

Definizione della suscettibilità a fenomeni alluvionali torrentizi in aree urbanizzate: alcuni esempi nell'Appennino Campano

*Flood susceptibility assessment in urbanized areas:
cases study in Campanian Appennines*

DI CRESCENZO G. (*), LIUZZA V. (*), SANTANGELO N. (**),
SANTO A. (***), SCORPIO V. (*)

RIASSUNTO - In questo articolo vengono proposti alcuni casi di studio per la definizione della suscettibilità a fenomeni alluvionali in aree di conoidi molto urbanizzati e alimentati da bacini carbonatici. La metodologia adottata tiene conto di rilievi geologici di dettaglio e necessita dell'integrazione di analisi morfometriche, storiche ed elaborazioni in ambiente GIS.

I casi di studio sono stati scelti in quanto esempi di aree pedemontane che nel passato sono state ripetutamente interessate da fenomeni alluvionali e, ciononostante, sono state oggetto di un notevole sviluppo del tessuto urbano. In particolare vengono descritte le fasce pedemontane dei Monti della Maddalena e dei Monti di Caserta (comuni di Sala Consilina, Arienzo e Santa Maria a Vico) che sono caratterizzate dalla presenza di conoidi attivi, poco incisi, e che presentano particolari situazioni di criticità per il normale deflusso delle acque nei centri urbani.

Lo studio proposto vuole fornire un contributo geologico per evidenziare, in ambito urbano, settori a diverso grado di suscettibilità ai processi alluvionali e, di conseguenza, per definire le aree a maggiore criticità e rischio.

PAROLE CHIAVE: conoidi alluvionali; flussi detritici; suscettibilità alluvionale; bacini torrentizi; Appennino meridionale

ABSTRACT - This paper proposed some cases study to define flood susceptibility assessment in highly urbanized alluvial fan located at the piedmont of carbonat massifs. The applied method takes into account field surveys and requires the in-

tegrations of morphometrical and historical analysis and Gis elaboration. The proposed cases study were chosen as example of piedmont areas which have been interested in the last decades by a significant urban development in spite in the past they were affected by different alluvial events. Particularly the study concerns three settlements located at the foothills of Maddalena and Caserta mountains (Sala Consilina, Arienzo e Santa Maria a Vico) which are built on active and little dissected alluvial fans that present several critical points to water flow in the urban center. The overall aim of this paper is the zoning of the fan surface trying to define different levels of flood susceptibility and, consequently, more critical zones for risk conditions.

KEY WORDS: alluvial fans; debris flows; flooding susceptibility; torrential basins; Southern Appennines

1. - INTRODUZIONE

A causa del ripetersi di eventi naturali calamitosi, spesso distruttivi, da qualche anno vengono condotti studi per la mitigazione dei rischi legati alle differenti tipologie di dissesti idrogeologici. In Italia molte ricerche sono state indirizzate alla previsione della pericolosità da frana (LEONE *et alii*, 1996; FELL & HARTFORD, 1997; ALEOTTI &

(*) PhD student University of Naples Federico II

(**) Department of Earth Sciences University of Naples Federico II

(***) Department of Hydraulic, Geotechnical and Environmental Engineering, Applied Geology Division, University of Naples Federico II

CHOWDHURY, 1999; CASCINI *et alii*, 2005) o da alluvioni da parte dei corsi d'acqua di fondovalle (GUZZETTI *et alii*, 2005), meno numerosi sono gli studi che si interessano dei corsi d'acqua a regime torrentizio, capaci di generare forme di accumulo note come conoidi (BULL, 1963, 1977).

Secondo il *National Research Council* degli Stati Uniti (NRC, 1996) il termine “*alluvial fan flooding*” può essere utilizzato per indicare un particolare tipo di alluvione che si verifica nelle zone pedemontane e che, oltre ad essere caratterizzato dai processi di inondazione, determina la deposizione di notevoli quantità di carico solido. Per tale motivo il rischio legato a questi processi deriva soprattutto dalle ingenti quantità di materiale solido che può essere mobilitato a valle e deposto in tempi relativamente brevi. I fenomeni di erosione, trasporto ed accumulo sono legati alle caratteristiche geologiche e geomorfologiche dei bacini imbriferi che presentano elevata acclività dei pendii e dei corsi d'acqua a cui si associa la presenza di coperture detritiche sui versanti (falde detritico-colluviali ed alteriti sciolte) e di depositi alluvionali nei letti dei torrenti (ghiaie, sabbie e limi).

In Appennino meridionale, i fenomeni alluvionali più intensi si ripetono, nello stesso luogo, con tempi di ritorno relativamente lunghi (50-100 anni); i corsi d'acqua che attraversano i centri abitati per molti anni possono essere inattivi o avere portate limitate; per tale motivo le aree di conoide vengono spesso urbanizzate non tenendo conto della presenza degli alvei naturali e delle possibili zone di espansione e di deposizione dei corpi detritici.

Questo inappropriato utilizzo del territorio ha creato condizioni di elevato rischio in molti contesti italiani come testimoniato dai recenti eventi occorsi in Liguria e Toscana; in Campania i differenti episodi verificatisi negli ultimi decenni (Vietri sul Mare nel 1954; Castellammare 1987 e 2000; Messina nel 2009; Casamicciola ed Atrani nel 2010; S. Gregorio Magno 2011) suggeriscono una fragilità territoriale particolarmente elevata.

L'intensità degli eventi dipende dalla tipologia dominante di trasporto e di deposizione del materiale. In letteratura ne vengono documentati differenti tipi ai cui estremi si pongono i processi da *water flood* e da *debris flow* (COSTA, 1988). La distin-

zione si basa sulla diversa concentrazione della componente solida, dalla quale discendono importanti differenze nel comportamento reologico complessivo. Nei *water flood* infatti il sedimento è trasportato prevalentemente sul fondo e risulta separato dalla componente liquida che si muove ad una velocità maggiore; nei *debris flow* il flusso è costituito da una miscela monofasica ad elevata concentrazione, nella quale l'acqua ed il solido si propagano con la stessa velocità. Ad ogni tipologia corrispondono differenze sedimentologiche e morfologiche nel conoide (SORRISO VALVO *et alii*, 1998; BLAIR, 1999a, 1999b; WILFORD *et alii*, 2004; DE SCALLY & OWENS, 2004; DE SCALLY *et alii*, 2010; SANTANGELO *et alii*, 2012).

I flussi da *debris flow* possono presentare delle portate di picco maggiori fino a 4-5 volte (HUNGR *et alii*, 2001; WILFORD *et alii*, 2004), e magnitudo superiori di alcuni ordini di grandezza (KELLERHALS & CHURCH, 1990) rispetto a quelle che si sviluppano per i *water flood*. Di conseguenza l'identificazione delle conoidi interessate da trasporto di tipo *debris flow* risulta fondamentale ai fini della pianificazione territoriale e della messa in opera di particolari interventi di mitigazione (AULITZKY, 1980; KELLERHALS & CHURCH, 1990; DE SCALLY & OWENS, 2004; WILFORD *et alii*, 2004).

Recenti studi a scala regionale (SANTANGELO *et alii*, 2012; SCORPIO, 2012), condotti su 102 sistemi bacino-conoide della Campania hanno permesso di individuare le aree per le quali è più elevata la probabilità di accadimento di fenomeni da *debris flow*. L'analisi è stata effettuata attraverso un approccio integrato di dati stratigrafici, morfologici e morfometrici elaborati mediante tecniche di statistica univariata e multivariata. Per la regione Campania è emerso che la maggior parte dei sistemi analizzati presenta un'elevata probabilità di essere soggetta ad un trasporto da *debris flow* soprattutto nella zona dei Monti di Caserta, Picentini e della Maddalena; per le aree dei Monti del Matese ed alcuni conoidi dei Monti della Maddalena risulta prevalente un trasporto da *water flood*.

In questo articolo vengono proposti alcuni casi di studio per la definizione della suscettibilità all'alluvionamento in aree di conoide urbanizzate alimentate da bacini idrografici carbonatici. La metodologia

adottata è quella proposta da SANTANGELO *et alii*, (2011) e tiene conto di una analisi storica, rilievi geologici di dettaglio, analisi morfometriche ed elaborazioni in ambiente GIS.

I casi di studio che si propongono sono stati scelti in quanto esempi di aree pedemontane dove negli ultimi decenni si è avuto un notevole sviluppo del tessuto urbano. Vengono descritti i casi di tre comuni delle fasce pedemontane dei Monti della Maddalena e dei Monti di Caserta (Sala Consilina, Arienzo e Santa Maria a Vico) per i quali in passato sono stati registrati diversi eventi alluvionali e i cui conoidi risultano attivi, poco incisi, e presentano particolari situazioni di criticità per il naturale deflusso delle acque che attraversano il centro urbano.

Lo studio proposto, condotto alla scala del singolo conoide, vuole dare un contributo per la zonazione delle aree a diversa suscettibilità alluvionale, applicabile nei contesti particolarmente antropizzati dove le normali dinamiche di alveo vengono alterate dall'attività antropica.

2. – METODO PER LA DEFINIZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ

A fini della zonazione delle aree a diversa suscettibilità all'interno dello stesso corpo di conoide, è stato utilizzato un metodo proposto da SANTANGELO *et alii*, (2011). Esso applica un approccio geomorfologico che valuta la distribuzione di alcuni fattori predisponenti ed indicativi della dinamica delle alluvioni passate. Il principio fondamentale su cui si basa è quello dell'attualismo, ovvero si ipotizza che le porzioni del conoide che hanno una più elevata probabilità di riattivarsi in futuro siano le stesse in cui sono stati registrati degli eventi in passato.

La metodologia può dare buoni risultati in aree altamente antropizzate nelle quali le acque non seguono più le naturali vie di deflusso, ormai in gran parte obliterate, ma risultano fortemente condizionate dalla presenza di costruzioni (strade o punti di criticità in alveo). I fattori predisponenti analizzati sono quelli morfologici (pendenza e lobi), antropici (urbanizzato ed infrastrutture) e i dati storici relativi alle aree danneggiate in passato.

I fattori morfologici comprendono la pendenza

del conoide e la presenza di lobi di posizionali che vengono valutati a partire sia da studi di campo che di laboratorio come l'analisi di foto aeree, carte topografiche di grande dettaglio ed elaborazione di carte della pendenza da DTM.

Per la definizione dei fattori antropici occorre eseguire una campagna di rilevamento dello stato degli alvei, delle strade che possono deviare i flussi, della presenza di punti critici e di strutture antropiche che possono interferire e condizionare la dinamica dell'evento alluvionale (fig. 1).

L'ultimo fattore, molto importante, è quello della ricostruzione delle aree danneggiate dalle alluvioni in tempi storici, ricavata da ricerche di archivio e da fonti documentaristiche (fig. 2).

La carta della suscettibilità si ricava attraverso l'overlay dei diversi tematismi in ambiente GIS (SANTANGELO *et alii*, 2011), di cui si riporta una matrice di sintesi nella figura 3.

L'applicazione della matrice implica che dove sono presenti più fattori predisponenti la suscettibilità finale risulterà più elevata.

Le classi di suscettibilità sono quattro ed ognuna può essere ritenuta indicativa di differenti quantitativi e modalità di trasporto del carico solido da parte del flusso.

3. – AREE DI STUDIO

Per la sperimentazione del metodo sono stati selezionati diversi conoidi in due aree di studio: Sala Consilina nei Monti della Maddalena e Santa Maria a Vico ed Arienzo nei Monti di Caserta (fig. 4).

Questi centri abitati ricadono su conoidi che presentano un trasporto prevalente da *debris flow* e che sono stati attivi più volte in tempi storici.

Nel caso di Sala Consilina sono stati analizzati sei conoidi che si sviluppano verso l'area pianeggiante del Vallo di Diano che costituisce una delle principali conche intramontane dell'Appennino meridionale (SANTANGELO, 1991; ASCIONE *et alii*, 1992). Tra il Pleistocene e l'Olocene il Vallo di Diano è stato interessato da una sedimentazione in ambiente lacustre testimoniata da due cicli di depositi rinvenibili nelle zone centrali della piana. Lungo i bordi, a seguito dell'attività tettonica estensio-



Fig. 1 - Esempi dello stato degli alvei nel Comune di Sala Consilina. In (a) e (b) l'impluvio principale è tombato; (c) l'impluvio diventa un alveo strada; (d) l'alveo presenta una sezione molto piccola ed è delimitato lateralmente da abitazioni.

- Examples of hydraulic critical points in Sala Consilina: (a) and (b) the main stream is channelled underground; (c) the stream re-emerges but its bed has become a road; (d) the stream has a very small cross-section and is completely surrounded by houses.

nale, a partire dal Pleistocene medio (SANTANGELO, 1991) si sono depositi corpi di conoide riconducibili a due generazioni: la prima (Pleistocene medio) risulta incisa ed inattiva mentre la seconda (Pleistocene superiore-Olocene) appare poco o per nulla incisa e caratterizzata dalla presenza di lobi deposizionali relitti (BUDETTA *et alii*, 2000; SANTANGELO *et alii*, 2006).

Vari studi stratigrafici e morfometrici hanno evidenziato che i conoidi di Sala Consilina sono stati interessati da fenomeni di trasporto da *debris flow* sia nell'Olocene che in tempi storici (SANTANGELO *et alii*, 2006, 2011, 2012) e quindi, se si tiene conto anche della notevole urbanizzazione dei luoghi, possono essere ritenuti ad alto rischio. I conoidi

sono alimentati da bacini idrografici di limitata estensione e con areali variabili da 0.09 km² a 2.66 km², impostati su dolomie mesozoiche ricoperte da depositi di versante detritici e colluviali e da ghiaie e sabbie fluviali negli alvei.

I conoidi della seconda area di studio (Arienzo e Santa Maria a Vico) sono ubicati nella Valle Caudina lungo i bordi dei Monti di Caserta-Durazzano a nord e di Avella a sud. Alla fine del Pleistocene e per tutto l'Olocene in quest'area si è avuta la deposizione, molto influenzata dalla presenza di materiale piroclastico sui versanti, di corpi di conoide multipli costituiti da due generazioni, di cui la prima viene attribuita al Pleistocene superiore e la seconda all'Olocene (ZANCHETTA *et alii*, 2004).



Fig. 2 - Testimonianze fotografiche delle alluvioni storiche in a, b, c, per il comune di Sala Consilina e in (d) per il comune di Arienzo.
- *Photographic evidence of historical alluvial events in a,b,c for Sala Consilina settlement and in (d) for Arienzo settlement.*

Classes Scores		Steepness		
		<6°	6°-12°	12°-30°
Predisposing factors	One factor	1 (low)	2 (medium)	3 (high)
	Two factors	2 medium	3 high	4 high
	Three factors	3 high	4 high	5 very high
		4 high	5 very high	6 very high

Fig. 3 - Matrice utilizzata per la zonazione della suscettibilità alluvionale in area di conoide (da SANTANGELO *et alii*, 2012).

- *Matrix used for zoning of flood susceptibility in alluvial fan (from SANTANGELO *et alii*, 2012).*

Anche in questo caso i 5 conoidi analizzati vengono classificati da precedenti studi come interessati da fenomeni di trasporto da *debris flow* (SANTANGELO *et alii*, 2012; SCORPIO, 2012). I bacini di alimentazione presentano estensioni areali variabili da 0.1 km² a 1.1 km², e risultano impostati su calcari cretatici di piattaforma carbonatica i quali sono ricoperti da spessori variabili da 0.30 cm fino a 5 m di depositi piroclastici da caduta, legati alle eruzioni del Somma-Vesuvio.

3.1. – IL CASO STUDIO DI SALA CONSILINA

I conoidi di Sala Consilina presentano delle estensioni areali variabili da 0.03 km² e 0.65 km², si caratterizzano per un elevato valore della acclività media, che varia tra i 7° ed i 17° e per la presenza di evidenti lobi deposizionali che si

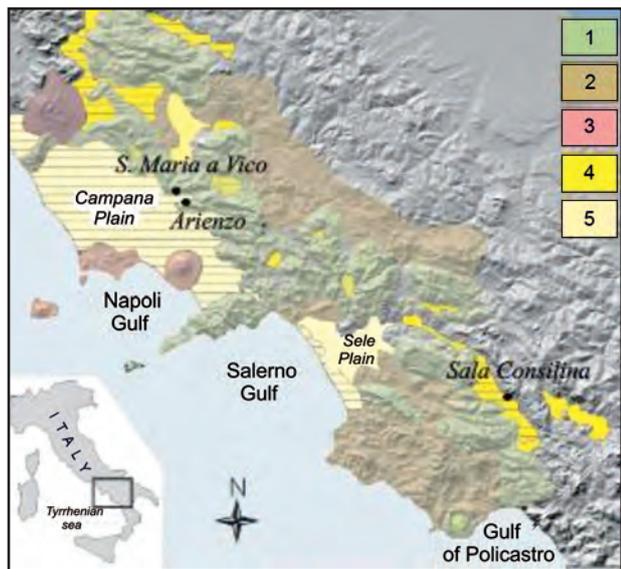


Fig. 4 - Ubicazione delle aree di studio. 1) carbonati mesozoici; 2) depositi terrigeni terziari; 3) vulcaniti e lave quaternarie; 4) depositi fluvio-lacustri di bacini intermontani quaternari; 5) depositi piroclastici ed alluvionali del Quaternario.

- Location of study areas 1) Mesozoic carbonate massifs; 2) Miocene billy terrigenous areas; 3) Quaternary volcanic areas; 4) Quaternary intramontane basins; 5) Quaternary coastal plains.

sviluppano già a partire dalle zone apicali, estendendosi lungo tutto il corpo di conoide. In generale le pendenze dei corpi di conoide tendono a diminuire dalle zone apicali, dove presentano valori maggiori di 12°, a quelle mediane, dove sono comprese tra i 12° ed i 6°, a quelle distali dove risultano inferiori ai 6°.

L'analisi di campo ha permesso di ricostruire la carta dello stato degli alvei e delle strade sovrapposte ad alvei tombati, evidenziando che spesso le attività antropiche ne hanno completamente alterato il naturale assetto (figg. 1 e 5).

In particolare nella zona urbanizzata gli alvei risultano tombati e ricoperti da strade per la maggior parte della lunghezza; dove essi non sono tombati appaiono cementati e con una sezione non sempre sufficientemente ampia da riuscire a contenere i flussi di eventuali eventi di forte intensità. In molte circostanze inoltre, risultano colmati da vegetazione e detriti. In alcuni tratti si nota una brusca variazione del tracciato a causa della costruzione di strutture antropiche.

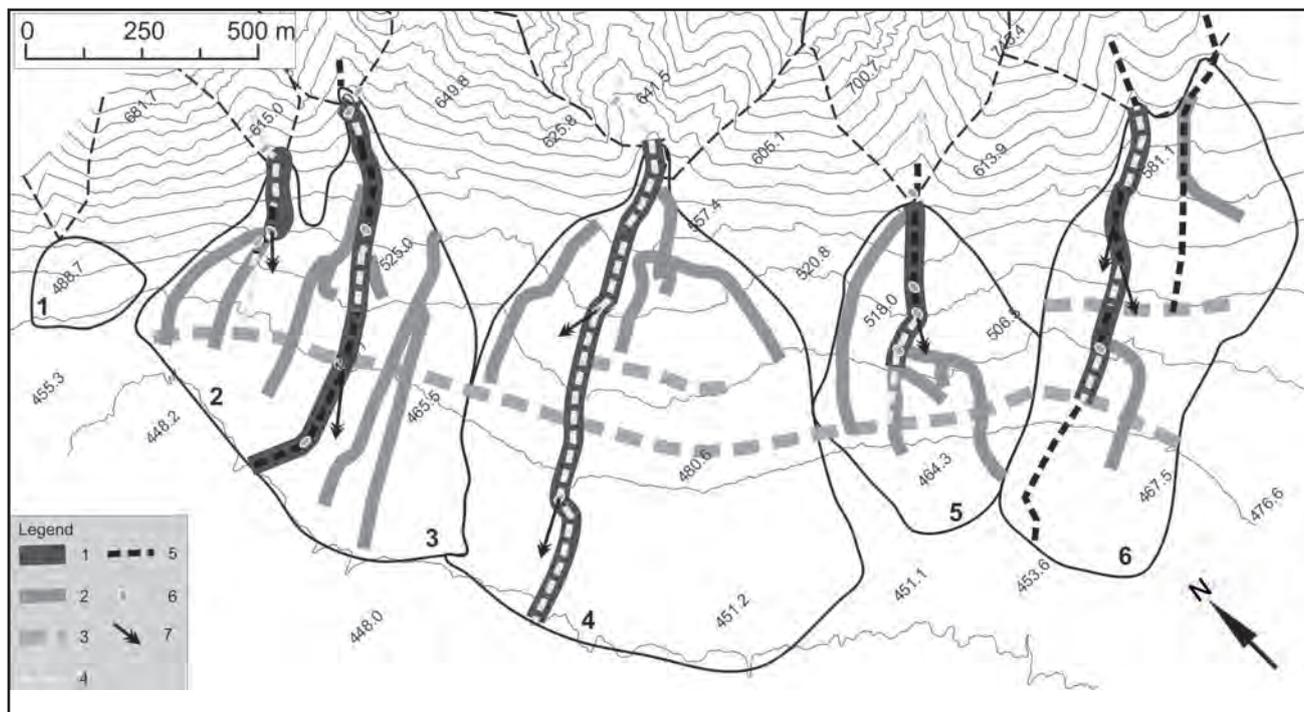


Fig. 5 - Carta delle condizioni idrauliche 1) strade principali lungo le quali il flusso può essere facilmente canalizzato; 2) strade secondarie lungo le quali il flusso può essere canalizzato; 3) strade perpendicolari alla direzione del conoide dove il flusso difficilmente può defluire; 4) alveo tombato; 5) alveo naturale; 6) punti critici dovuti alla ristretta sezione d'alveo 7) punti critici dovuti a bruschi cambi nella direzione del flusso, (da SANTANGELO et alii, 2011).

- Map of the hydraulic network condition. (1) Main road along which the flow can be easily channelled; (2) secondary road along which the flow can be channelled; (3) street perpendicular to the fan direction where the flow can't be channelled; (4) underground channelled stream; (5) critical point due to the abrupt change in stream direction; (6) possible outflow direction.

Nella carta di figura 4 vengono evidenziate anche le strade nelle quali si potrebbero incanalare i flussi, che spesso si posizionano al centro di vecchi lobi abbandonati. Talora, come riportato nella figura 1 a, b, c, i palazzi fungono da fianco di contenimento degli alvei.

L'analisi storica ha evidenziato l'accadimento di eventi alluvionali durante il XIX e parte del XX secolo (SANTANGELO *et alii*, 2011). La ricerca è stata effettuata presso l'archivio di stato di Salerno, l'Emeroteca della Biblioteca Nazionale di Napoli, il rinvenimento di testimonianze fotografiche e le interviste effettuate in loco. Le descrizioni hanno consentito di delimitare le aree in cui si sono verificati i danni (fig. 6) e di ipotizzare una tipologia di trasporto prevalente dell'evento.

In particolare è stato notato che il luogo maggiormente colpito dalle alluvioni risulta essere la Piazza Umberto I, situata nelle zone apicali del conoide numero 4 di figura 6; altri danni si registrano in corrispondenza dei lobi mappati su base topografica. Per tutti gli eventi si evidenzia che le dimensioni dei clasti trasportati possono raggiungere anche il m³ e che la grande quantità di materiale detritico alcune volte ha abbattuto le abitazioni e causato vittime. Le descrizioni hanno permesso di

interpretare una tipologia di trasporto prevalente da *debris flow*.

L'applicazione della metodologia proposta in (SANTANGELO *et alii*, 2011) ha individuato quattro fasce di suscettibilità (fig. 7).

La classe di suscettibilità "molto alta" coincide con le zone a pendenza più elevata (generalmente coincidenti con le zone apicali) in cui esiste la compresenza di tutti gli altri fattori predisponenti (dati storici, presenza di lobi, presenza di alvei tombati e/o di alvei strada). In queste aree è prevedibile il transito e/o la deposizione di materiale detritico molto grossolano con blocchi di dimensioni fino ad un metro di diametro, alberi, e grandi quantità di matrice che può causare danni alle abitazioni.

La classe ad "alta suscettibilità" viene attribuita a quelle aree dove, per la presenza di punti critici, il flusso può facilmente essere canalizzato lungo le strade. Anche in questo caso si colloca prevalentemente nelle aree apicali e lungo strade che si impongono su lobi di conoide.

La classe a "media suscettibilità" si rinviene nelle zone centrali dei conoidi e costituisce delle aree in cui i flussi hanno già abbandonato gran parte del loro carico solido. Queste aree possono essere soggette prevalentemente ad allagamenti.

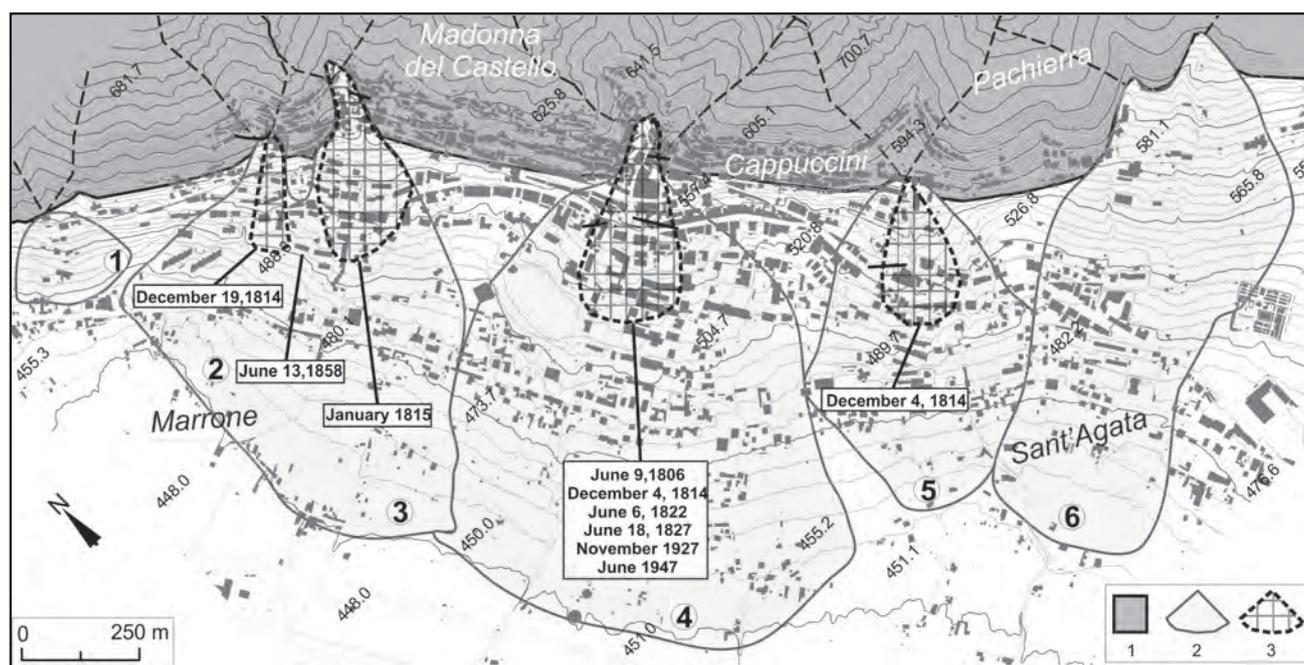


Fig. 6 - Carta degli eventi storici. 1) versanti; 2) conoidi alluvionali; 3) aree danneggiate, (da SANTANGELO *et alii*, 2011).

- Historical events map (1) border slope; (2) alluvial fan; (3) damage zone, (from SANTANGELO *et alii*, 2011).

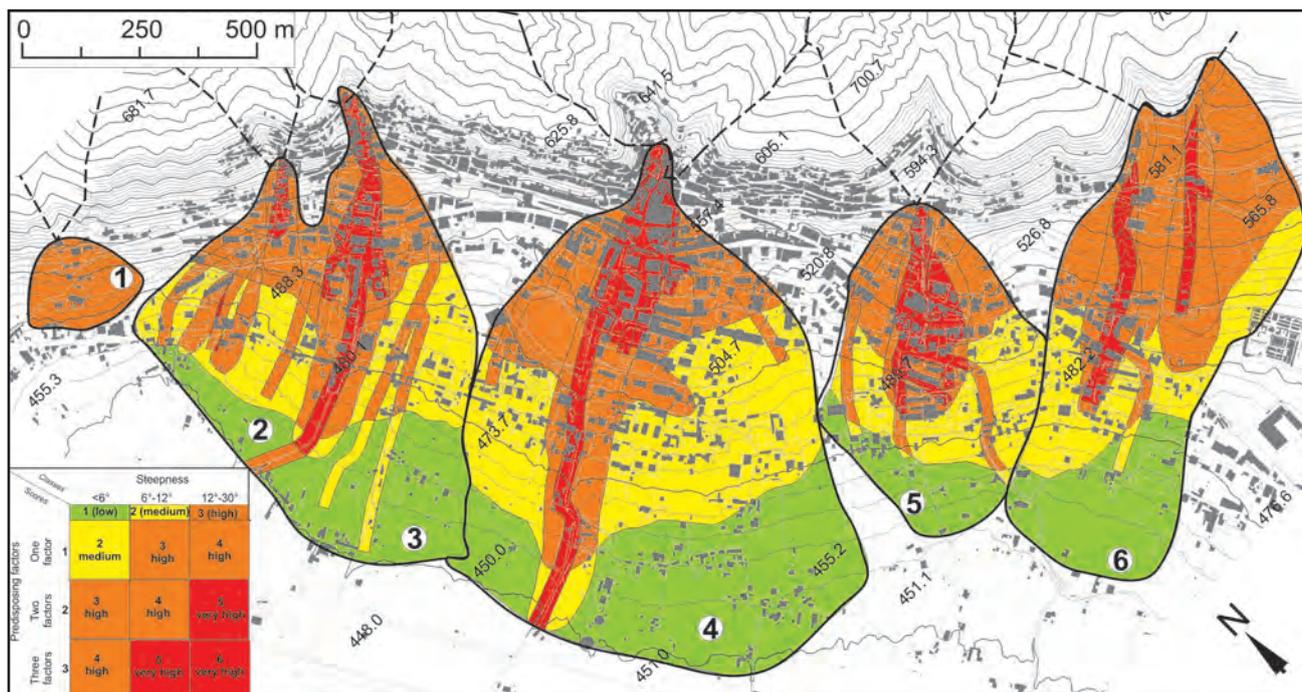


Fig. 7 - Carta della suscettibilità alluvionale per il comune di Sala Consilina, (da SANTANGELO *et alii*, 2011).
 - Alluvial fan flooding susceptibility map for Sala Consilina settlement, (from SANTANGELO *et alii*, 2011).

La classe di suscettibilità bassa si rinviene nelle aree distali a bassa pendenza, dove i flussi sono costituiti prevalentemente da acqua con tirante di pochi centimetri.

Come si nota dalla figura 7, i diverse conoidi di Sala Consilina presentano una distribuzione delle fasce di suscettibilità molto simili: le zone su cui sorge la maggior parte dell'antropizzato (circa il 50%) ricadono in aree a suscettibilità "elevata" e "molto elevata" in quanto la maggior parte dell'abitato è posto nelle zone apicali o mediane del conoide attivo.

3.2. – IL CASO STUDIO DI ARIENZO

Il comune di Arienzo sorge su cinque conoidi alluvionali con estensioni variabili tra 0.01 km² a 0.29 km². Le pendenze medie dei conoidi assumono valori pari a 5°, 8° o 14°. È possibile individuare una diminuzione della pendenza media dall'apice dove in genere assume valori maggiori di 4° verso il piede dove invece assume valori minori di 4°.

Il rilevamento di campo ha evidenziato che questi corpi sono costituiti da depositi molto caotici composti da clasti carbonatici sub-arrotondati di dimensioni variabili dai blocchi alle ghiaie, immersi

in una matrice piroclastica bruna, che si alternano a livelli piroclastici rimaneggiati a granulometria sabbiosa contenenti clasti carbonatici di 1-2 cm. La maggior parte di questi depositi vengono attribuiti a processi da *debris flow* (ZANCHETTA *et alii*, 2004). Per gran parte della lunghezza, gli alvei che attraversano il centro abitato sono stati rettificati, tombati (fig. 8) e ricoperti da strade.

Come si nota dalla foto b in figura 8, le acque vengono smaltite attraverso un tubo di 50 cm di diametro, completamente insufficiente per il naturale deflusso delle acque e sicuramente non idoneo se si pensa al transito di elementi detritici che, come evidenziato dal rilevamento geologico, possono raggiungere dimensioni anche maggiori agli 80 cm di diametro. Durante eventi alluvionali intensi il materiale transiterebbe sulla strada che ricopre l'alveo convogliando le acque ed il detrito verso le vicine abitazioni (fig. 8 c, d).

Per questo conoide, consultando l'emeroteca di Napoli e alcuni testi della storia locale (MAURO, 1977; MAURO & DI ROSA, 1987), sono stati ricostruiti vari eventi occorsi tra il 1811 ed il 1970. Per molti di questi eventi la tipologia di trasporto ipotizzabile è al limite tra una corrente liquida con notevole carico solido ed un *debris flow*; sono descritti

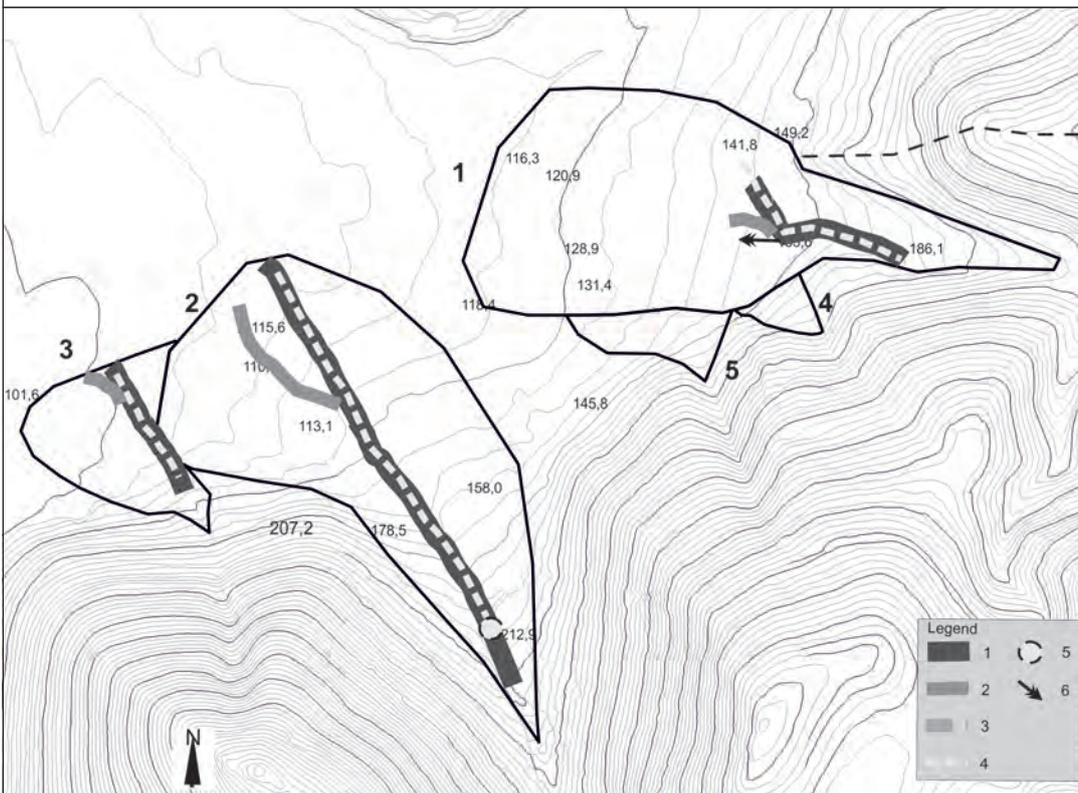
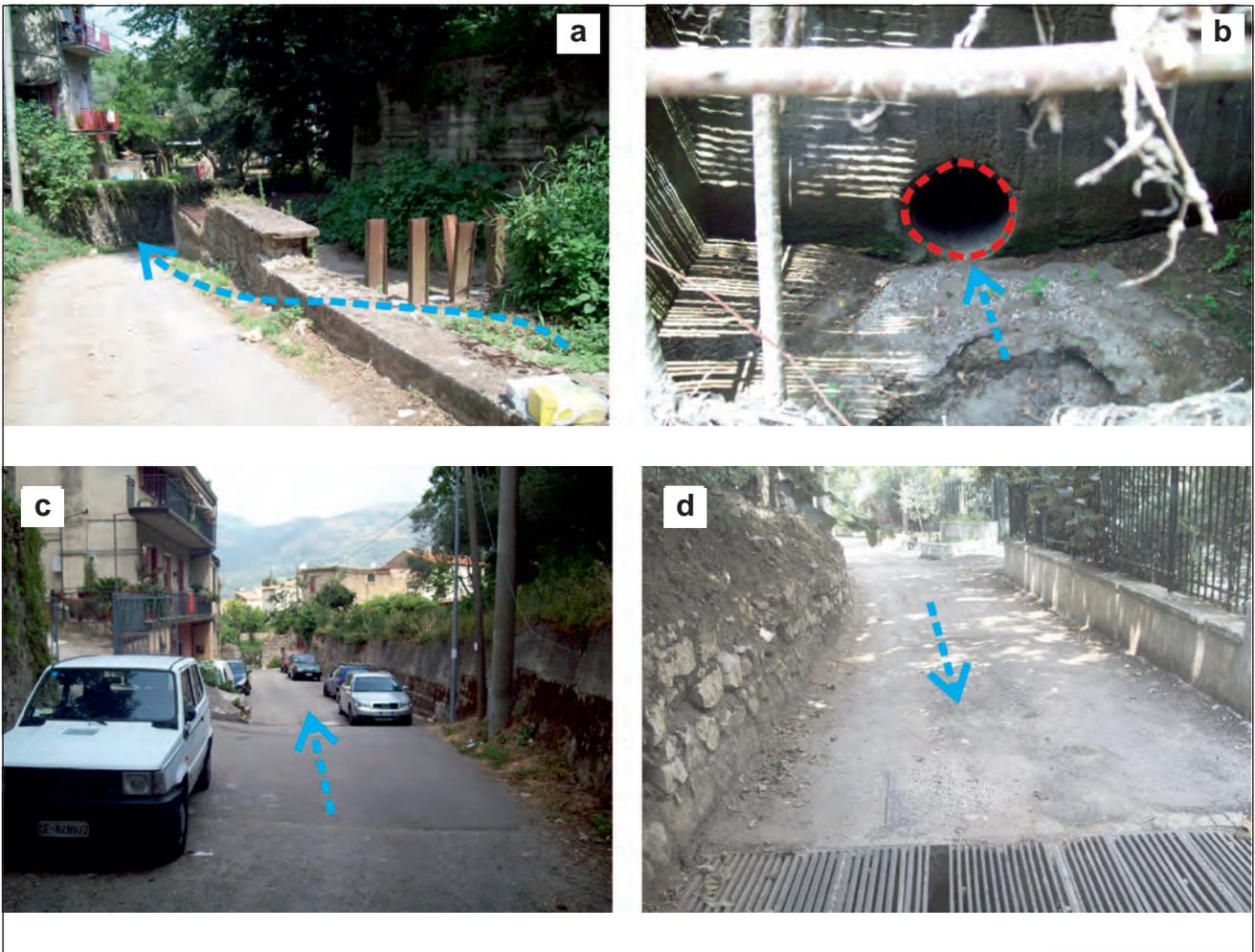


Fig. 8 - Carta delle condizioni idrauliche: 1) strada principale che può canalizzare il flusso; 2) strada secondaria lungo la quale può essere incanalato il flusso; 3) strada perpendicolare alla conoide; 4) alveo tombato; 5) punto critico; 6) possibile direzione di deflusso.

- Map of the hydraulic network condition. 1) Main road along which the flow can be easily channelled; 2) secondary road along which the flow can be channelled; 3) street perpendicular to the fan direction where the flow can't be channelled; 4) underground channelled stream; 5) critical point due to the abrupt change in stream direction; 6) possible outflow direction.

infatti “*territori allagati, chiese coperte d’acqua, straripamenti, cantine sotterrate o rese inabitabili, strade riempite di limo e pietre e arena, case sotterrate, flussi di lava*”. I toponimi usati nelle descrizioni permettono di ubicare solo una parte degli episodi (fig. 9), ma allo stesso tempo consentono di rilevare che le aree più colpite, nella maggior parte dei casi, coincidono con i lobi deposizionali mappati su base morfologica.

La carta della suscettibilità ottenuta per il comune di Arienzo evidenzia che le aree ad “alta suscettibilità” sono costituite dall’alveo strada principale e dal lobo da esso alimentato (fig. 10). Aree a “suscettibilità media” si rinvencono in prossimità delle aree apicali e in corrispondenza dei lobi laterali verso i quali i flussi vengono deviati dall’assetto urbano e dalle strade laterali. La maggior parte della superficie del conoide è caratterizzata invece da una “suscettibilità bassa”. In generale la classe di suscettibilità più diffusa è quella “media”, la quale interessa vaste porzioni del centro abitato.

3.3. - IL CASO DI SANTA MARIA A VICO

Il centro abitato di Santa Maria a Vico si colloca su una conoide estesa 0.24 km² e caratterizzata da pendenze medie di 6°. L’analisi morfologica evidenzia che questo corpo è costituito da due generazioni di conoide incastrate e presenta un grande lobo deposizionale che si sviluppa parallelamente all’asta di drenaggio principale a partire dalla quote di 125 m s.l.m.

L’alveo principale è naturale e inciso di almeno 10-15 m quando attraversa la conoide più antica, ma al passaggio con quella di seconda generazione diventa completamente antropizzato. In particolare risulta sistemato da piccole briglie per alcune decine di metri dall’apice idrografico (fig. 11 a, b) e diventa tombato e ricoperto dalla via Loreto per tutto il tratto in cui attraversa (fig. 11 b) il centro abitato (fig. 11 c, d).

Non mancano punti critici come ad esempio il

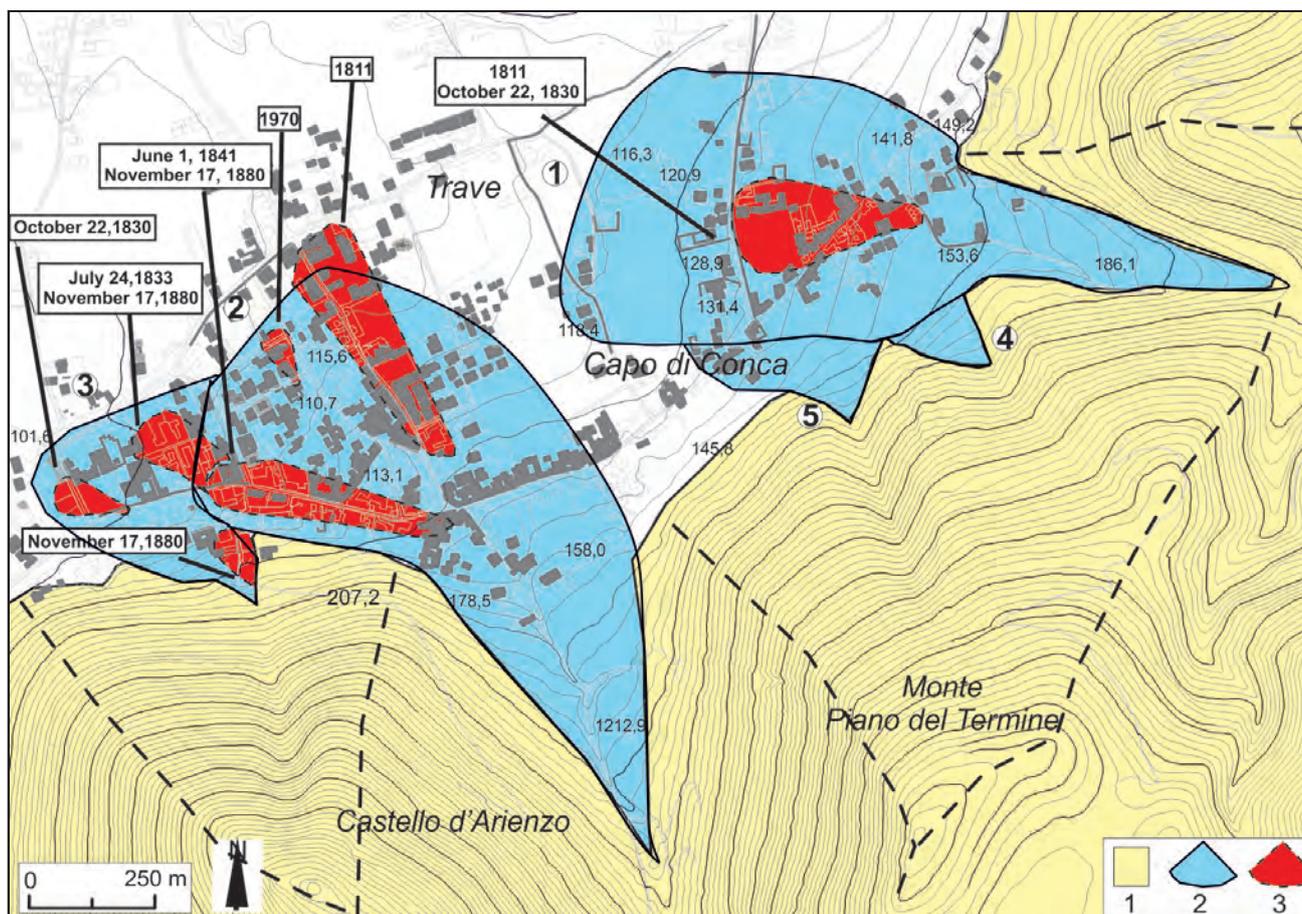


Fig. 9 - Carta degli eventi storici. 1) versanti; 2) conoidi alluvionali; 3) aree danneggiate.
- Historical events map (1) border slope; (2) alluvial fan; (3) damage zone.

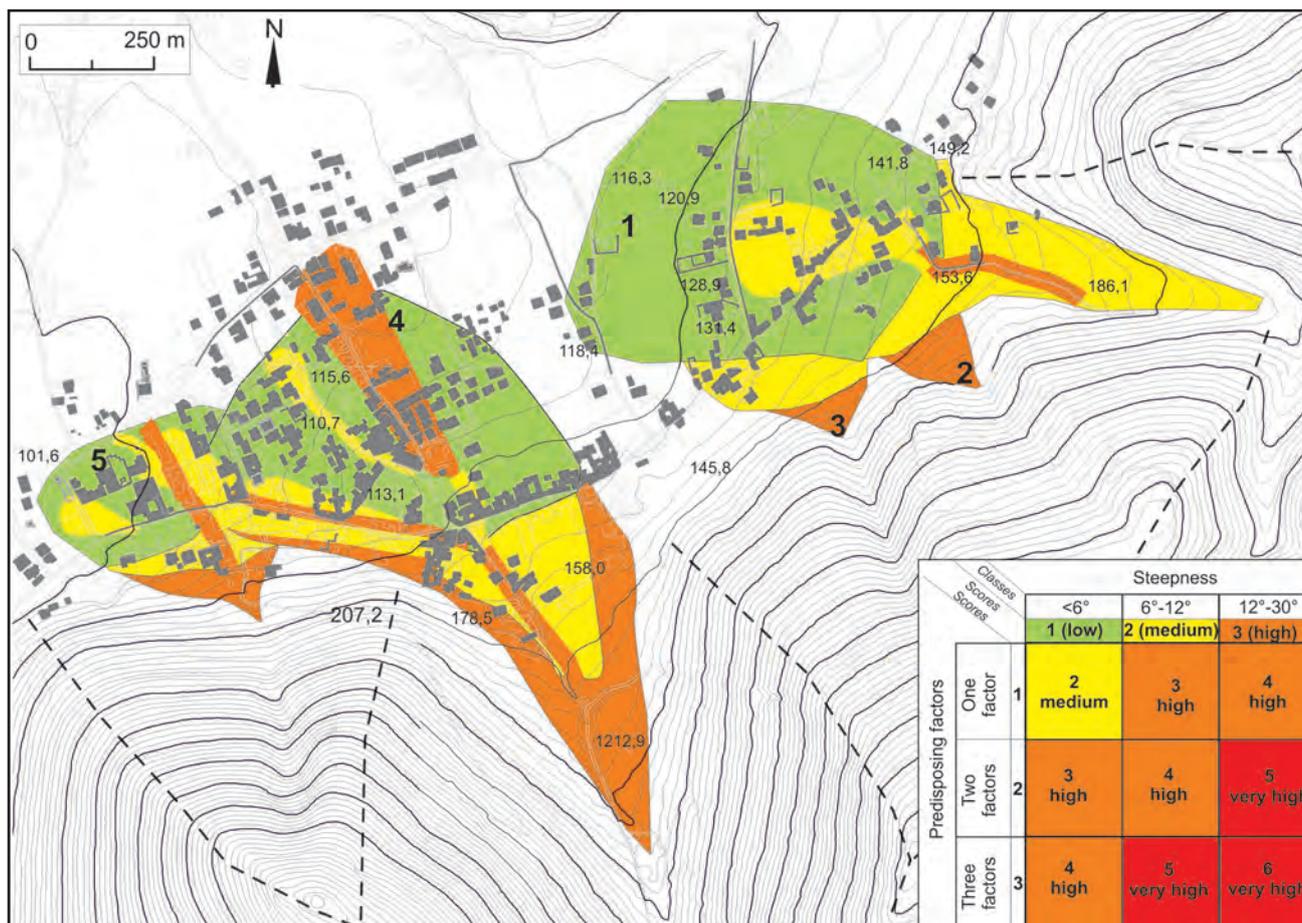


Fig. 10 - Carta della suscettibilità alluvionale per le conoidi di Arienzo.
- Alluvial fan flooding susceptibility map for Arienzo settlement.

ponte della ferrovia (fig. 11 c) che si ubica a poche centinaia di metri dall'apice idrografico. Tale ponte potrebbe intercettare i sedimenti solidi e detritici più grossolani ed ostruirsi, causando di conseguenza l'allagamento di tutto il settore posto a monte e favorendo fenomeni di *dam break*.

Per quanto riguarda i fenomeni di trasporto solido, lo studio geomorfologico e stratigrafico di dettaglio (scala 1:1000) e alcune indagini geognostiche (trincee, fig. 12) hanno permesso di ricostruire, con criteri geomorfologici, le curve di livello relativamente alla zona antropizzata e di localizzare con maggiore precisione i limiti della conoide antica e di quella recente (fig. 13).

I dati stratigrafici di 4 trincee (profondità di circa 3 m) realizzate nella zona distale confermano l'esistenza di materiale di conoide antica, ormai fossile, ricoperta, costantemente, da 2 m di piroclastiti. Non sono stati ritrovati in superficie evidenze stratigrafiche di accumuli ghiaiosi di conoidi

torrentizie recenti. Si rinvennero invece solo materiali piroclastici da caduta o dovuti ad apporti gravitativi molto lenti, che hanno prodotto colluvioni piroclastiche solo localmente contenenti isolati clasti calcarei smussati e carsificati.

In figura 13 è stato ricostruito l'evento alluvionale del 22 agosto 2001 che ad ora è quello meglio documentato. Esso è stato caratterizzato dal sovralluvionamento di acque e detriti a partire da una quota di poco superiore a 135 m s.l.m. Le acque hanno invaso via Loreto facendo crollare i solai di uno stabile (in prossimità dell'apice idrografico) e allagando negozi, abitazioni e garage. Sono stati inoltre segnalati notevoli danni alle auto che sostavano lungo tutta la strada. La linea ferroviaria e tutti i servizi ad essa associati furono interrotti.

I rilevamenti eseguiti nei giorni successivi all'episodio hanno consentito di ricostruire lo spessore del materiale nelle varie zone del centro abitato interessato ed, in particolare, lungo via Lo-



Fig. 11 - Carta delle condizioni idrauliche. A e B alveo sistemato con briglie, C e D alveo tombato/strada.
 - Map of the hydraulic network condition. A and B stream with weirs, C and D underground/ road channelled stream.

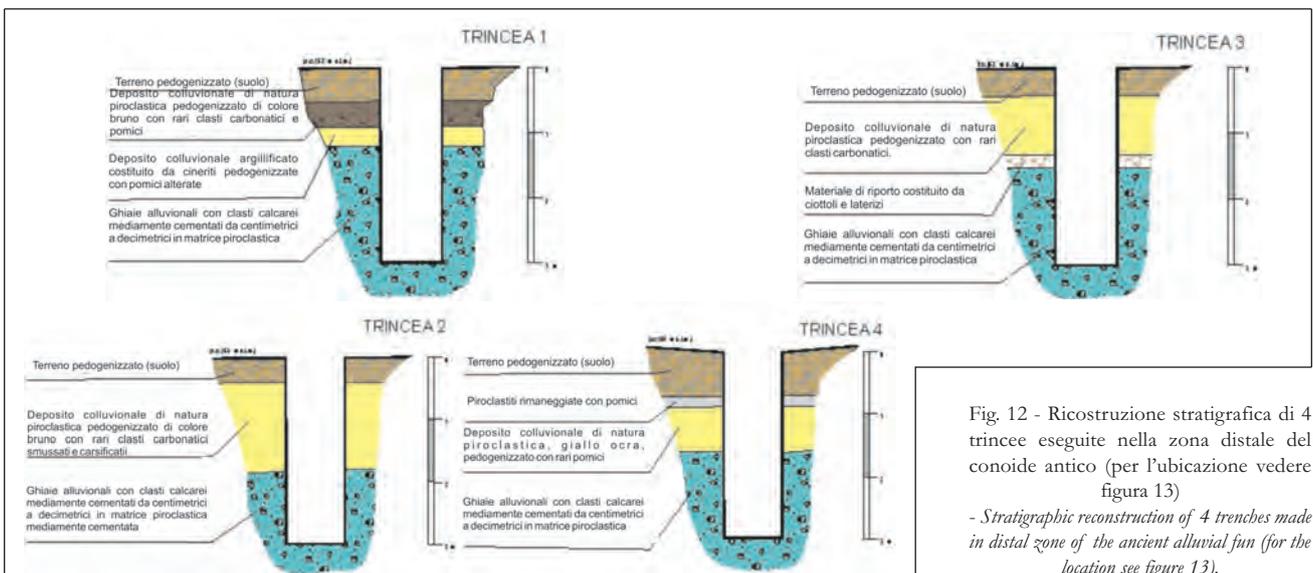


Fig. 12 - Ricostruzione stratigrafica di 4 trincee eseguite nella zona distale del conoide antico (per l'ubicazione vedere figura 13)
 - Stratigraphic reconstruction of 4 trenches made in distal zone of the ancient alluvial fan (for the location see figure 13).

reto. Qui la lama d'acqua e fango raggiunge un'altezza di circa 2 m nella zona apicale e di 0.5 m in quella distale. Nelle strade trasversali a quella principale i flussi presentavano altezze variabili tra alcuni decimetri fino a qualche centimetro (fig. 11).

L'applicazione della metodologia proposta SANTANGELO *et alii* (2011), ha evidenziato che le aree maggiormente suscettibili sono disposte lateralmente al corso d'acqua principale e corrispondono grossomodo con il lobo deposizionale mappato su base topografica e con le aree allagate durante l'agosto 2001 (fig. 14).

4. - CONCLUSIONI

Come ben evidenziato in recenti ricerche (SCORPIO, 2012; SANTANGELO *et alii*, 2012) molti settori pedemontani della regione Campania coincidono con corpi di conoidi attivi che sono altamente suscettibili a fenomeni alluvionali e di trasporto solido. Essi si riattivano, nello stesso luogo, con tempi di ritorno mediamente alti (50-100 anni) e, a causa di una gestione poco attenta e non lungimirante del territorio, sono stati oggetto di una forte espansione urbanistica.

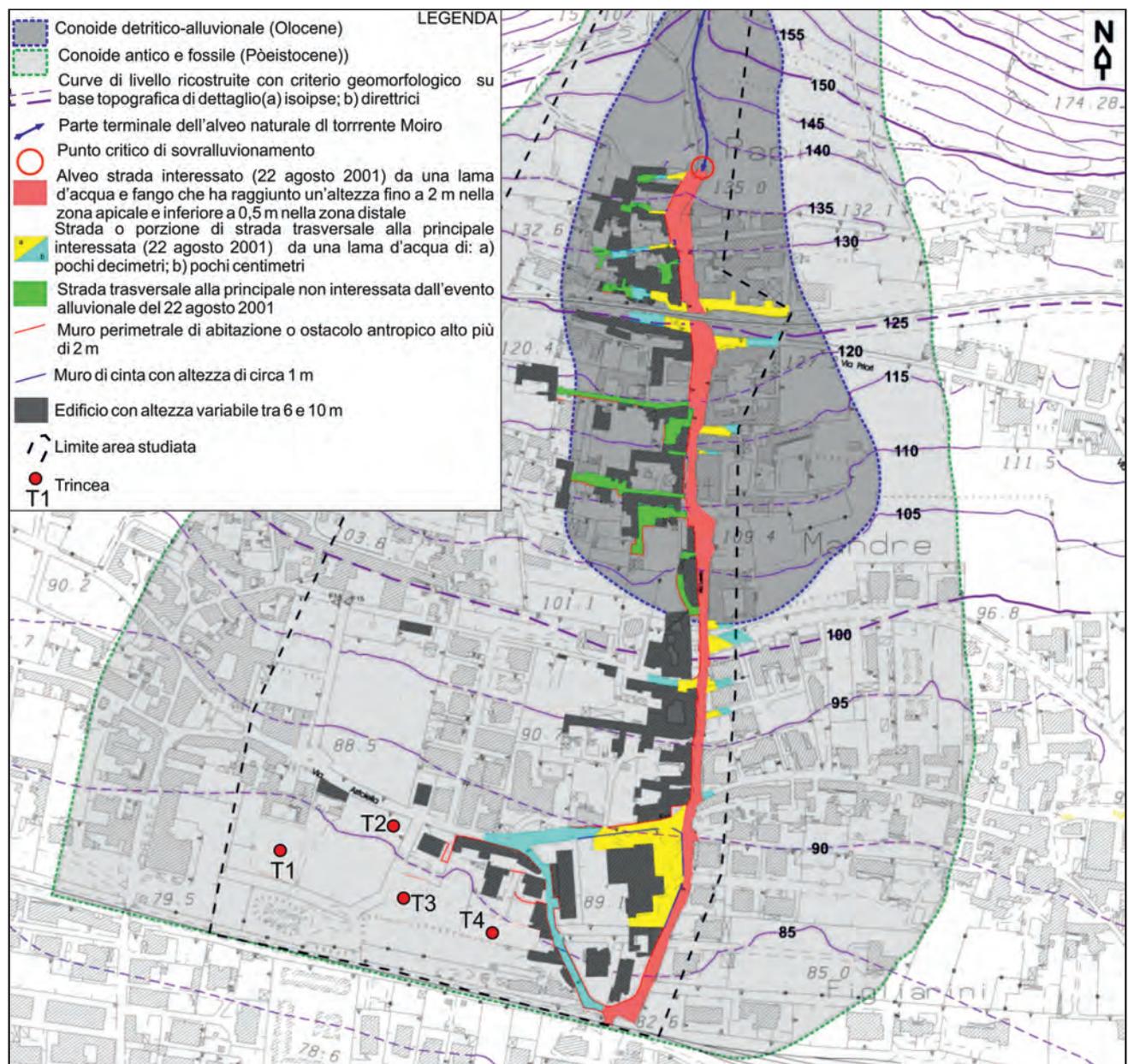


Fig. 13 - Carta con l'indicazione delle aree e dei danni causati dall'alluvione del 22 agosto 2001.
- Map with the indication of areas and the damages caused by flood of August, 22, 2001.

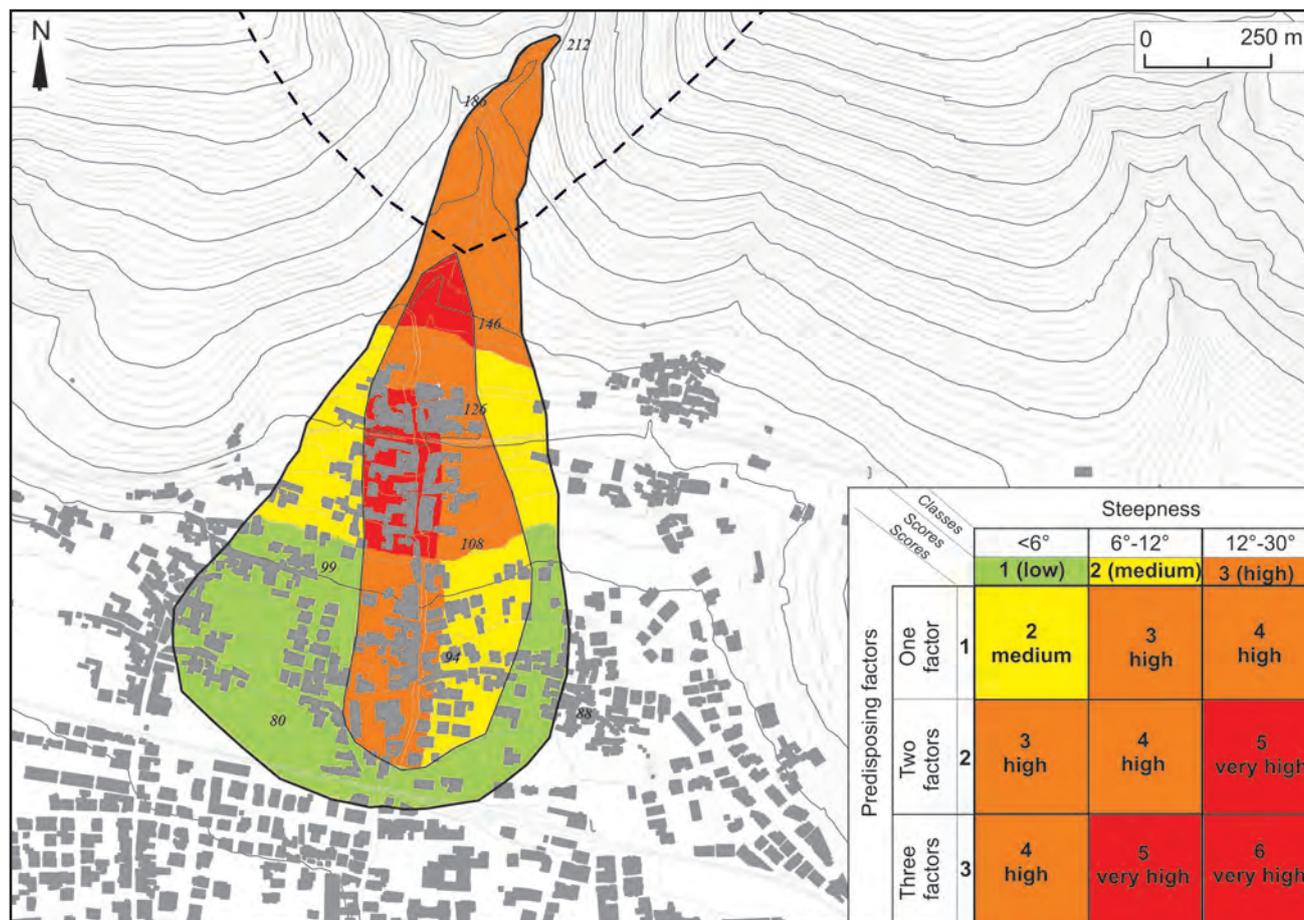


Fig. 14 - Carta della suscettibilità alluvionale per la conoide di Santa Maria a Vico.
- *Alluvial fan flooding susceptibility map for Santa Maria a Vico settlement.*

In queste aree gli studi dei PAI dalle diverse Autorità di Bacino redatti con notevole dettaglio per le parti del Rischio Idraulico e da Frana, talora risultano imprecisi nella individuazioni delle aree suscettibili a processi alluvionali torrentizi. In alcuni casi i conoidi, infatti non vengono presi in considerazione e in altri viene considerato “suscettibile” tutto il corpo del conoide, includendo in zone ad alto rischio anche settori non più attivi o caratterizzati da bassi livelli di suscettibilità, che vengono in ogni caso sottoposti a vincoli.

In questo lavoro vengono presentati dei casi di studio per i quali viene applicata una nuova metodologia (SANTANGELO *et alii*, 2011) per valutare con maggiore dettaglio la suscettibilità alluvionale su conoidi attivi in aree urbanizzate. Essa tiene conto di diversi parametri facilmente misurabili in campo e permette di evidenziare le aree che potrebbero essere soggette a fenomeni di maggiore intensità e quindi a più alto rischio.

L’approccio di studio è di semplice applicazione e, talora, può portare ad una notevole riduzione degli areali di suscettibilità e rischio “molto alta” ed “alta” riportati nelle carte dei vigenti PAI.

La metodologia può essere implementata attraverso l’esecuzione di trincee esplorative, soprattutto nelle aree distali e di confine tra le aree a diverso grado di suscettibilità e deve essere messa a confronto con modelli di calcolo tipici della ingegneria idraulica.

BIBLIOGRAFIA

- ALEOTTI P. & CHOWDHURY R. (1999) - *Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives*. Bull. Eng. Geol. Env., **58**: 21-44.
- ASCIONE A., CINQUE A., SANTANGELO N. & TOZZI M. (1992) - *Il bacino del Vallo di Diano e la tettonica Trascorrente Plio-Quaternaria: nuovi vincoli cronologici e cinematici*. Studi Geologici Camerti, vol. spec. **1992/1**: 201-208.
- AULITZKY H. (1980) - *Preliminary two-fold Classification of Torrent*.

- Proceedings International Symposium Interpraevent, Bad Ischl, **4**: 285-309.
- BLAIR T.C. (1999a) - *Sedimentary processes and facies of the water-laid Anvil Sprig Canyon alluvial fan, Death Valley, California*. *Sedimentology*, **46**: 913-940.
- BLAIR T.C. (1999b) - *Sedimentary of the debris-flow-dominated Warm Sprig Canyon alluvial fan, Death Valley, California*. *Sedimentology* **46**: 941-965.
- BRANCACCIO L., CINQUE A., ROMANO P., ROSSKOPF C., RUSSO F. & SANTANGELO N. (1995) - *L'evoluzione delle pianure costiere della Campania: Geomorfologia e Neotettonica*. Estratto da: <<Aspetto fisico e problemi ambientali delle pianure italiane>>. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **3**: 313-336.
- BUDETTA P., SANTANGELO N. & SANTO A. (2000) - *Interazioni tra processi alluvionali ed insediamenti abitativi in epoca storica: il caso della Certosa di Padula*. Convegno GeoBen2000, Torino 7-9 giugno.
- BULL W.B. (1963) - *Alluvial fan deposits in western Fresno County, California*. *Journal of Geology*, **71**: 243-251.
- BULL W.B. (1977) - *The alluvial fan environment*. *Progress in Physical Geography* **1**: 222-270.
- CASCINI L., BONNARD C.H., COROMINAS J., JIBSON R. & MONTERO-OLARTE, J. (2005) - *Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development. State of the Art Report (SOA7)*. In: O. HUNGR, R. FELL, R. COUTURE & E. EBERTHARDT (Eds.): <<Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management>>. Vancouver (Canada). Taylor and Francis, London: 199-235.
- COSTA J.E. (1988) - *Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows*. In: V.R. BAKER, R.C. KOCHER, P.C. PATTON (Eds.): <<Flood Geomorphology>>. New York, Wiley: 113-122.
- DE SCALLY F.A. & OWENS I.F. (2004) - *Morphometric controls and Geomorphic responses on fans in the Southern Alps, New Zealand*. *Earth Surface Processes and Landforms*, **29**: 311-322.
- DE SCALLY F.A., OWENS I.F. & LOUIS J. (2010) - *Controls on fan depositional processes in the schist ranges of the Southern alps, New Zealand, and implications for debris-flow hazard assessment*. *Geomorphology* **122**: 99-116.
- DI NOCERA S., ORTOLANI F. & TORRE M. (1976) - *La tettonica messiniana nell'evoluzione della catena appenninica*. *Atti Seminario: <<Il significato geodinamico della crisi di salinità del Miocene terminale nel Mediterraneo>>*. Firenze 17 febbraio 76.
- FELL R. & HARTFORD D. (1997) - *Landslide risk assessment*. In: D. CRUDEN & R. FELL (Eds.): <<Landslide risk assessment. Proceedings of the international workshop on landslide risk assessment>>, 51-110.
- GUZZETTI F., STARK C.P. & SALVATI P. (2005) - *Evaluation of Flood and Landslide Risk to the Population of Italy*. *Environmental Management*, **36** (1): 15-36.
- 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** (3): 221-238.
- KELLERHALS R. & CHURCH M. (1990) - *Hazard management on fans, with examples from British Columbia*. In: A.H. RACHOCHI & M. CHURCH (Eds.): <<Alluvial Fans: a field approach. New York, Wiley >>: 335-354.
- LEONE F., AST'É J. P. & LEROI E. (1996) - *Vulnerability assessment of elements exposed to mass movements: working toward a better risk perception*. In: K. SENNESET (Ed.): <<Landslides, Glissements de terrain>>, Proceed. 7 Int. Sym. Landslides, Trondheim: 263-270.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (1996) - *Alluvial fan flooding*. National Academy Press: 1-131.
- MAURO M. (1977) - *La Valle dei Suessolani*. Napoli, pp. 350, Napoli.
- MAURO M. & DI ROSA R. (1987) - *Storia e storiografia in terra di Arienzo*, Napoli.
- ROMANO P., SANTO A. & VOLTAGGIO M. (1994) - *L'evoluzione geomorfologica della Pianura del fiume Volturno (Campania) durante il tardo Quaternario (Pleistocene medio-superiore-Olocene)*. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, **7** (1): 41-46.
- SANTANGELO N. (1991) - *Evoluzione stratigrafica, geomorfologica e neotettonica di alcuni bacini lacustri del confine Campano Lucano (Italia Meridionale)*. Tesi di dottorato, Università degli Studi di Napoli Federico II.
- SANTANGELO N., SANTO A. & FAILLACE P. (2006) - *Valutazione della pericolosità alluvionale delle conoidi del Vallo di Diano (Salerno, Italia meridionale)*. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, **19**: 3-17.
- SANTANGELO N., SANTO A., DI CRESCENZO G., FOSCARI G., LIUZZA V., SCIARROTTA S. & SCORPIO V. (2011) - *Flood susceptibility assessment in a highly urbanized alluvial fan: The case of Sala Consilina (Southern Italy)*. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **11**, 11 6, 2011. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/1/2011/. DOI:10.5194/nhess-11-1-2011.
- SANTANGELO N., DAUNIS-I-ESTADELLA J., DI CRESCENZO G., DI DONATO V., FAILLACE P.I., MARTÍN-FERNÁNDEZ J.A., ROMANO P., SANTO A. & SCORPIO V. (2012) - *Topographic predictors of susceptibility to alluvial fan flooding, Southern Apennines*. *Earth Surface Processes and Landforms*, Accepted manuscript online: 15 DEC 2011 09:04AM EST | DOI: 10.1002/esp.3197.
- SCORPIO V. (2012) - *Analisi Geomorfologica dei sistemi bacino-conoide dell'Appennino campano: scenari di suscettibilità alluvionale*. Tesi di dottorato 24 Ciclo Università degli Studi di Napoli Federico II.
- SORRISO-VALVO M., ANTRONICO L. & LA PERA E. (1998) - *Controls on fan morphology in Calabria, Southern Italy*. *Geomorphology*, **24**: 169-187.
- VILLANI F. & PIERDOMONICI S. (2010) - *Late Quaternary tectonics of the Vallo di Diano basin (Southern Apennines, Italy)*. *Quaternary Science reviews*, **29**: 3167-3183.
- ZANCHETTA G., Sulpizio R. & Di Vito M.A. (2004) - *The Role of Volcanic activity and climate in alluvial fan growth at volcanic areas: an example from Southern Campania (Italy)*. *Sedimentary Geology*, **168**: 249-280.
- WILFORD D.J., SAKALS M.E., INNES J.L., SIDLE R.C. & BERGERUD W.A. (2004) - *Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics*. *Landslides*, **1**: 61-66.