

ANALISI DI LIVELLO PRELIMINARE DELLE CONSEGUENZE INDOTTE AGLI EDIFICI DA FRANE A CINEMATICA LENTA

Gianfranco Nicodemo, Settimio Ferlisi, Dario Peduto, Leonardo Cascini

Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno

e-mail: gnicodemo@unisa.it; sferlisi@unisa.it; dpeduto@unisa.it; l.cascini@unisa.it

Giovanni Gullà, Luigi Borrelli

CNR-IRPI – U.O.S. di Cosenza

e-mail: giovanni.gulla@irpi.cnr.it; luigi.borrelli@irpi.cnr.it

Gianfranco Fornaro

IREA-CNR, Napoli

e-mail: fornaro.g@irea.cnr.it

Sommario

L'analisi delle conseguenze indotte agli edifici da frane a cinematica lenta riveste un ruolo fondamentale nell'ambito delle attività di gestione del rischio. Con riferimento all'area urbanizzata del Comune di Verbicaro (CS), la presente comunicazione evidenzia come l'uso congiunto di dati derivanti dall'elaborazione di immagini satellitari acquisite da sensori Radar ad Apertura Sintetica (SAR) mediante tecniche interferometriche differenziali (DInSAR) e i risultati del rilievo del danno agli edifici possa contribuire, ad un livello preliminare, ad individuare le relazioni che si stabiliscono tra causa (cinematismi dei corpi di frana attivi) ed effetti (danni alle strutture in elevazione) nonché ad indirizzare le analisi della vulnerabilità fisica mediante metodi empirici o numerici ad un livello intermedio e/o avanzato.

1. Introduzione

Le frane a cinematica lenta sono diffuse in diversi contesti geologici in tutto il mondo e spesso sono causa di notevoli danni al costruito. La rilevanza della problematica è tale da rendere di grande interesse gli studi sull'analisi delle conseguenze a edifici e infrastrutture che interagiscono con corpi di frana attivi. A tal riguardo, è indispensabile la raccolta di una significativa quantità di dati che hanno a che fare sia con le caratteristiche cinematiche dei fenomeni franosi e sia con l'entità del danno registrato al costruito.

Per quanto riguarda la raccolta di dati relativi agli spostamenti di punti della superficie topografica di aree in frana, ad integrazione e a completamento delle indagini convenzionali in sito, un contributo rilevante è fornito dall'impiego di dati derivanti dal processamento di immagini satellitari acquisite da Radar ad Apertura Sintetica (SAR) mediante tecniche di interferometria differenziale (DInSAR) (Cascini et al., 2013). In particolare, tali dati consentono l'analisi nel tempo di serie storiche di spostamento di target naturali o antropici (ad esempio edifici, strade, rocce esposte, etc.) con una precisione millimetrica sulla velocità media di spostamento. Tenuto conto dei notevoli sviluppi che la tecnica ha avuto negli ultimi anni (ad esempio, nelle attività finalizzate alla cartografazione e alla definizione dello stato di attività di fenomeni franosi a cinematica lenta) nonché delle possibilità che i sensori SAR di ultima generazione offrono per la elevata densità di informazione spazio-temporale, questi dati – combinati con i risultati del rilievo del danno – appaiono particolarmente adatti per analizzare le relazioni causa-effetto tra i campi di spostamento caratterizzanti corpi di frana attivi e le conseguenze registrate a edifici/infrastrutture con esse interagenti.

Per ciò che concerne la raccolta di informazioni riguardanti il danno al costruito, preme rilevare come la severità di quest'ultimo dipenda da molteplici fattori riferibili non solo allo stesso edificio (età e stato di conservazione; materiali costruttivi; ubicazione delle strutture rispetto al corpo di frana) ma anche al fenomeno franoso (tipologia; caratteristiche geometriche e cinematiche; litologia dei terreni coinvolti; morfologia dell'area in frana; etc.). Inoltre, bisogna sottolineare che il danno riscontrabile su una struttura in elevazione può essere il risultato di più cause concomitanti (ovvero non strettamente riconducibili a interazioni con corpi di frana attivi) e, inoltre, la sua valutazione può essere condizionata dagli esiti di interventi di manutenzione e/o di ristrutturazione che possono rendere difficile la lettura dei reali quadri fessurativi.

Nella complessità innanzi delineata, si pone la necessità di fare riferimento ad una procedura di analisi che porti ad una valutazione oggettiva delle conseguenze indotte ad edifici da frane a cinematica lenta. A tal fine, nell'ambito del presente lavoro, si propone uno schema metodologico (Fig. 1) che – in analogia a quanto riportato in Fell et al. (2008) con riferimento alla zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana – si articola su tre livelli di analisi: preliminare, intermedio ed avanzato.

Nel seguito si illustrano i risultati derivanti dall'applicazione del livello di analisi preliminare ad un caso di studio ricadente nel settore nord-occidentale della Regione Calabria.

LIVELLO DI ANALISI	OBIETTIVO DELL'ANALISI	DATI DI INPUT
PRELIMINARE	Interpretazione fenomenologica dei meccanismi di frana e analisi preliminari di relazioni causa – effetto.	<ul style="list-style-type: none"> - Topografia - Litologia - Geomorfologia - Dati DInSAR a media risoluzione - Rilievo speditivo del danno alle strutture/infrastrutture
INTERMEDIO	Analisi/previsione del livello di severità del danno per tipologie strutturali e fondali omogenee attraverso l'applicazione di criteri di danneggiabilità semplificati volti alla generazione di curve di fragilità e vulnerabilità di tipo empirico.	Informazioni del livello precedente più: <ul style="list-style-type: none"> - tipologia strutturale - tipologia fondale - dati DInSAR a media/alta risoluzione
AVANZATO	Modellazione geotecnica e strutturale per l'analisi e la previsione di meccanismi di danno al variare di parametri rappresentativi di modelli strutturali e fondali prescelti. Generazione di curve di fragilità e vulnerabilità di tipo parametrico da utilizzare ai fini previsionali mediante l'impiego di dati DInSAR ad alta risoluzione.	Informazioni del livello precedente più: <ul style="list-style-type: none"> - caratteristiche geometriche della struttura - parametri meccanici del terreno - legami costitutivi - dati DInSAR ad alta risoluzione

Fig. 1. Schema metodologico per le analisi delle conseguenze indotte ad edifici da frane a cinematica lenta

2. Area di studio

L'area di studio (1 km²) corrisponde al territorio urbanizzato del Comune di Verbicaro (CS) situato ad una quota di 428 m s.l.m. sui rilievi collinari e pedemontani che affacciano sull'Alto Tirreno a sud della foce del fiume Lao. Dal punto di vista geologico, nell'area circostante l'abitato di Verbicaro affiora estesamente l'Unità del Frido (Vezzani, 1968; Amodio Morelli et al., 1976). L'Unità del Frido (Cretacico superiore), affetta da metamorfismo al limite con la diagenesi, è costituita da una fitta alternanza di argilloscisti, filladi, scisti e metacalcari. Essa ricopre tettonicamente l'Unità di Verbicaro, (Amodio Morelli et al., 1976) che affiora prevalentemente nell'area del centro storico ed è costituita da una successione sedimentaria carbonatica – composta da dolomie, calcari dolomitici, calcari con selce, brecce calcaree e calcareniti – risalente al periodo che si estende dal Trias medio al Miocene inferiore. Depositi colluviali olocenici e detriti di frana ricoprono localmente le litologie del substrato, con spessori maggiori rilevabili nelle aree di concavità morfologica o alla base dei versanti.

L'intero abitato di Verbicaro (Fig. 2) è da tempo interessato da problemi di instabilità di versante accentuatisi negli ultimi decenni quando l'espansione urbana, particolarmente attiva a partire dagli anni '60 nelle aree poste a nord-ovest e ad est dell'originario nucleo storico, ha coinvolto ulteriori aree in frana. Di tali problemi vi è consapevolezza da tempo, come testimoniato dal Regio Decreto 445 del 1908 che comprendeva Verbicaro nelle liste di trasferimento totale, mai attuato, o ancora la Legge n. 4 del 5 febbraio 1973 che, a seguito dell'alluvione del 1972-1973, inseriva Verbicaro fra i Comuni destinatari di interventi di messa in sicurezza con la realizzazione di opere di consolidamento finalizzate alla riduzione del rischio idrogeologico.

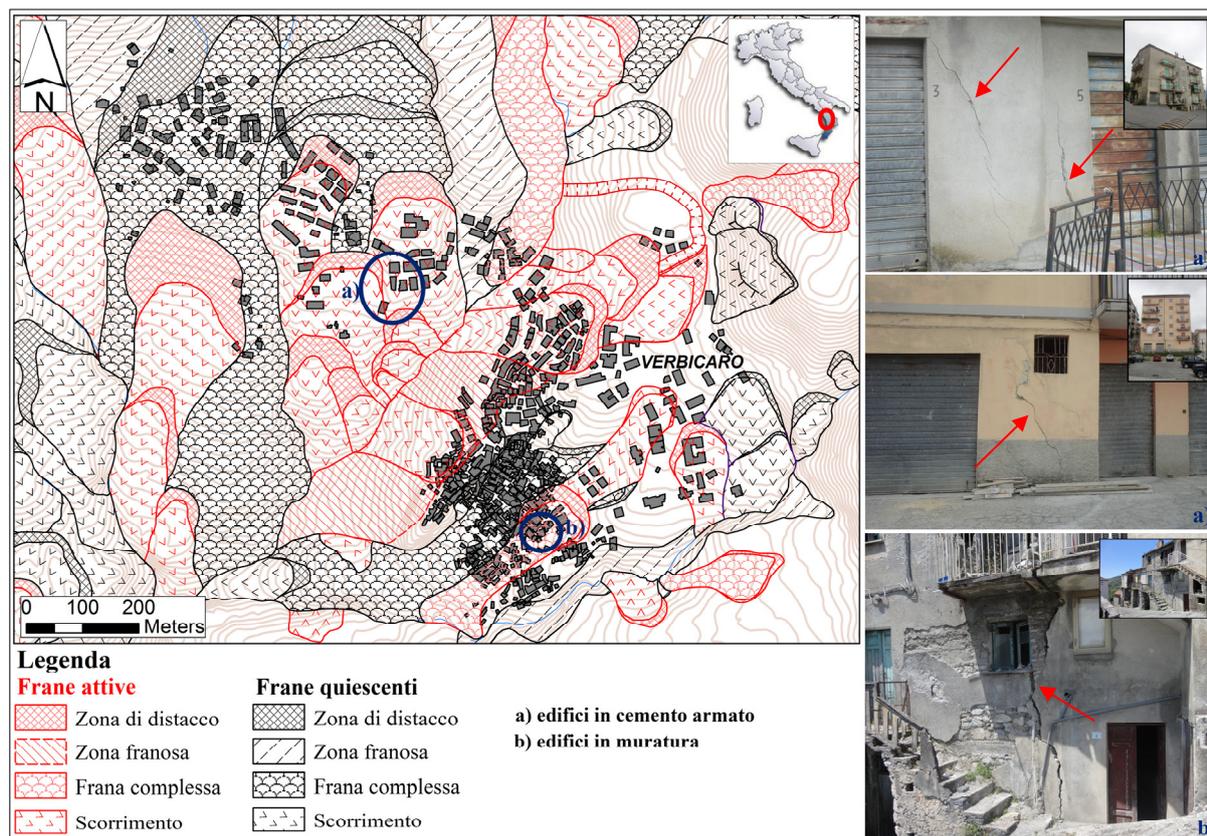


Fig. 2. Carta inventario dei fenomeni franosi e foto di edifici danneggiati.

Attualmente l'intera area urbana è sede di frane a cinematica lenta che continuano a provocare danni di diversa severità agli edifici e alle infrastrutture con esse interagenti. In particolare, in gran parte del centro urbano gli effetti di periodiche riattivazioni di tali fenomeni franosi, specialmente in concomitanza di periodi particolarmente piovosi, provocano danni che si manifestano con lesioni di diversa ampiezza sulle strutture in elevazione ubicate sia nel centro storico (in prevalenza costituito di vecchi edifici in muratura) e sia nelle zone di nuova espansione urbanizzata a partire dagli anni '60 con edifici in cemento armato. Di conseguenza, negli ultimi decenni numerose strutture hanno evidenziato un gravissimo stato di dissesto inducendo il Comune ad emettere una serie di ordinanze di sgombero/riparazione nonché a procedere alla demolizione degli edifici la cui statica risultava seriamente compromessa.

3. Dati di input

Sulla base dello schema di Figura 1 il livello di analisi preliminare necessita di dati di input riguardanti: la topografia, la litologia, la geomorfologia, i dati DInSAR a media risoluzione, il danno

alle strutture in elevazione.

Con riferimento all'area di studio di Verbicaro è stata utilizzata una carta topografica in scala 1:5.000 per l'identificazione degli edifici. Analisi stereoscopiche di foto aeree multi-temporali corroborate da informazioni acquisite mediante rilievi geomorfologici in sito hanno consentito la redazione di una carta inventario dei fenomeni franosi. Le aree in frana cartografate fanno riferimento a: scorrimenti roto-traslazionali; frane complesse; zone franose (Antronico et al., 2013); tali fenomeni coinvolgono le coperture colluviali e le porzioni superficiali delle filladi completamente degradate, con distribuzioni granulometriche variabili da quelle delle argille debolmente sabbiose con limo a quelle dei limi con argilla.

Per quanto riguarda le conseguenze agli edifici si è condotta una campagna di rilievo del danno con l'ausilio di una scheda appositamente predisposta. Essa si compone di più sezioni che, tra l'altro, consentono la raccolta di informazioni riguardanti: la localizzazione del generico edificio e la sua descrizione in termini di tipologia strutturale e caratteristiche geometriche; il danno riscontrato mediante l'osservazione visiva dei prospetti esterni e classificato sulla base dei livelli di severità proposti da Burland et al. (1977). I risultati di tale campagna di rilievo, unitamente alla raccolta e alla sistematizzazione di informazioni storiche relative ad una serie di ordinanze di evacuazione/riparazione/demolizione di un gran numero di edifici emesse dal comune di Verbicaro nel periodo compreso tra il 1998 e il 2000, sono riportati in una zonazione dell'abitato che tiene conto dell'espansione urbana che il nucleo storico di Verbicaro ha avuto negli anni. Così operando si è ottenuta la mappa riportata in Figura 3a dalla quale si evince come le porzioni di territorio che presentano un maggiore stato di dissesto ricadano in aree in frana cartografate come attive.

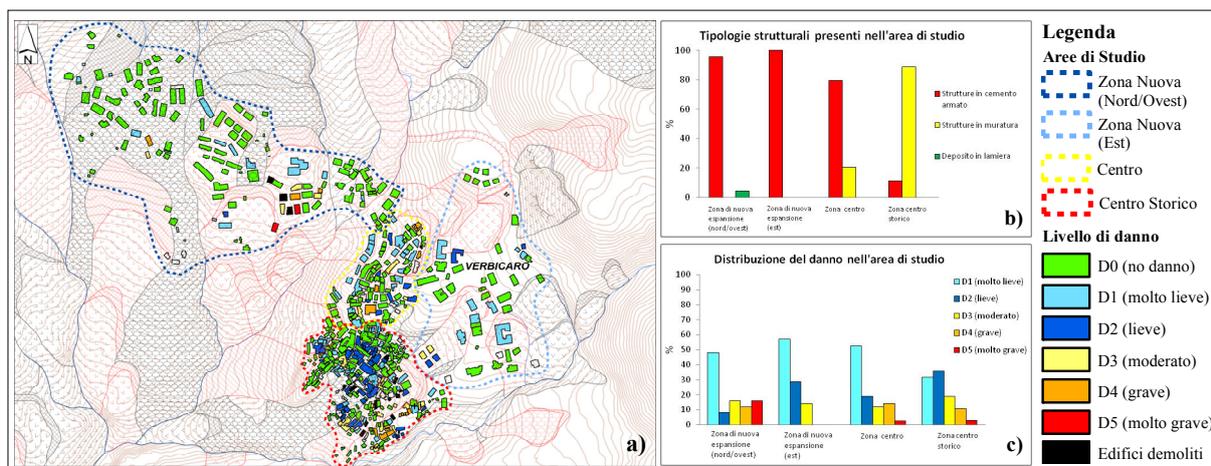


Fig. 3. a) Carta inventario dei fenomeni franosi ed edifici differenziati sulla base del livello di danno registrato; b) distribuzione delle tipologie strutturali e c) del livello di danno registrato nelle quattro zone in cui si è suddivisa l'area di studio.

Per quanto riguarda i dati DInSAR, il dataset disponibile per l'area in esame si compone di dati satellitari interferometrici derivanti da immagini ENVISAT acquisite su orbita ascendente (periodo 2003-2010), forniti dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare come risultato del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale elaborati con la tecnica interferometrica dei Permanent Scatterers (Ferretti et al., 2001), e dati ENVISAT acquisiti su orbita discendente (periodo 2003-2010) elaborati dall'IREA-CNR di Napoli (Fornaro et al., 2009). La disponibilità di dati su entrambe le orbite (Fig. 4a) ha consentito di determinare le componenti di velocità verticale -Vz- (Fig. 4b) ed orizzontale -Vo- (Fig. 4c) che sono state interpolate (con il metodo IDW su di una griglia a maglie quadre di lato 5 m) con riferimento alle quattro zone individuate in Figura 3a.

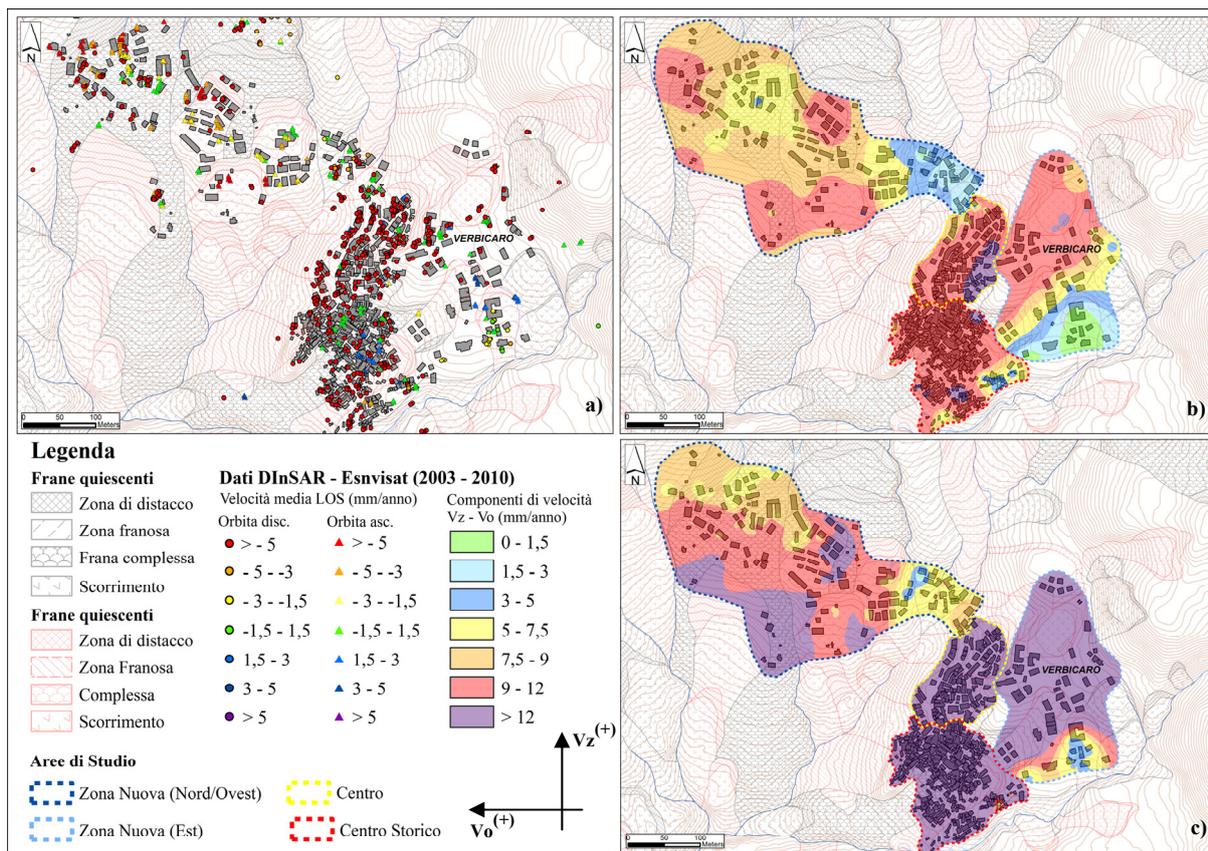


Fig 4. a) Dati DInSAR del sensore ENVISAT (2003 – 2010) acquisiti su orbita ascendente e discendente; b) componente di velocità verticale (V_z); c) componente di velocità orizzontale (V_o).

4. Risultati

Al fine di interpretare a livello preliminare le relazioni che sussistono tra causa (cinematismi dei corpi di frana) ed effetti (danni alle strutture), i dati di input, opportunamente elaborati come innanzi descritto, sono stati rappresentati nella carta di sintesi di Figura 5.

In particolare, con riferimento alle velocità di spostamento derivate dall'applicazione delle tecniche DInSAR, in ogni cella della griglia si è calcolato il rapporto tra i moduli delle componenti di velocità nella direzione verticale ($|V_z|$) e in quella orizzontale ($|V_o|$) e si è assunto che, in analogia a quanto riportato in Cascini et al. (2013): *i*) la componente della velocità nella direzione orizzontale fosse prevalente per valori del citato rapporto minori di 0,57 (pari alla tangente di un angolo di 30° compreso tra la direzione del movimento e l'asse orizzontale); *ii*) le componenti della velocità nella direzione verticale e in quella orizzontale risultassero comparabili per valori del citato rapporto compresi tra 0,57 e 1,73 (pari alla tangente di un angolo di 60° formato tra la direzione del movimento e l'asse orizzontale); *iii*) la componente della velocità nella direzione verticale fosse prevalente per valori del citato rapporto superiori a 1,73.

Il risultato dell'analisi evidenzia come in tutta l'area di studio la componente verticale della velocità di spostamento non risulti essere quasi mai prevalente. In particolare, si osserva che nella zona del centro storico, in cui gli edifici in muratura presentano un livello di danno che va da D1 a D5, la componente di velocità prevalente è quella orizzontale. Nelle zone di nuova espansione le velocità derivate dai dati DInSAR esibiscono componenti di velocità verticali e orizzontali comparabili nell'area posta a nord/ovest, dove si osservano danni da gravi (D4) a molto gravi (D5) che hanno condotto alla demolizione di alcuni edifici di 5-6 piani, e prevalentemente orizzontali nella zona ad est con edifici che presentano livelli di danno minori dei precedenti (D0-D3). Infine, nella zona del centro – dove

sorgono edifici con tipologia strutturale sia in muratura sia in cemento armato con un livello di danno che va da D0 a D4 – la componente di velocità prevalente è ancora quella orizzontale.

Tali osservazioni inducono inevitabilmente a necessari approfondimenti volti a far luce *i)* sui fattori di natura geologica e geomorfologica che condizionano la franosità dell'area di studio nonché *ii)* sulle cause che sono all'origine dei danni registrati al costruito. A tal riguardo, si segnala come nella zona del centro storico le conseguenze possano essere state amplificate dalla vetustà degli edifici, alcuni dei quali abbandonati; d'altra parte, nelle zone di nuova espansione gli edifici che palesano i danni di maggiore severità ricadono all'interno di corpi di frana cartografati come attivi.

Si sottolinea, infine, come le stesse osservazioni indirizzino verso livelli di analisi intermedi e/o avanzati che, mediante l'impiego di criteri di danneggiabilità e/o modelli numerici scelti sulla base delle risultanze delle analisi di livello preliminare, oggettivino le complesse interazioni che si stabiliscono tra corpi di frana attivi ed edifici con essi interagenti.

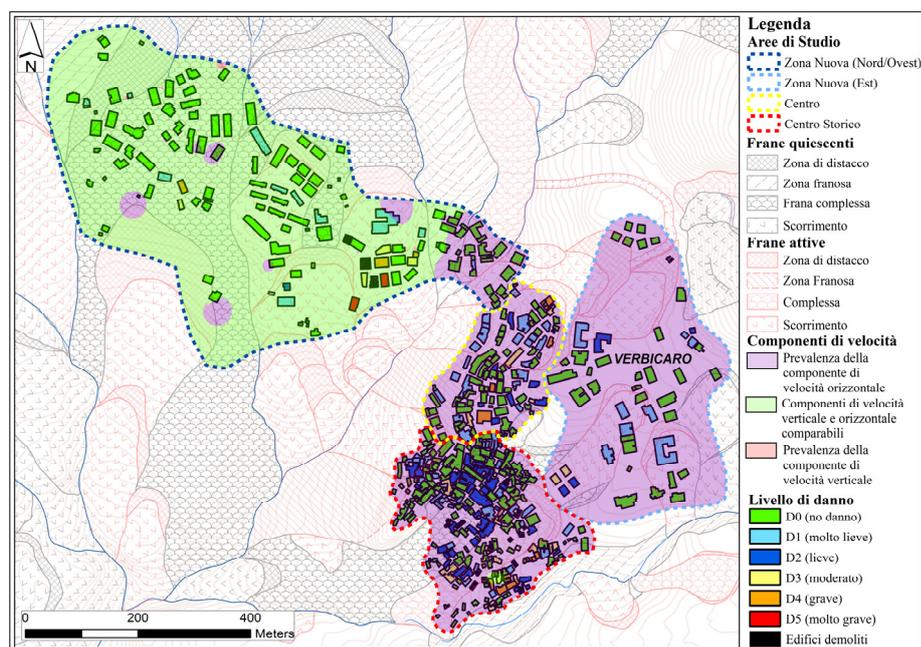


Fig. 5. Carta di sintesi dell'area urbana di Verbicaro con indicato il danno agli edifici, l'inventario dei fenomeni franosi e le componenti delle velocità di spostamento che risultano prevalenti.

Bibliografia

- Amodio Morelli L., Bonardi G., Colonna V., Dietrich D., Giunta G., Ippolito F., Liguori V., Lorenzoni S., Paglionico A., Perrone V., Piccarreta G., Russo M., Scandone P., Zanetti-Lorenzoni E., Zuppetta A. (1976). L'Arco Calabro-Peloritano nell'orogene appenninicomaghrebide, Memorie della Società Geologica Italiana, 17, 1–60.
- Antronico L., Borrelli L., Peduto D., Fornaro G., Gullà G., Paglia L., Zeni G. (2013). Conventional and innovative techniques for the monitoring of displacements in landslide affected area. In: Margottini C et al. (eds) Landslide Science and Practice, Volume 2: Early Warning, Instrumentation and Monitoring. Springer Berlin Heidelberg, pp 125-131.
- Burland J B., Broms B B., de Mello V F B. (1977). Behaviour of foundations and structures. SOA Report. Proc. 9th Int. Conf. SMFE, Tokyo, Vol. 2: 495-546.
- Cascini L., Peduto D., Pisciotta G., Arena L., Ferlisi S., Fornaro G. (2013) The combination of DInSAR and facility damage data for the updating of slow-moving landslide inventory maps at medium scale, Nat. Haz. Earth Syst. Sci., 13, 1527-1549.
- Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W., on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning, Eng. Geol., 102, 85–98 (la traduzione in lingua italiana, a cura di Ferlisi S., è disponibile on-line all'URL: http://www.associazionegeotecnica.it/sites/default/files/linee_guida_jtc-1_italiano_agi.pdf)
- Ferretti A., Prati C., Rocca F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry, IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens. 39, 8–20.
- Fornaro G., Pauciuolo A., Serafino F. (2009). Deformation monitoring over large areas with multipass differential SAR interferometry: a new approach based on the use of spatial differences, Int. J. Remote Sens., 30, 1455–1478.
- Vezzani L. (1968). La formazione del Frido (Neocomiano-Aptiano) tra il Pollino ed il Simi (Lucania), Geologica Romana, 8, 42.