – Canadian Technical Guidelines and Best Practices related to Landslides: a national initiative for loss reduction*. Geological Survey of Canada, Open File 7359, 22 p.

DAZZARO L., DI NOCERA S., PESCATORE T., RAPISARDI L., ROMEO M., RUSSO B., SENATORE M. R. & TORRE M. (1988) – *Geologia del margine della catena appenninica tra il Fiume Fortore ed il Torrente Calaggio (Monti della Daunia - Appennino meridionale)*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 411-422.

DAZZARO L. & RAPISARDI L. (1984) – *Nuovi dati stratigrafici, tettonici e paleogeografici della parte settentrionale dell'Appennino dauno*. Boll. Soc. Geol. It. 103, 51-58.

DAZZARO L. & RAPISARDI L. (1987) – *Osservazioni geologiche sull'Appennino dauno*. Mem. Soc. Geol. It. 38, 241-246.

DAZZARO L. & RAPISARDI L. (1996) – *Schema geologico del margine appenninico tra il Fiume Fortore ed il Fiume Ofanto*. Mem. Soc. Geol. It., 51, 143-147.

GALLICCHIO S., MORETTI M., SPALLUTO L. & ANGELINI S. (2014) – *Geology of the middle and upper Pleistocene marine and continental terraces of the northern Tavoliere di Puglia plain (Apulia, southern Italy)*. Journal of Maps, 10(4), 569-575.

HUNGR, O., EVANS, S.G., BOVIS, M.J. & HUTCHINSON, J.N. (2001) – *A review of the classification of landslides of the flow type*. Environmental & Engineering Geoscience, 7, 221-238.

HUNGR, O., LEROUÉIL, S. & PICARELLI, L. (2012) – *Varnes classification of landslide types, an Update*. In: *Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society through Improved Understanding*, (ed.) E. Eberhardt, C. Froese, A. K. Turner and S. Leroueil; Balkema, Rotterdam, 47-58.

IAEG COMMISSION ON LANDSLIDES (1990) – *Suggested nomenclature for landslides*. Bull. Int. Ass. Eng. Geol., 41, 13-16.

IOVINE G., PARISE M., & CRESCENZI E. (1996) – *Analisi della franosità nel settore centrale dell'Appennino Dauno*. Mem. Soc. Geol. It., 51(2), 633-641.

JACOBACCI A., MALATESTA A., MARTELLI G. & STAMPANONI G. (1967) – *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia, F° 163 "Lucera"*. Serv. Geol. d'Italia.

JACOBACCI A. & MARTELLI G. (1967) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, F° 174 "Ariano Irpino"*. Serv. Geol. d'Italia.

MORETTI, M., GALLICCHIO, S., & SPALLUTO, L. (2010). *Evoluzione geologica del settore settentrionale del Tavoliere di Puglia (Italia meridionale) nel Pleistocene medio e*

superiore. *Il Quaternario*, 23(2), 181-198.

MOSTARDINI F. & MERLINI S. (1986) - *Appennino centro-meridionale. Sezioni geologiche e proposta di modello strutturale*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 177-202.

PARISE M. (2003) - *Considerazioni sulla franosità dell'Appennino dauno (Puglia), sulla base dell'elaborazione di carte di attività delle frane*. Quaderni di Geologia Applicata, 10 (2), 133-145.

PARISE M., FEDERICO A. & PALLADINO G. (2012) - *Historical evolution of multi-source mudslides. Landslides and Engineered Slopes*. Protecting Society through Improved Understanding - Eberhardt *et al.* (eds), 401-407.

PARISE M. & WASOWSKI J. (1999) - *Use of landslide activity map for the evaluation of landslide hazard: three case studies from southern Italy*. Natural Hazards, 20, 159-183.

PATACCA E., SARTORI R. & SCANDONE P. (1990) - *Tyrrhenian basin and apenninic arcs: kinematic relations since late Tortonian times*. Mem. Soc. Geol. It., 45, 425-451.

PATACCA, E. & SCANDONE, P. (2007) - *Geology of the Southern Apennines*. Boll. Soc. Geol. It., Spec. Issue 7, 75-119.

PELLEGRINI G.B., CARTON A., CASTALDINI D., CAVALLIN A., D'ALESSANDRO L., DRAMIS F., GENTILI B., LAURETI L., PRESTININZI A., RODOLFI G., SAURO U., SORRISO VALVO M. & SPAGNA V. (1993) - *Proposta di legenda geomorfologica ad indirizzo applicativo*. Geogr. Fis. Din. Quat., 16, 129-152.

PENNETTA L. (2007) - *Cap. 21: Analisi del dissesto da frana in Puglia*. In: Rapporto sulle frane in Italia. Il Rapporto IFFI - Metodologia, risultati e rapporti regionali. Apat, 547-576.

PESCATORE T., RENDA P., SCHIATTARELLA M. & TRAMUTOLI M. (1999) - *Stratigraphic and structural relationship*

between Meso-Cenozoic Lagonegro basin and coeval carbonate platforms in southern Apennines, Italy. Tectonophysics, 315, 269-286.

PIERI P., FESTA V., MORETTI M. & TROPEANO M. (1997) - *Quaternary tectonic activity of the Murge area (Apulian foreland-southern Italy)*. Annali di Geofisica, 40, 1395-1404.

PIERI P., GALLICCHIO S. & MORETTI M. (2011) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. F° 407 "San Bartolomeo in Galdo"*. ISPRA - Servizio Geologico d'Italia.

SPALLUTO, L., & MORETTI, M. (2006). *Evidenze di neotettonica (Pliocene medio-Pleistocene superiore) nel settore occidentale del Promontorio del Gargano (Italia meridionale)*. *Il Quaternario*, 19(1), 143-154.

VARNES D.J. (1978) - *Slope movements types and processes*. In: Shuster R.L. & Krizek R. J. (eds), "Landslides: Analysis and Control". Transportation Research Board, National Academy of Science, spec. rep. 176, 11-35.

WASOWSKI J., CASARANO D., & LAMANNA C. (2007) - *is the current landslide activity in the Daunia region (Italy) controlled by climate or land use change?* Landslide and Climate Change - McInnes, Jakeways, Fairbank & Mathie (eds), 41-49. Taylor & Francis Group, London.

WIECZOREK G.F. (1984) - *Preparing a detailed landslide-inventory map for hazard evaluation and reduction*. Bull. Int. Ass. Geol., 3, 337-342.

WORKING PARTY ON WORLD LANDSLIDE INVENTORY (WP/WLI) (1993) - *A suggested method for describing the activity of a landslide*. Bull. Int. Ass. Eng. Geol., 47, 53-57.

ZEZZA F., MERENDA L., BRUNO G., CRESCENZI E. & IOVINI G. (1994) - *Condizioni di instabilità e rischio da frana nei comuni dell'Appennino Dauno Pugliese*. Geologia Applicata e Idrogeologia, 29, 77-141.

GUIDA AGLI AUTORI: INDICAZIONI PER LA STESURA DEI TESTI

Nell'intento di agevolare gli Autori nella stesura degli articoli per "Geologi e Territorio" si forniscono alcuni orientamenti da seguire nella preparazione dei lavori a stampa. La Segreteria di Redazione è comunque a disposizione di tutti gli interessati per fornire ulteriori chiarimenti ed indicazioni su aspetti e casi particolari non previsti in questa breve nota.

I TESTI devono essere inviati mediante posta elettronica a info@geologipuglia.it completi di allegati (figure, mappe, profili, foto) altrimenti con CD Rom. Il formato deve essere WinWord non formattato. Il carattere deve essere Arial 12, interlinea singola, senza rientri o spaziature a capo dei paragrafi. I testi devono essere continui, e non devono contenere automatismi (ad es. le numerazioni dei paragrafi vanno impostate manualmente), le pagine vanno numerate. Possibilmente le note, se non possono essere eliminate, devono essere a fine testo e non a piè di pagina. Le IMMAGINI informatizzate vanno inviate in file separati dal testo, preferibilmente nei formati Tif, Jpg o Bmp con risoluzione minima di 300 dpi; per formati diversi contattare prima la Segreteria di Redazione. Diversamente, anche al fine di evitare problemi di risoluzione, foto e immagini possono essere spedite a:

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA PUGLIA via Junipero Serra, 19 - 70125 Bari

Le TABELLE, costruite con Word o con Excel, devono essere riportate in file separati dal testo.

Le indicazioni delle FIGURE (per figure si intendono fotografie, diapositive, disegni, profili, grafici, tavole, etc.) inserite nel testo dovranno essere numerate progressivamente.

Le qualifiche dell'Autore o degli Autori, l'Ente di appartenenza verranno indicati in apertura dell'articolo.

La Redazione inserirà come primo autore quello iscritto all'Albo dei geologi della Puglia in ordine alfabetico o secondo indicazioni impartite dagli Autori.

SIMBOLI ed ABBREVIAZIONI poco usati dovranno essere chiaramente definiti nel testo.

Le CITAZIONI BIBLIOGRAFICHE saranno tra parentesi tonde, accompagnate dall'anno di pubblicazione e verranno riportate in Bibliografia alla fine dell'articolo, con il titolo dei lavori citati.

La BIBLIOGRAFIA sarà preparata come illustrata nel seguito, con i vari elementi nell'ordine.

Autore: in maiuscolo, cognome per esteso e per il nome solo la lettera iniziale seguita da un punto. Per più autori intercalare con una virgola. Data di pubblicazione: fra parentesi tonda. Titolo: in corsivo. Nome della pubblicazione. Numero del fascicolo. Oppure, per una monografia: Editore, luogo dell'edizione.

La Segreteria di Redazione riterrà accettabile per la stampa solo il materiale iconografico di alta qualità.

La Segreteria di Redazione

PROSPEZIONI GEOFISICHE DEL SOTTOSUOLO PER LA DIAGNOSTICA STRUTTURALE DI MANUFATTI DI INTERESSE STORICO ARTISTICO: IL CASO DELLA CATTEDRALE DI CASTRO (LECCE).

Giovanni Leucci - Giovanni Quarta¹

¹Iscritto ORG Puglia n. 268

Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali - Consiglio Nazionale delle Ricerche, Lecce, Italy
g.leucci@ibam.cnr.it; g.quarta@ibam.cnr.it

RIASSUNTO

Nell'ambito del progetto di restauro riguardante il miglioramento statico della facciata est della cattedrale della SS Annunziata di Castro (Lecce), sono state condotte indagini geologiche e geofisiche integrate. Le finalità dell'indagine sono state quelle di definire il modello geologico della locale successione stratigrafica e di valutare le caratteristiche geotecniche del terreno che ospita le strutture di fondazione della cattedrale.

L'indagine geofisica è stata condotta mediante l'impiego della metodologia elettromagnetica impulsiva Ground Penetrating Radar (GPR), integrata con il metodo sismico tomografico per rifrazione. Ulteriori indagini dirette, attraverso l'esecuzione di un sondaggio meccanico a carotaggio continuo, e uno scavo a piccola profondità, sono state eseguite in corrispondenza delle fondazioni dell'edificio. I risultati ottenuti hanno permesso la determinazione della tipologia di fondazione e la sua profondità d'imposta rispetto alla superficie attuale di calpestio. È stato quindi realizzato il modello geo-stratigrafico locale e determinate le anomalie geomeccaniche dei terreni condizionano le strutture di fondazione. Alcuni dubbi rimangono sulla correlazione diretta del modello con le lesioni osservate sulla facciata nord del Duomo.

INTRODUZIONE

Castro è una cittadina situata a circa cinquanta chilometri a sud est di Lecce. La cattedrale di Castro (Fig. 1) è un notevole esempio di architettura romanica del Salento. Il monumento è stato costruito nel 1171, probabilmente sulle rovine di un tempio greco ed è caratterizzato da una pianta a croce latina a navata unica che termina in tre absidi. I continui interventi e rifacimenti nel corso dei secoli hanno sensibilmente modificato la struttura originaria in stile romanico. La cattedrale è divisa in due zone: una parte anteriore, ricostruita molte volte fino alla sostituzione del tetto in legno nel 1670; una parte posteriore, dove si trova l'altare centrale, in stile barocco, e le due cappelle laterali. In questa zona, la facciata è interessata da evidenti fessure correlabili a dissesti di tipo strutturale che hanno richiesto uno specifico intervento di restauro.

A tal fine, è stato eseguito uno studio inerente sia l'analisi dei carichi che agiscono su questa parte del monumento, sia l'assetto e le condizioni geologiche del sottosuolo. Quest'ultima indagine è presa in considerazione in questo lavoro con particolare attenzione alla definizione

delle variazioni delle caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti nel sottosuolo della chiesa. È stata inoltre verificata l'esistenza o meno di strutture di interesse archeologico.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area di studio si trova nella parte centrale del centro storico di Castro, città ubicata a circa cinquanta chilometri a Sud-Est di Lecce. La cattedrale occupa parzialmente la parte sommitale di un debole promontorio, posto a circa 90 m s.l.m., che degrada verso mare con pendenze comprese tra il 20% e 30%. L'intera superficie territoriale e più in particolare quella del versante costiero, presenta il tipico modellamento a terrazzi delle coste di recente emersione: ripe e antistanti piattaforme d'erosione marina si susseguono, senza soluzione di continuità, dalle quote più alte sino al livello del mare.

Variazioni di pendenza interessano l'abitato di Castro e anche parte della Cattedrale, fatto che ha condizionato la realizzazione delle strutture di fondazione che risultano attestare a quote differenti e dipendenti dalla quota del piano di calpestio.

La struttura geologica presente nell'area di studio non si discosta da quella che caratterizza l'intera penisola salentina, costituita da una base di rocce carbonatiche rappresentate dalle formazioni calcareo-dolomitiche del Cretaceo superiore (Calcere di Altamura). Questa formazione, blandamente piegata e fagliata, è stata in seguito ricoperta da depositi appartenenti ai vari cicli sedimentari avvenuti tra il Paleocene-Oligocene (Calcari di Castro), Miocene (Pietra Leccese/Calcareniti di Andrano), Pliocene (Formazione di Leuca/Sabbie di Uggiano) e il Pleistocene (Formazione di Gallipoli/Calcareniti del Salento).

Nell'area di studio affiora estesamente la formazione dei Calcari di Castro, interrotta da una faglia con direzione NNW-SSE che la mette a contatto con le Calcareniti del Salento, per poi riaffiorare lungo la costa meridionale. Dal punto di vista litologico i Calcari di Castro (Fig. 2) sono costituiti da calcari bioclastici a frattura irregolare e di colore chiaro, spesso porcellanacei e a frattura concoide o subcristallini, eccezionalmente dolomitici [1]. Localmente si possono ritrovare livelli brecciati di colore verdastro, rosato e/o giallastro. Il calcare di Castro, come la maggior parte delle rocce carbonatiche, è influenzato da fenomeni carsici rappresentati da una rete di fratture



Figura 1- Il Duomo della SS Annunziata a Castro (Lecce, Italia).

ad andamento prevalentemente sub verticale e/o da cavità che caratterizzano gli ammassi rocciosi dell'area di Castro. Evidenza ne sono le varie grotte lungo la costa e le numerose forme epigee tra le quali si distinguono le doline: queste sono presenti su quasi tutte le formazioni affioranti e appartengono in prevalenza al tipo con depositi di riempimento (terre rosse residuali, note popolarmente col nome di "bolo") con forme a piatto e a ciotola, derivanti sia da analoghe forme originarie sia da preesistenti doline a imbuto. I perimetri sono di norma subcircolari e i diametri variano da qualche metro sino a un centinaio, con profondità massime di una decina di metri [2].

MATERIALI E METODI

Il metodo elettromagnetico impulsivo (Ground Penetrating Radar - GPR) consente, in condizioni favorevoli, ambienti non magnetici cioè principalmente resistivi, di ottenere, in modo speditivo, preziose informazioni sui primi metri di sottosuolo. Negli ultimi anni il GPR è stato usato con successo nello studio della struttura e stratigrafia superficiale di rocce sedimentarie [3, 4].

La tomografia sismica a rifrazione fornisce informazioni sulla distribuzione della velocità delle onde P, aiuta a calibrare i dati GPR, e aggiunge ulteriori dati sulle profondità del bedrock e delle sue caratteristiche fisico-meccaniche [5, 6, 7].

Per l'indagine georadar è stato utilizzato il georadar della Mala Geoscience GPR (RAMAC) con l'antenna da 250MHz (frequenza centrale). I dati sono stati acquisiti utilizzando 512 campioni per traccia e una finestra temporale di registrazione pari a 130ns. Inoltre, i dati sono stati acquisiti in modalità monostatica in continuo. L'ubicazione dei profili GPR è mostrata in Fig. 3.

La distribuzione 2D di velocità dell'onda P è stata ottenuta sulla base della geometria mostrata in figura 4 con

12 geofoni verticali (4.5Hz) equidistanziati di 2m, e 14 punti di energizzazione. I dati sismici sono stati raccolti mediante un sismografo (GEOMETRICS modello GEODE) con 12 canali attivi. Il primo passo nella elaborazione dei dati di tomografia consiste nel misurare i tempi di viaggio dell'onda sismica dalla sorgente al ricevitore (primi arrivi).

ANALISI DEI DATI GPR

La qualità dei dati grezzi non richiede tecniche avanzate di elaborazione. Tuttavia per facilitarne l'interpretazione è stato eseguito un processing adeguato mediante software reflex [8]. Le fasi più importanti di questa elaborazione possono essere riassunte come segue:

1. Rimozione della traccia media: il filtro è un semplice processo aritmetico che somma tutte le ampiezze delle riflessioni che sono state registrate lungo un profilo e divide il risultato per il numero di tracce sommate. L'onda risultante, che è una media di tutti i rumori di fondo, viene quindi sottratta dal set di dati.
2. Migrazione 2D di Kirchhoff: viene eseguita sulla base di una distribuzione di velocità 2D di propagazione dell'onda elettromagnetica nel sottosuolo, e consente di ottenere le dimensioni reali degli oggetti eventualmente presenti nel sottosuolo.

La Figura 5 mostra i profili acquisiti nell'area di studio dopo l'elaborazione sopra descritta. Una caratteristica generale dell'area rilevata è la buona penetrazione, circa 110 ns, dell'energia elettromagnetica, corrispondente ad una profondità di circa 4,4 m se la velocità media di propagazione dell'onda elettromagnetica è di 0.08 m/ns. Ciò è essenzialmente dovuto alle proprietà fisiche del materiale del sottosuolo che dissipa poco l'energia elettromagnetica. Nel primo metro di profondità sono presenti diverse anomalie (S). Queste sono probabilmente collegate alla

rete di tubazioni sotterranee. Due tipi di facies radar possono essere distinte a due diverse profondità. La prima, (indicata con A), leggermente inclinata, si trova tra 2 e 2,4 m di profondità. Probabilmente è legata alla roccia calcarea interessata da evidenti fenomeni alterativi e/o da una marcata rete di fratture disposte all'interno dell'ammasso roccioso.

La seconda, (indicata con B), è più inclinata della prima e si trova tra 3 e 5 metri di profondità da correlare alla roccia calcarea più compattata.

Alcune riflessioni verticali ed orizzontali (indicate con F) sono presenti nelle due facies. Queste sono verosimilmente da correlare alla presenza di numerose fratture.

ANALISI DEI DATI DI TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE

La figura 6 mostra il modello di distribuzione della velocità di propagazione dell'onda P nei primi metri del sottosuolo.

L'analisi dei dati eseguita mediante l'utilizzo di software reflex [6] che prevede il picking dei primi arrivi, la realizzazione delle dromocrone e l'inversione dei dati attraverso l'algoritmo SIRT (Simultaneous Iterative Reconstruction Tomography) [9]. Dall'analisi della figura 6a è possibile valutare la distribuzione delle velocità sismiche in pianta alla profondità di 2.5m in corrispondenza dell'area della controfacciata interessata dalle fessurazioni. Come si può osservare, la velocità delle onde P varia sullo stesso piano da 1200 (L) a 2800 (H) m/s, che denota anche una forte anisotropia delle caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione. Nel grafico di figura 6b è riportata la sezione sismica in corrispondenza della linea degli scopi. Dalla figura si evince che le velocità sismiche aumentano

con la profondità, così come le caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione. I valori di Vp compresi tra circa 1200 e 1900 m/s possono essere correlati a rocce calcaree caratterizzate da un elevato grado di fratturazione e/o al-

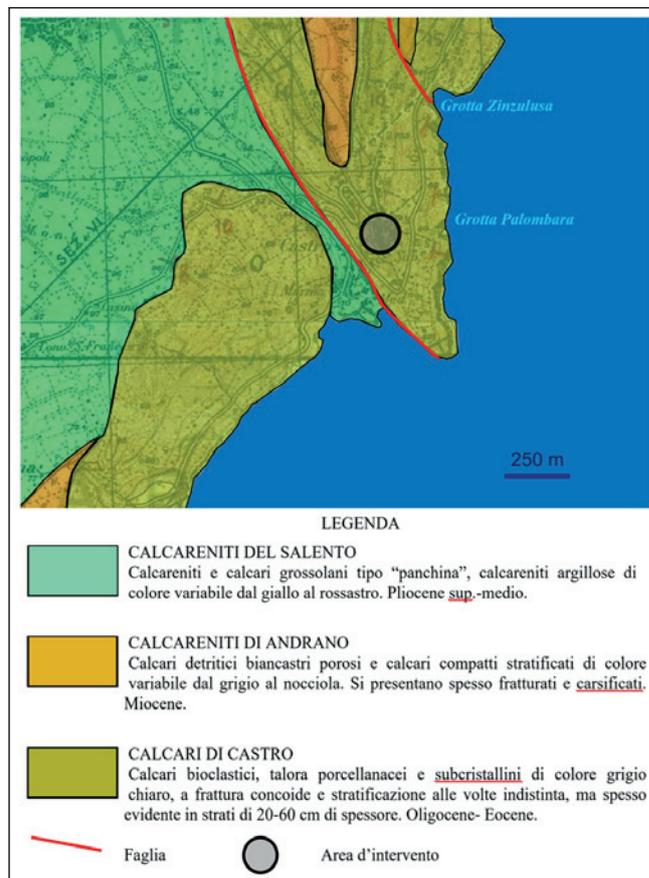


Figura 2 - Carta geologica dell'area.

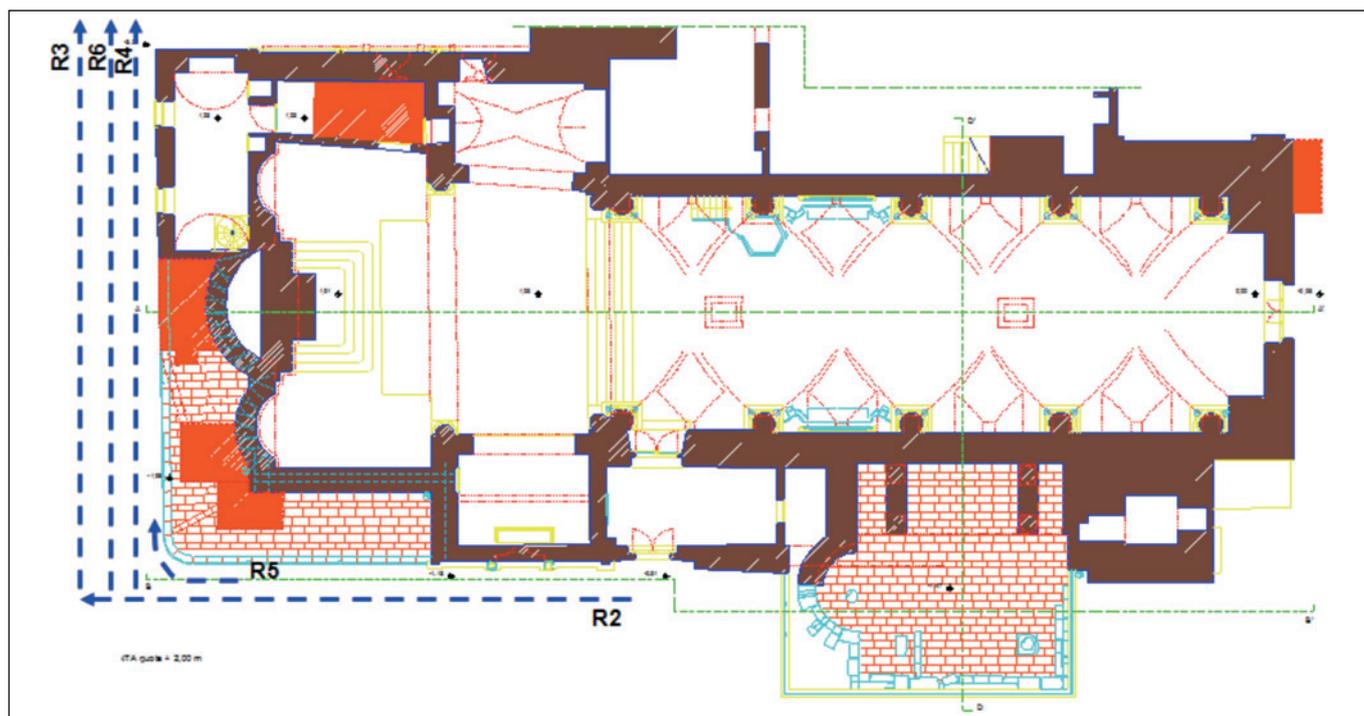


Figura 3 - Ubicazione dei profili GPR.



Figura 4 - Geometria di acquisizione dei dati di tomografia sismica a rifrazione.

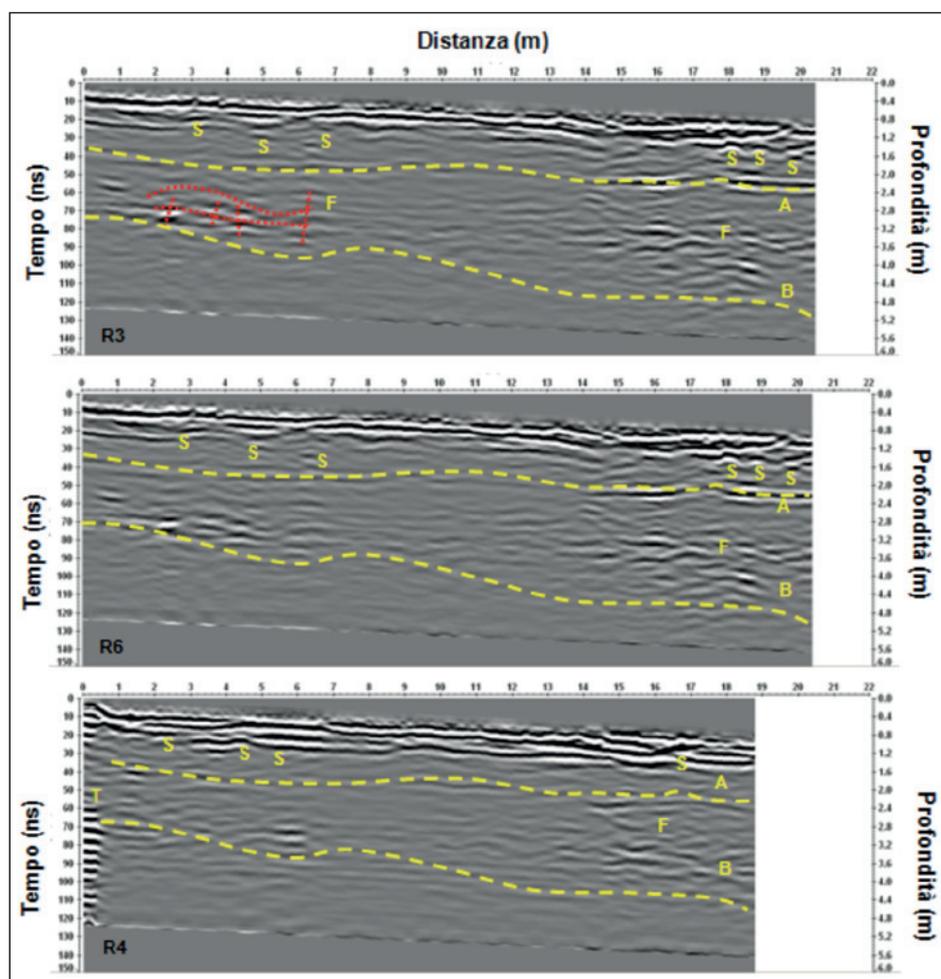


Figura 5 - Sezioni radar elaborate relative ai profili denominati R3, R6 e R4.

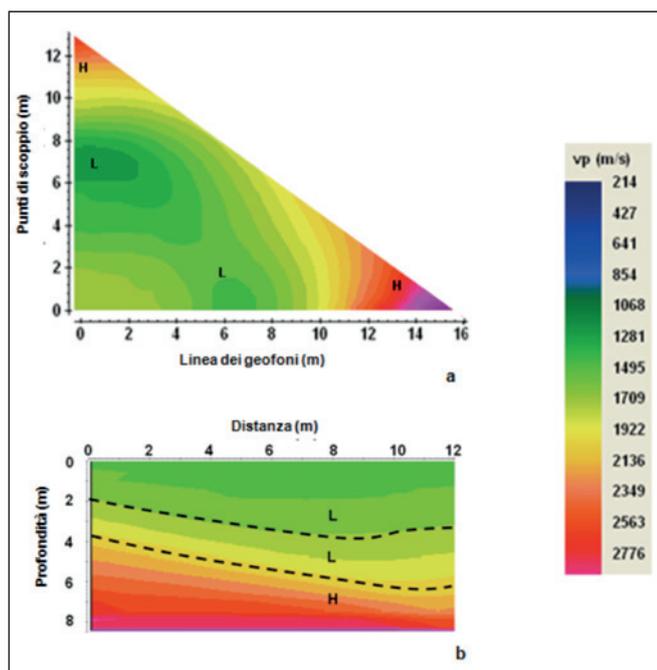


Figura 6 - Modello di distribuzione di Vp: a) nella zona di indagine; b) sulla linea degli scoppi.

terazione o ancora dalla presenza di sacche di terra rossa. I valori di Vp compresi tra 1900 m/s e circa 2800 m/s (H) possono essere correlati ad una roccia più compatta, dotata di migliori caratteristiche geomeccaniche.

INDAGINI DIRETTE

Le indagini dirette sono state effettuate per calibrare, dove possibile, quelle geofisiche i cui dati sono già stati descritti nei precedenti paragrafi. Queste sono consistite nell'esecuzione di uno scavo a mano e di un sondaggio meccanico a carotaggio continuo realizzati rispettivamente fino alla profondità di 1 m e 2,3 m dal piano di calpestio. Lo scavo è stato realizzato sul lato sud angolo lato est (controfacciata), mentre il sondaggio è stato eseguito lungo il lato nord, angolo lato est. I risultati indicano che le fondazioni del lato sud (nei pressi dell'ingresso della cripta - v. planimetria) sono attestata a circa 1 m di profondità dal piano calpestio. Il sondaggio a carotaggio continuo ha permesso di individuare la seguente stratigrafia: a) copertura costituita da materiale di riporto (pezzame calcarenitico misto a materiale terroso) fino a 2 m dal piano calpestio; b) da 2 m fino a fine sondaggio (2,3 m) calcare compatto.

CONCLUSIONI

Le indagini geologiche e geofisiche integrate hanno permesso di ricostruire il modello geologico dell'area investigata.

Nell'area affiora la formazione calcarea nota come Calcari di Castro. All'interno di tale formazione sono attestata le fondazioni della cattedrale, che sono attestata a quote differenti, in funzione della variabilità della quota altimetrica dell'area. Il basamento calcareo è attestato in corri-

spondenza del lato nord a una quota di circa 2 m dal piano strada, mentre lungo il lato opposto, nei pressi dell'ingresso della cripta, esso si trova a circa 1 m dal piano strada.

Il set di dati GPR e di tomografia sismica a rifrazione sono stati confrontati per integrare i risultati e per eliminare l'ambiguità intrinseca dei singoli metodi. La combinazione di diversi set di dati minimizza le ambiguità nell'interpretazione e ha permesso la stima della profondità e della qualità del bedrock. In particolare la tomografia sismica a rifrazione presenta problemi relativi alla risoluzione spaziale e quindi non permette di evidenziare le singole anomalie relative alle fratture. Inoltre, in questo studio è stata utilizzata la metodologia sismica a rifrazione in condizioni non standard che ha permesso di ricostruire la condizione del sottosuolo correlata al lato NW della cattedrale. Infatti, nell'area investigata i risultati hanno rivelato un substrato costituito da un unico tipo calcareo con diverse caratteristiche meccaniche. In particolare, le caratteristiche meccaniche risultano variabili in senso orizzontale ad una quota di circa 2,4 m dal piano di calpestio, mentre migliorano con la profondità, secondo l'aumento della velocità onde P. I risultati GPR, con risoluzione spaziale superiore, sottolineano variazioni dello stato fisico del sottosuolo con la profondità.

BIBLIOGRAFIA

- [1] LARGAIOLI T., MARTINIS B., MOZZI G., NARDIN M., ROSSI D & UNGARO, S. (1969) - *Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 214 Gallipoli*. Poligrafica & cartevalori, Ercolano (Napoli).
- [2] A.A.V.V. (2013) - *Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 537 Capo Santa Maria di Leuca*, a cura di Ricchetti G., Ciaranfi N., ISPRA, Servizio Geologico d'Italia, Litografia artistica - Firenze.
- [3] DAVIS J.L. & ANNAN A.P. (1989) - *Ground penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy*. Geophys. Prospect. 37, 531-552.
- [4] BACHRACH R. & NUR A. (1998) - *High-resolution shallow-seismic experiments in sands, Part I: Water table, fluid flow and saturation*. Geophysics 63, 1225-1233.
- [5] BIOT M.A. (1962) - *Mechanics of deformation and acoustic propagation in porous media*. J. Appl. Phys. 33, 1482-1498.
- [6] LEUCCI G. & DE GIORGI L. (2006) - *Experimental studies on the effects of fracture on the P and S wave velocity propagation in sedimentary rock ("Calcarenite del Salento")*. Engineering Geology 84, 130-142.
- [7] LEUCCI G. (2007) - *Geophysical investigations to study the physical-mechanical characteristics of the rock in a coastal environment: the cliff of Roca (Lecce, Italy)* J. Geophys. Eng. 4, 462-475
- [8] SANDMEIER KJ. (2011) - *Reflexw 6.1 Manual, Sandmeier Software*. Zipser Strasse 1, D-76227 Karlsruhe, Germany.
- [9] LEUCCI G. (2015) - *Geofisica Applicata all'Archeologia e ai Beni Monumentali*. Dario Flaccovio Editore Palermo, pp 368.