

## VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ ALLUVIONALE DELLE CONOIDI DEL VALLO DI DIANO (SALERNO, ITALIA MERIDIONALE)

Nicoletta Santangelo<sup>1</sup>, Antonio Santo<sup>2</sup>, Paola Isabella Faillace<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Napoli

<sup>2</sup> Dipartimento di Ingegneria Geotecnica – Sezione Geologia Applicata, Università di Napoli

<sup>3</sup> Geologo, Dottore di Ricerca

RIASSUNTO: Santangelo et al., *Valutazione della pericolosità delle conoidi alluvionali del Vallo di Diano (Salerno, Italia meridionale)*. (IT ISSN 0394-3356, 2006).

L'area oggetto di questo studio è localizzata nel Vallo di Diano, un'ampia conca intermontana di età plio-pleistocenica situata nella parte meridionale della Campania. Alla base del versante orientale di questa depressione è presente un'ampia fascia detritica costituita in prevalenza da conoidi alluvionali coalescenti, con una età compresa tra il Pleistocene medio e l'Olocene. Questa zona risulta caratterizzata da un notevole sviluppo di insediamenti urbani e attività agricole e/o industriali, che si è spesso realizzato senza tenere conto della possibile pericolosità dell'area rispetto ai processi alluvionali. L'obiettivo principale di questo lavoro è stato quello di riconoscere e di cartografare le conoidi attive e di definire la loro pericolosità, applicando un nuovo metodo recentemente proposto nella letteratura scientifica.

Il lavoro è stato, strutturato in più fasi. Inizialmente è stato affrontato uno studio morfologico e morfometrico delle conoidi e dei loro bacini di alimentazione (27 esemplari) al fine di definire la tipologia di deposizione prevalente nelle conoidi ed il tempo di corrivazione dei bacini di alimentazione. Contemporaneamente è stata effettuata un'analisi storica per cercare di comprendere lo stato di attività di questi corpi tramite un confronto tra la cartografia recente e quella storica, integrato con ricerche d'archivio che hanno documentato eventi alluvionali verificatisi nell'area negli ultimi 100 anni. Il rilevamento sul campo ha consentito di raccogliere dati relativi alla tipologia dei depositi, alle interazioni esistenti tra gli apparati alluvionali e le strutture e/o infrastrutture, alla presenza di eventuali opere di sistemazione idraulica e alla loro efficacia.

I dati raccolti sono stati utilizzati per definire le condizioni di pericolosità relativa tra le varie conoidi, applicando e parzialmente modificando, un metodo recentemente proposto dall'Autorità di bacino del Fiume Po. In questo modo sono state definite quattro differenti classi di pericolosità relativa, comprese tra un alto grado (H4) ed un basso grado (H1). La maggior parte delle conoidi studiate ricade nelle classi H4 ed H3 e per almeno 8 di esse sussistono anche situazioni di alto rischio, legate all'interazione con centri urbani e altre infrastrutture.

ABSTRACT: Santangelo et al., *Alluvial fan flooding hazard assessment in the Vallo di Diano area (Salerno, Southern Italy)*. (IT ISSN 0394-3356, 2006).

*This paper deals with the problem of alluvial fan flooding in the piedmont areas of the Campania region trying to apply a new method to evaluate the effective alluvial hazard conditions. Piedmont areas are widespread all over the region and often present a high development of urban and/or agricultural settlements.*

*The selected area is located at the foothill of the Maddalena mountains, a NW-SE trending elongated ridge which bounds to the east with the wide intramountain basin of "Vallo di Diano". Here a wide detrital talus made up by coalescent alluvial fans, ranging in age from Middle Pleistocene to Holocene, is present.*

*The geomorphological analysis firstly allowed the recognition of active and inactive alluvial fans by means of the individuation of their hydrographic apex; in this way 27 active fans have been selected for morphometrical analysis. Then the main morphometric parameters (area, gradient, Melton index) of each fan and hydrographic basin have been calculated in order to obtain information related to the main processes (stream or debris flow) prevailing in the basin/fan system and to calculate the concentration time. Such data show that 24 out of 27 studied fans can be considered as "debris flow" dominated and that the concentration time of the hydrographic basins is always very short (lower than 1 hour). At the same time an historical analysis has been carried out to point out the state of activity of the fans during the last century. The collected data indicated that the "return time" of the main alluvial fan flooding events is more than 50 years.*

*Finally to define the relative hazard conditions among the studied fans, a recent method proposed in the scientific literature for the alluvial fans of the Po River National Authority has been applied, partly modifying it. Four different classes of relative alluvial hazard have been distinguished from very high degree (H4) to low degree (H1). Moreover, a hazard zonation inside the same alluvial fan has been proposed taking into account the main gradient variations. More than half among the studied fans belong to H4 and H3 classes and for at least 8 of them high risk conditions are determined by the interaction with urban centres and important roads.*

Parole chiave: conoidi alluvionali, pericolosità alluvionale, colate detritiche, Italia meridionale.

Keywords: alluvial fans, alluvial hazard, debris flow, Southern Italy

### 1. PREMESSA

Negli ultimi anni le ricerche geologiche e geomorfologiche sono state indirizzate sempre più frequentemente alla redazione di carte della pericolosità e del rischio per cause naturali. Le metodologie prevedono applicazioni sia di tipo quantitativo che semiquantitativo, realizzate generalmente mediante l'utilizzo di GIS

sempre più sofisticati, che hanno permesso di effettuare delle perimetrazioni di dettaglio delle aree ad elevata pericolosità e rischio per fenomeni sia alluvionali che da frana.

Queste procedure sono ormai largamente utilizzate dai diversi Enti pubblici quali per esempio le Autorità di Bacino. Anche in Campania, la redazione dei piani stralcio per l'assetto idrogeologico (PSAI) ha portato

alla definizione di carte della pericolosità e del rischio soprattutto per quanto riguarda i fenomeni franosi ed i processi alluvionali in contesti di pianura. Non sempre però è stato affrontato il problema della definizione della pericolosità e del rischio in contesti pedemontani laddove i processi alluvionali sono condizionati dalla presenza di conoidi attive.

L'obiettivo principale di questo lavoro è stato quello di testare un metodo che permettesse di definire, agevolmente, lo stato di attività delle conoidi alluvionali in contesti pedemontani ai fini della redazione di carte della pericolosità e rischio.

L'area prescelta coincide con il settore pedemontano dei M.ti della Maddalena, che si sviluppa per circa 40 km lungo il bordo orientale del bacino intermontano del Vallo di Diano ed è caratterizzato dalla presenza di numerose conoidi alluvionali coalescenti. La scelta è stata dettata anche dal fatto che su tale area alcuni degli scriventi hanno svolto attività di ricerca da più di un decennio e quindi per tali conoidi si possedevano dati storici su precedenti alluvioni, numerosi dati geomorfologici e stratigrafici ed una base vettoriale (volo del 1991) gentilmente resa disponibile dalla Comunità Montana del Vallo di Diano.

Le direttive seguite per definire lo stato di attività delle conoidi sono quelle proposte dalla FEMA (Federal Emergency Management Agency) del National Research Council degli Stati Uniti d'America (NRC, 1996). Esse consistono in un'analisi geomorfologica dettagliata di carte topografiche in scala adeguata, supportata da dati di rilevamento. In particolare prevedono il riconoscimento delle porzioni attive/inattive di conoidi coalescenti attraverso l'identificazione dell'apice idrografico e dell'età dell'ultima attivazione; quest'ultima viene definita attraverso un'analisi storica e/o stratigrafica che dimostri l'esistenza di attività negli ultimi 100 anni (*Special Flood Hazard Areas*).

E' stato inoltre effettuato un rilevamento di dettaglio che ha consentito di raccogliere dati relativi alla tipologia dei depositi, alle interazioni esistenti tra gli apparati alluvionali e le strutture e/o infrastrutture, alla presenza di eventuali opere di sistemazione idraulica e alla loro efficacia.

Questo studio è stato integrato con un'analisi morfometrica delle conoidi e dei loro bacini di alimentazione, per definire i tempi di corrivazione dei bacini e per comprendere i processi deposizionali prevalenti nella messa in posto delle conoidi. I dati raccolti sono stati infine utilizzati per valutare la pericolosità rispetto ai processi alluvionali dell'area di studio seguendo e, parzialmente modificando, il metodo proposto dall'Autorità di bacino del Po per la redazione del PSAL e riportato in SANNA (2003).

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

Il Vallo di Diano è una estesa depressione strutturale dell'Appennino campano-lucano, allungata in direzione appenninica per circa 37 km, formatasi in seguito all'azione di importanti faglie regionali attive durante il Pliocene-Pleistocene (SANTANGELO, 1991; ASCIONE *et al.*, 1992). In questo periodo il Vallo di Diano è stato sede di un grande bacino lacustre che successivamente si è trasformato in un'area palustre ed è stato bonificato in

tempi storici per opera dei Borboni (1800)<sup>1</sup>.

Esso è bordato ad occidente dai massicci calcarei, prevalentemente cretacici, del Cilento (M.te Cervati, M.ti Alburni, M.ti della Motola) e ad oriente dai M.ti della Maddalena, una dorsale calcareo dolomitica di età triassico-giurassica, su cui poggiano stratigraficamente calcari pseudosaccaroidi, calciruditi e calcareniti di età maastrichtiano-eocenica. Localmente sono presenti lembi trasgressivi di depositi arenaceo-argillosi di età miocenica mentre, nella zona meridionale della dorsale, tra Sala Consilina e Padula, affiorano in finestra tettonica al di sotto delle unità carbonatiche, depositi calcareo-siliceo marnosi delle Unità Lagonegresi (Fig. 1).

Lungo il bordo orientale del Vallo è presente un'ampia fascia pedemontana che fa da raccordo tra i M.ti della Maddalena ed il fondovalle; essa è costituita da diversi sistemi di conoidi alluvionale coalescenti, all'interno delle quali sono state riconosciute diverse generazioni di corpi sedimentari (SANTANGELO, 1991). Le più antiche sono attribuite al Pleistocene medio - superiore e sono ormai inattive mentre quelle recenti (Pleistocene superiore - Olocene) costituiscono il raccordo con l'attuale fondovalle.

I dati pluviometrici disponibili sull'area (pluviometro di Sala Consilina, 560 m.s.l.m.) analizzati sul periodo 1921-1950 (Lippmann - Provansal, 1987) riportano precipitazioni medie mensili non superiori ai 120 mm (concentrate nei mesi invernali) ed un numero di giorni non piovosi superiore a 75 durante la stagione estiva. La piovosità media annuale, nello stesso periodo è compresa tra 1100 e 1250 mm annui.

## 3. ANALISI GEOMORFOLOGICA

La prima fase della ricerca è stata rivolta al riconoscimento e alla perimetrazione delle conoidi alluvionali di prima e di seconda generazione e dei relativi bacini idrografici (Fig. 1).

<sup>1</sup> I primi tentativi di bonifica delle terre italiane iniziarono in epoca preromana ad opera dei Pelasgi che tentarono di affrontare la bonifica del Vallo con opere di una certa importanza, allargando gli inghiottitoi.

I Greci in seguito dovettero affrontare la bonifica di molte zone, e fra queste il Vallo di Diano.

Ai Romani sono da attribuire le prime importanti opere; sarebbe, infatti, da attribuire a loro l'incisione della soglia del Vallo presso Polla (il Gatta, riprendendo la notizia da G.B. Pacichelli - *Memorie dei viaggi in Europa* - scrive: "ivi per darli più libero il trabocco ne poterono i Romani aprire il varco", ed ancora Iannicelli A. - *Sala consilina ed il Vallo di Diano* - scrive: "i Romani iniziarono la regolazione delle acque col taglio della roccia presso Campestrino") e l'apertura di un lungo canale (oltre 2 Km), detto **Fossato o Intagliata**, e di un ponte che lo sormonta (nel caso che si ritenga autentica un'iscrizione che afferma: *Pontem et foxatum Roma P. fecit* = la potenza di Roma fece il ponte e il fossato).

Durante la **Dominazione Borbonica (1786)**, ad opera di Ferdinando IV di Borbone, che diede incarico all'architetto Pollio e successivamente al cavalier Grasso, furono portati a termine lavori di bonifica (1796) tendenti a regolare i corsi d'acqua naturali, che possono ritenersi importanti per l'epoca (ASS, busta 1595 Vallo di Diano).

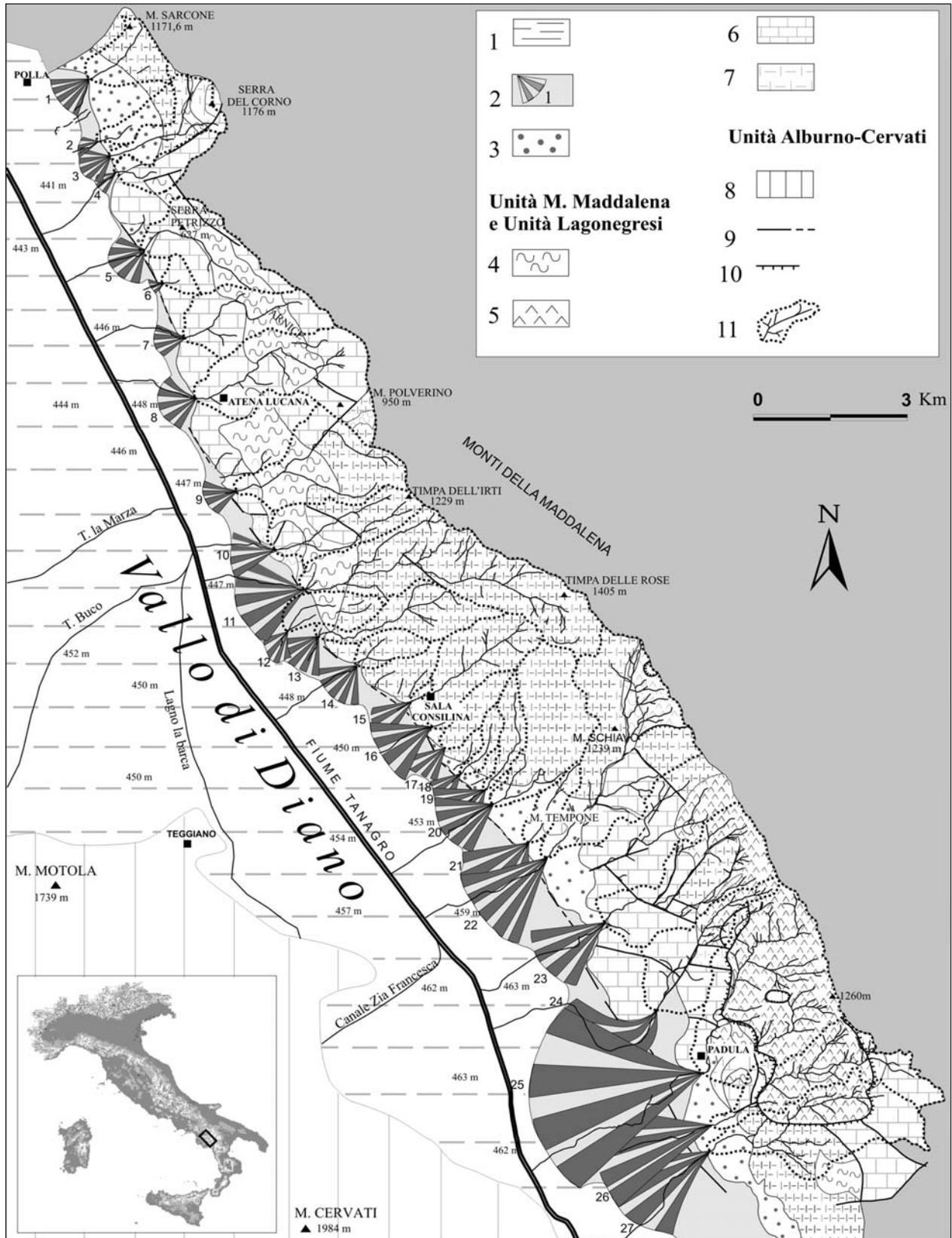


Fig. 1- Schema geologico e schema geomorfologico dell'area in studio. 1) Depositi lacustri (Olocene); 2) Conoidi alluvionali attive (Pleistocene sup. - Olocene) e numero di riferimento; 3) Conoidi alluvionali inattive (Pleistocene Medio - sup.); 4) Flysch (Miocene); 5) Successioni calcareo-silico-marnose (Giurassico sup. - Eocene); 6) Depositi carbonatici (Giurassico inf. - Eocene); 7) Dolomie (Triassico); 8) Depositi carbonatici (Cretaceo inf. - sup.); 9) Faglia; 10) sovrascorrimento; 11) bacino idrografico.

*Geological and geomorphological sketches of the studied area. 1) Lacustrine deposits (Holocene); 2) Active alluvial fan (upper Pleistocene - Holocene) with referring number; 3) inactive alluvial fan (Middle - Upper Pleistocene); 4) Flysch deposits (Miocene); 5) Marl and calcareous marls (Upper Jurassic - Eocene); 6) Limestones (Lower Jurassic - Eocene); 7) Dolomites (Triassic); 8) Limestones (Lower- Upper Cretaceous.); 9) Fault; 10) Thrust; 11) Hydrographic basin.*

Le conoidi di prima generazione, più antiche, affiorano solo in alcuni settori (a sud dell'abitato di Padula, in corrispondenza del M.te Tempone, ed a sud di M.te Serra Petrizzo) a quote comprese tra 520 e 650 m s.l.m. Esse risultano inattive, profondamente reincise da alcuni corsi d'acqua in quanto sono state fagliate e sollevate per l'intensa attività tettonica registrata durante il tardo quaternario dalla faglia bordiera dei M.ti della Maddalena. In particolare tale attività è testimoniata dalla presenza di scarpate di faglia che tagliano le conoidi nei pressi di Sala Consilina e dalla dislocazione di depositi lacustri ascritti al Pleistocene medio, nei pressi di Atena Lucana. (SANTANGELO, 1991; ASCIONE *et al.*, 1992). Per tale motivo i depositi di questi antichi conoidi, ormai sospesi, sono conservati soltanto nella loro porzione apicale e sono costituiti da conglomerati ben cementati a clasti carbonatici, spesso ricoperti da suoli argilloso - sabbiosi fortemente arrossati.

Le conoidi di seconda generazione sono, al contrario, rappresentate da ampi "ventagli", di estensione molto diversa in funzione dei loro bacini alimentatori e nel complesso con un gradiente di pendio medio-basso. Risultano costituite da ghiaie e conglomerati poco cementati a clasti carbonatici che contengono locali lenti di sabbie ed argille di colore marrone - rossastro.

Dal punto di vista morfologico questi apparati multipli sono sia del tipo "sovrapposto" che del tipo "incastrato" (*sensu* BULL, 1968): nel primo caso l'apice topografico e l'apice idrografico coincidono e i corpi deposizionali più recenti ed ancora attivi sono localizzati in zona apicale (Fig. 2A). Nel secondo caso l'apice topografico e l'apice idrografico non coincidono e la conoide attiva è localizzata in zona distale rispetto al fronte montuoso (Fig. 2B).

Attraverso un attento esame dell'andamento delle curve di livello sulle carte topografiche C.T.R. in scala 1:10.000 della Comunità Montana del Vallo di Diano (1991), e una analisi fotointerpretativa, sono state riconosciute 27 conoidi attive; per ognuna di esse sono stati individuati l'apice idrografico ed eventuali lobi di deposizione relitti.

Il lavoro è stato eseguito con il supporto del software *GIS Arc View*. L'utilizzo di questo *software* ha inoltre consentito il calcolo dei principali parametri morfometrici delle conoidi e dei loro relativi bacini di alimentazione (Tab. 1 e Tab. 2). Tali parametri sono stati utilizzati sia per risalire alla tipologia di trasporto prevalente nella messa in posto delle singole conoidi, sia per calcolare alcuni indici necessari per valutare la loro pericolosità.

### 3.1. Tipologia di trasporto

Per individuare la tipologia di trasporto prevalente è stato utilizzato un metodo indiretto di tipo morfometrico, basato sulle relazioni esistenti tra la pendenza della conoide (*ic*) ed un indice adimensionale (indice di Melton, *Mel*) indicante la rugosità del bacino. Si è utilizzato questo criterio morfometrico in quanto in campagna, purtroppo, le esposizioni di sezioni stratigrafiche naturali sono rare.

La definizione del tipo di trasporto prevalente (*stream flow*, misto, *debris flow*) risulta utile in quanto consente di avere delle informazioni sull'intensità relativa degli eventi alluvionali. In questo modo possono essere individuate le conoidi a prevalente trasporto da *debris flow* che rappresentano le aree potenzialmente soggette ad eventi alluvionali più intensi.

I primi studi mirati a definire i rapporti tra la forma delle conoidi alluvionali e quella dei loro bacini di ali-

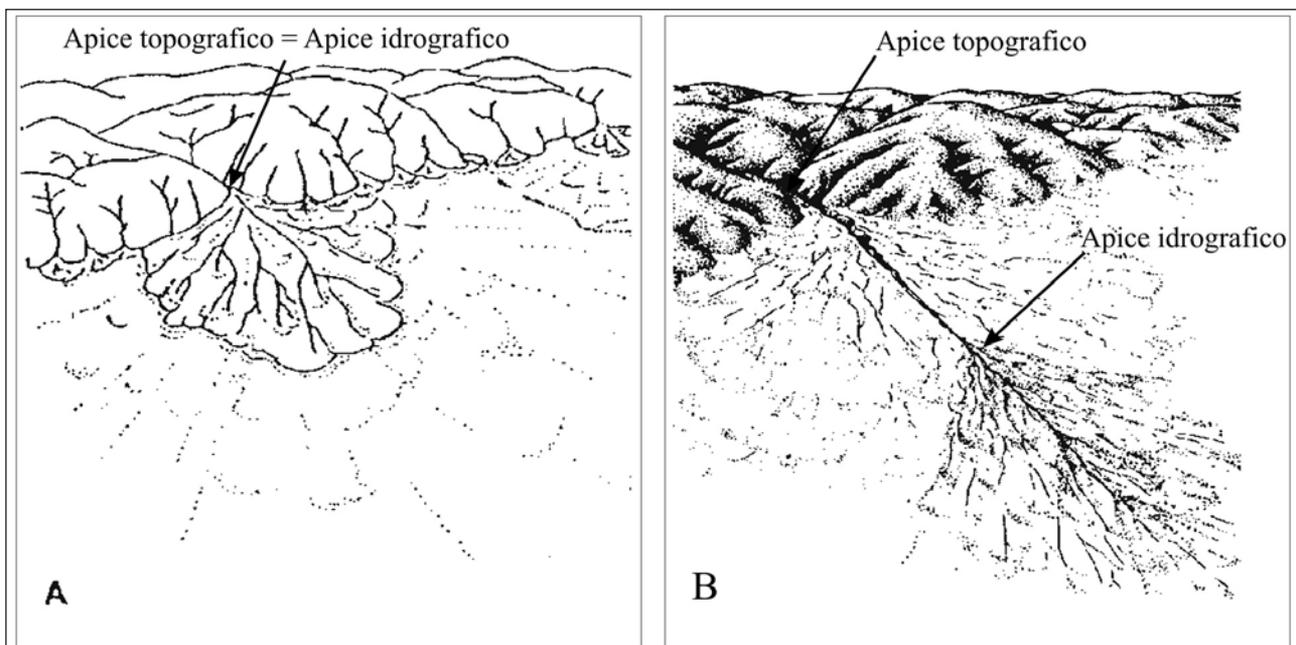


Fig. 2 - Conoidi alluvionali sovrapposte (a) ed incastrate (b) con ubicazione dell'apice topografico e dell'apice idrografico (da BULL, 1968 modificato).

*Superimposed alluvial fans (a) and entrenched alluvial fans (b) with location of the topographic and hydrographic apex (by BULL, 1968 modified).*

Tab. 1 - Parametri morfometrici dei bacini idrografici.

Ab = superficie del bacino;  $\Sigma L$  = lunghezza totale del corso d'acqua; Qb max = quota massima; Qb min = quota minima; ib = gradiente medio.

*Morphometric parameters of the hydrographic basins.*

Ab = drainage basin area;  $\Sigma L$  = total length of the streams; Qb max = maximum elevation; Qb min = minimum elevation; ib = mean gradient.

bacini	Ab (Km <sup>2</sup> )	$\Sigma L$ (Km)	Qbmax (m)	Qbmin (m)	ib (%)
1	1,4	2,9	1200	540	29,5
2	0,75	0,9	1110	470	17,3
3	1,45	2,8	1100	520	22,6
4	1,78	2,9	1221	480	26,6
5	5,5	10,2	1285	470	9,22
6	0,35	0,3	680	500	33,3
7	2,94	4,6	1289	480	10,7
8	8,37	12	1289	480	17,4
9	4,87	10	1310	480	11,1
10	2,63	6,1	1230	490	23,7
11	6,93	18,9	1450	530	19,1
12	1,2	3,2	920	470	23,7
13	2,05	6	1350	510	16,3
14	0,76	1,6	1240	550	2
15	0,07	0,3	950	650	50
16	2,76	7,4	1410	600	20
17	0,9	1,5	1460	600	47
18	0,65	2,1	1340	550	42,3
19	1	2,4	1490	570	25
20	3,66	11,1	1410	560	21,6
21	0,73	1,9	1000	530	28,4
22	6,75	16,9	1450	530	9,62
23	4,4	9,68	1290	550	16,2
24	2,99	4,6	1245	550	17,8
25	6,98	19,4	1310	600	19,9
26	3,59	10	1440	570	13,8
27	4,39	12,6	1500	550	23,4

mentazione si devono a MELTON (1965) che constatò che la pendenza di una conoide non dipende esclusivamente dalla variazione della granulometria del materiale lungo la superficie di una conoide come sostenuto da ECKIS (1928) e BLISSENBACH (1954), ma che invece essa è strettamente legata all'area e all'energia di rilievo del suo bacino di alimentazione.

Melton osservò che le conoidi alluvionali più estese e a minor pendenza sono legate esclusivamente a processi fluviali ed associate a grandi bacini di alimen-

Tab. 2 - Parametri morfometrici delle conoidi alluvionali del Vallo di Diano.

Ac = superficie della conoide; Qc max = quota massima; Qc min = quota minima; ic = gradiente medio.

*Morphometric parameters of alluvial fans.*

Ac = fan area; Qc max = apex elevation; Qc min = elevation of fan toe; ic = mean gradient.

bacini	Ac (Km <sup>2</sup> )	Qcmax (m)	Qcmin (m)	ib (%)
1	0,37	560	450	13,7
2	0,13	470	450	5
3	0,25	520	450	8,3
4	0,14	480	450	6
5	0,36	470	450	2,67
6	0,04	500	450	20
7	0,21	480	450	5,3
8	0,46	480	450	3,9
9	0,33	480	450	5,8
10	0,41	490	450	5,2
11	1,3	530	450	5,8
12	0,2	470	450	3,5
13	0,44	510	450	7,9
14	0,55	550	450	12,3
15	0,4	600	450	22,5
16	0,75	620	450	14,3
17	0,32	590	460	21,3
18	0,18	540	460	13,7
19	0,77	570	460	10,5
20	0,6	560	460	10
21	1,22	530	470	5,9
22	1,46	530	460	4,3
23	1,22	550	470	5,7
24	0,57	550	470	4,7
25	6,92	580	470	3,07
26	3,4	570	470	3,4
27	1,48	550	480	3,5

tazione con bassa energia di rilievo. Invece conoidi più piccole e pendenti, dominate da meccanismi di messa in posto di tipo *debris flow* sono associate a bacini di area molto minore e ad elevata energia di rilievo.

Da questo studio egli riuscì a ricavare un indice adimensionale per caratterizzare i bacini di alimentazione, denominato indice di Melton (Mel), dato dal rapporto:

$$\text{Mel} = \text{Ab}^{-0.5} (\text{Qb max} - \text{Qb min}) \quad (1)$$

dove Qb max e Qb min rappresentano rispettivamente

la quota massima e minima del bacino, ed Ab la superficie del bacino stesso, e lo confrontò con la pendenza ic delle conoidi, ricavando l'equazione:

$$ic (^{\circ}) = a [(Qb - Qb \text{ min}) Ab^{-0.5}] n \quad (2)$$

dove a ed n sono dei parametri adimensionali calcolati su base statistica.

Questa relazione è stata in seguito utilizzata da diversi Autori (RYDER, 1971; KOSTASCHUK *et al.*, 1986; JACKSON *et al.*, 1987; HRVEY, 1988; PASUTO *et al.*, 1992; MARCHI *et al.*, 1993; 1995; D'AGOSTINO, 1996) per distinguere le conoidi sulla base della tipologia di deposizione prevalente. Tali studi, effettuati in diversi contesti climatici ed ambientali (Stati Uniti, Canada, Messico, Nuova Zelanda; KOSTASCHUK *et al.*, 1986; RYDER, 1971; JACKSON *et al.*, 1987; HARVEY, 1988; DE SCALLY & OWENS, 2004) e supportati da un'analisi di campo, hanno dimostrato una buona attendibilità del metodo.

In Italia la relazione ic/Mel è stata applicata da PASUTO *et al.* (1992) su sistemi di conoide dell'Avisio, nelle Dolomiti, unitamente ad evidenze emerse dal rilevamento sul terreno, per discriminare i sistemi bacino-conoide a rischio di *debris flow*. MARCHI *et al.* (1993; 1995) hanno utilizzato il medesimo approccio per sette zone delle Alpi orientali, confermando le osservazioni morfometriche con osservazioni storiche sui fenomeni di elevata intensità.

Sulla base di questi studi si è provato ad applicare questa metodologia anche alle conoidi del Vallo di Diano. Per ogni sistema "bacino-conoide" sono stati quindi calcolati i due parametri, Mel e ic° (Tab. 3). Prima di procedere con la comparazione fra i due parametri, è stata valutata la significatività della correlazione tra le due variabili; l'analisi della correlazione ha evidenziato un valore di R di Pearson molto significativo ( $P < 0.01$ ) e pertanto si è proceduto alla costruzione del grafico di Fig. 3. La distribuzione ottenuta risulta simile a quella riscontrata dallo studio di PASUTO *et al.* (1992) e da MARCHI *et al.* (1993) che, sulla base di riscontri sul campo, hanno evidenziato che la pendenza delle conoidi risulta influenzata dalla tipologia dei processi deposizionali piuttosto che dalle caratteristiche litologiche dei bacini di alimentazione. Gli AA. hanno differenziato le conoidi da loro studiate in tre gruppi principali: quelle a

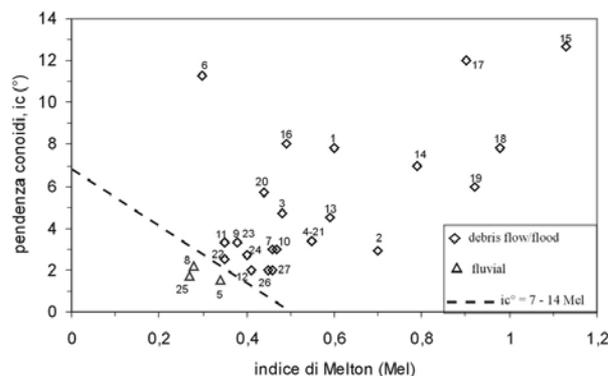


Fig. 3 – Classificazione delle conoidi alluvionali del Vallo di Diano sulla base della pendenza della conoide e dell'indice di Melton.

*Classification of the alluvial fans of Vallo di Diano on the basis of the fan slope and the Melton's ruggedness number.*

Tab. 3 - Gradiente medio, indice di Melton; ed equazione di D'Agostino di tutte le conoidi studiate.

*Mean gradient (ic), Melton's ruggedness number (Mel) and D'Agostino's equation for all the studied fans.*

bacini	ic (°)	Mel	7-14Mel
1	7,8	0,56	-0,80923
2	2,9	0,74	-3,34612
3	4,7	0,48	0,256707
4	3,4	0,56	-0,77564
5	1,5	0,35	2,13476
6	11,3	0,3	2,740423
7	3	0,47	0,394543
8	2,2	0,28	3,085162
9	3,3	0,38	1,734475
10	3	0,46	0,61175
11	3,3	0,35	2,107293
12	2	0,41	1,248913
13	4,5	0,59	-1,21354
14	7	0,79	-4,08078
15	12,7	1,13	-8,87451
16	8	0,49	0,174122
17	12	0,91	-5,69127
18	7,8	0,98	-6,71824
19	6	0,92	-5,88
20	5,7	0,44	0,77977
21	3,38	0,55	-0,70131
22	2,5	0,35	2,042486
23	3,3	0,35	2,061064
24	2,7	0,4	1,372996
25	1,7	0,27	3,237655
26	2	0,46	0,571642
27	2	0,45	0,652256

più basso gradiente e con indici di Melton (Mel) inferiori a 0.25 risultano caratterizzate da trasporto prettamente fluviale, quelle con Mel maggiore di 0.5 da processi tipo *debris flows*; quelle con gradiente intermedio ( $0.25 < Mel < 0.5$ ) rappresentano, invece, le conoidi originate da un trasporto di tipo misto.

L'analisi del grafico Mel-ic (Fig. 3) consente di affermare che il Vallo di Diano è caratterizzato da un cospicuo numero di conoidi con valori medi sia di pendenza sia di indice di Melton, mentre esistono due gruppi estremi che potrebbero essere associati rispettivamente a processi prevalenti di tipo *debris flow* (n° 14, 15, 17, 18, 19) e di tipo selettivo (n° 5, 8 e 25).

Per discriminare in maniera più precisa tra questi due gruppi si può seguire il suggerimento di D'AGOSTINO

(1996) secondo cui, in via cautelativa, i trasporti di tipo misto possono essere accorpate nei *debris flow/flood* utilizzando come linea di separazione tra le due categorie di bacini/conoide la retta di equazione:

$$ic^{\circ} = 7 - 14MeI$$

Applicando tale equazione al grafico ottenuto per le conoidi del Vallo di Diano si può osservare come cadano al di sotto di questa retta, e cioè soddisfino la disequazione  $ic^{\circ} < 7-14 MeI$ , soltanto le conoidi n° 5, 8 e 25 che risultano quindi le sole ad essere caratterizzate da processi di tipo selettivo. (Fig. 3 e Tab. 3)

### 3.2. Tempo di corrivazione

I parametri morfometrici dei bacini sono stati utilizzati anche per calcolare il tempo di corrivazione, cioè il tempo impiegato dalle acque d'afflusso meteorico a raggiungere la sezione di chiusura, partendo dai punti più alti e più lontani del bacino.

Questo parametro, che è funzione della morfologia, delle litologie affioranti e della copertura vegetale, è stato calcolato utilizzando la formula di GIANDOTTI (1934):

$$Tc(h) = [4\sqrt{Ab} + 1.5Lp] / [0.8 \sqrt{(Qbm - Qb \text{ min})}]$$

dove Ab rappresenta la superficie del bacino, Lp la lunghezza dell'asta principale, Qbm la quota media del bacino e Qb min la quota minima del bacino.

Per il calcolo del Tc è stato necessario calcolare la Qbm del bacino la cui formula è:

$$Qbm = \sum [a_i q_i / 2] / Ab$$

dove  $q_i$  = quota (m.s.l.m.) delle singole fasce altimetriche, pari alla media delle quote delle due isoipse che le delimitano;  $a_i$  = area (in m<sup>2</sup>) delle singole fasce di altitudine.

Per quest'ultimo parametro è stata considerata un'equidistanza tra le isoipse di 50 m e le aree racchiuse tra di esse sono state calcolate con l'utilizzo di un software GIS.

Dai risultati (Tab. 4) si evince che la maggior parte dei corsi d'acqua impiega dai 30 ai 50 minuti per percorrere l'intero bacino e raggiungere i settori apicali delle conoidi alluvionali.

Tali tempi dunque risultano estremamente bassi; solo per tre conoidi, e precisamente per la 10, la 22 e la 25 essi superano di poco l'ora, ma sono comunque da ritenersi tempi molto brevi soprattutto in caso di eventi idrologici estremi.

## 4. ANALISI DELLO STATO DI ATTIVITÀ

Per individuare i settori di conoidi alluvionali attivi negli ultimi 100 anni è stato effettuato un confronto tra la situazione topografica attuale e quella risultante dalla cartografia storica (I.G.M.I., 1908). Contemporaneamente sono state svolte ricerche presso Archivi di Stato ed altri enti pubblici (Genio Civile, Istituti idrografici, Comunità Montana) per recuperare documenti che testimoniassero eventi passati, sono state raccolte in sito testimonianze degli abitanti e, solo in alcuni casi, sono stati censiti degli eventi alluvionali che hanno coinvolto siti archeologici o monumentali e alcune costruzioni.

Dal punto di vista cartografico si è analizzato soprattutto l'andamento dell'alveo principale, per evidenziare eventuali spostamenti del tracciato fluviale. In alcuni casi, inoltre, sono state riconosciute evidenze di fenomeni di deposizione recente sul corpo della conoide. Questi ultimi sono stati individuati grazie alla presenza di numerose anomalie delle isoipse sulle basi topografiche in scala 1:10.000 del 1990, che delineavano la presenza di antichi lobi di distribuzione (Fig. 4). In parecchi casi si è poi riscontrato che sulla cartografia storica del 1908, tali aree risultavano caratterizzate da deposizione in atto.

Casi significativi, sono quelli del tratto terminale del *Vallone dei Serpenti* (n° 9), quello del *Vallone Carbonaro* (n° 10) in cui sono molto ben evidenti i lobi deposizionali attivi nel 1908 e quello del *Vallone della Cerasa* (n° 11). Il tratto terminale del *Vallone S. Angelo* (n° 23), già a fine XVIII secolo iniziava ad approfondirsi con forti evidenze di attività deposizionale.

Tab. 4 - Parametri morfometrici utilizzati per il calcolo del tempo di corrivazione dei bacini (Tc). Ab = superficie del bacino; Lp = lunghezza dell'asta principale; Qb m = quota media; Qb min = quota minima; Tc = tempo di corrivazione.

*Morphometric parameters used for calculating the hydrographic basin concentration time (Tc). Ab= drainage basin area; Lp= length of main stream; Qb m = mean elevation; Qb min = minimum elevation; Tc = concentration time.*

bacino	Ab (Km <sup>2</sup> )	Lp (Km)	Qbma (m)	Qbmin (m)	Tc (minuti)
1	1,4	1,67	897	560	30'
2	0,75	0,87	715	470	23'
3	1,45	2,3	873	520	33'
10	2,63	3,12	767	490	50'
11	6,93	6,32	1050	530	66'
12	1,2	1,91	615	470	45'
13	2,05	3,44	1001	510	37'
14	0,76	0,82	833	550	21'
15	0,07	0,31	770	650	11'
16	2,76	3,57	1136	600	39'
17	0,9	1,34	1063	600	20'
18	0,65	1,39	852	550	23'
19	1	2,36	1010	570	27'
20	3,66	4,08	1019	560	48'
21	0,73	2	695	530	38'
22	6,75	5,2	989	530	64'
23	4,4	3,78	941	550	53'
24	2,99	3,67	801	550	59'
25	6,98	4,98	944	600	73'
26	3,59	4,84	1070	570	50'
27	4,39	4	1063	550	48'

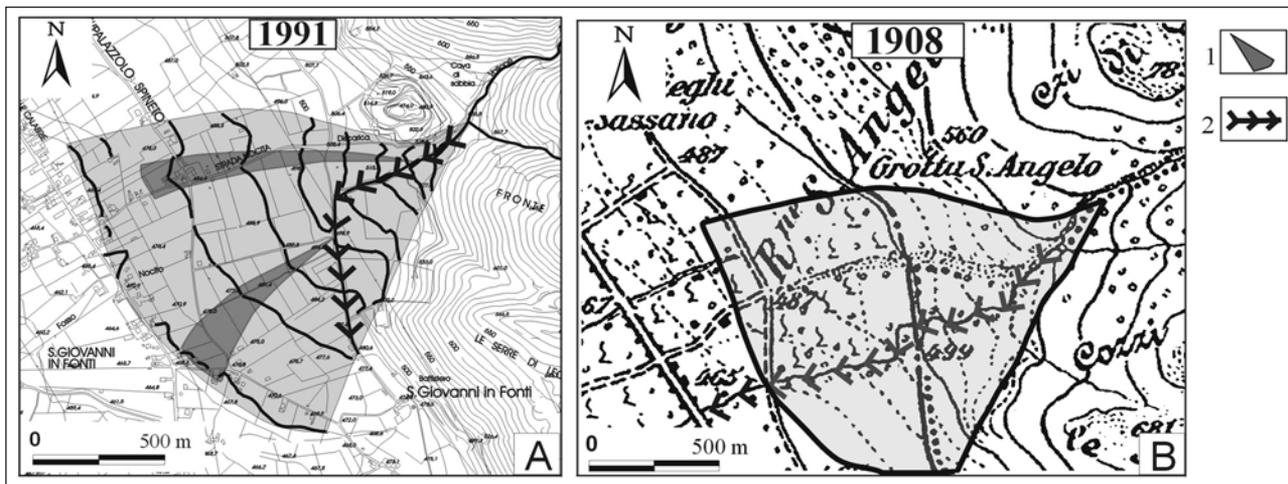


Fig. 4 A) Le anomalie delle isoipse suggeriscono la presenza di un lobo di deposizione; B) il confronto con la cartografia storica del 1908 testimonia la presenza di deposizione attiva nella stessa area. 1) lobo deposizionale; 2) alveo attivo.

A) anomalies in the contour lines suggest the presence of an ancient depositional lobe; B) comparison with historical maps shows that deposition was active in the same area during 1908. 1) depositional lobe; 2) active channel.

Durante il lavoro di rilevamento è stato poi possibile raccogliere dagli anziani del luogo delle testimonianze orali relative ad eventi alluvionali che hanno interessato ripetutamente (fine 1800, 1922, 1950, 1962, 2004) le zone delle conoidi n° 8, 16, 17, 18, 19 ed hanno comportato sia fenomeni di trasporto solido che allagamenti dei primi piani degli edifici.

Il caso più esemplare e meglio documentato che testimonia l'attività storica di queste conoidi resta comunque quello della conoide del T. Fabbricatore (n° 25), nella cui zona apicale è stata costruita nel 1306 la Certosa di Padula, uno dei complessi monastici più importanti dell'Italia meridionale.

Prima che il corso d'acqua fosse deviato, esso scorreva a poca distanza dalla cinta muraria, e ciò è stato narrato anche in alcuni documenti storici (GENIO CIVILE, 1858; PESCE, 1889).

Nel 1857 l'Abbadia fu colpita da un'alluvione che ricoprì parte delle sue mura esterne e parte del cortile interno (Fig. 5).

Oltre a questo evento, ve ne sono stati altri che hanno interessato la Certosa, e precisamente durante il 1859, 1876, 1881, 1900, come testimoniano altri documenti storici (BUDETTA et al., 2000). A seguito di ciò il Consorzio di Bonifica del Vallo di Diano effettuò la sistemazione idraulica del T. Fabbricatore e la sua deviazione per evitare ulteriori inondazioni all'interno della Certosa.

Sulla base dei confronti cartografici e delle fonti storiche raccolte è dunque possibile affermare che, negli ultimi 100 anni, la maggior parte delle conoidi studiate è stata soggetta a sensibili modificazioni e, in taluni casi, è stata interessata da eventi alluvionali significativi; pertanto tali aree, secondo la definizione del NRC (1996), sono da considerarsi sicuramente attive.

## 5. CENSIMENTO DELLE OPERE IDRAULICHE

I dati sinora raccolti consentono di affermare che

tutte le conoidi del settore orientale del Vallo di Diano risultano attive (anche se gli eventi alluvionali estremi, dedotti in base all'analisi storica, hanno tempi di ritorno maggiori di 50 anni) e sono sottese da bacini con tempi di corrivazione molto bassi; la maggior parte di esse inoltre, presenta un'alta probabilità ad essere interessata da fenomeni tipo *debris flow*.

Per procedere ulteriormente nella individuazione delle aree a maggior grado di pericolosità e rischio sono stati eseguiti dei sopralluoghi mirati ad un censimento delle modificazioni antropiche degli ultimi decenni, sia in termini di opere idrauliche (deviazioni dei corsi d'acqua, sistemazioni dei bacini imbriferi ecc.), sia per quanto riguarda le interazioni che le conoidi hanno con le aree di recente espansione dei centri abitati. Questi ultimi infatti, negli ultimi trenta anni, hanno subito una notevole espansione anche verso i settori montuosi, andando ad interferire con le conoidi attive e determinando, talora, situazioni di alto rischio.



Fig. 5 - Portale di ingresso della Certosa di Padula completamente sepolto dagli eventi alluvionali di fine 1800. Foto storica da BUDETTA et al., 2000).

Entrance of Padula's Abbey buried by sediments deposited during the alluvial events of the end of 1800. Historical photo by BUDETTA et al., 2000).

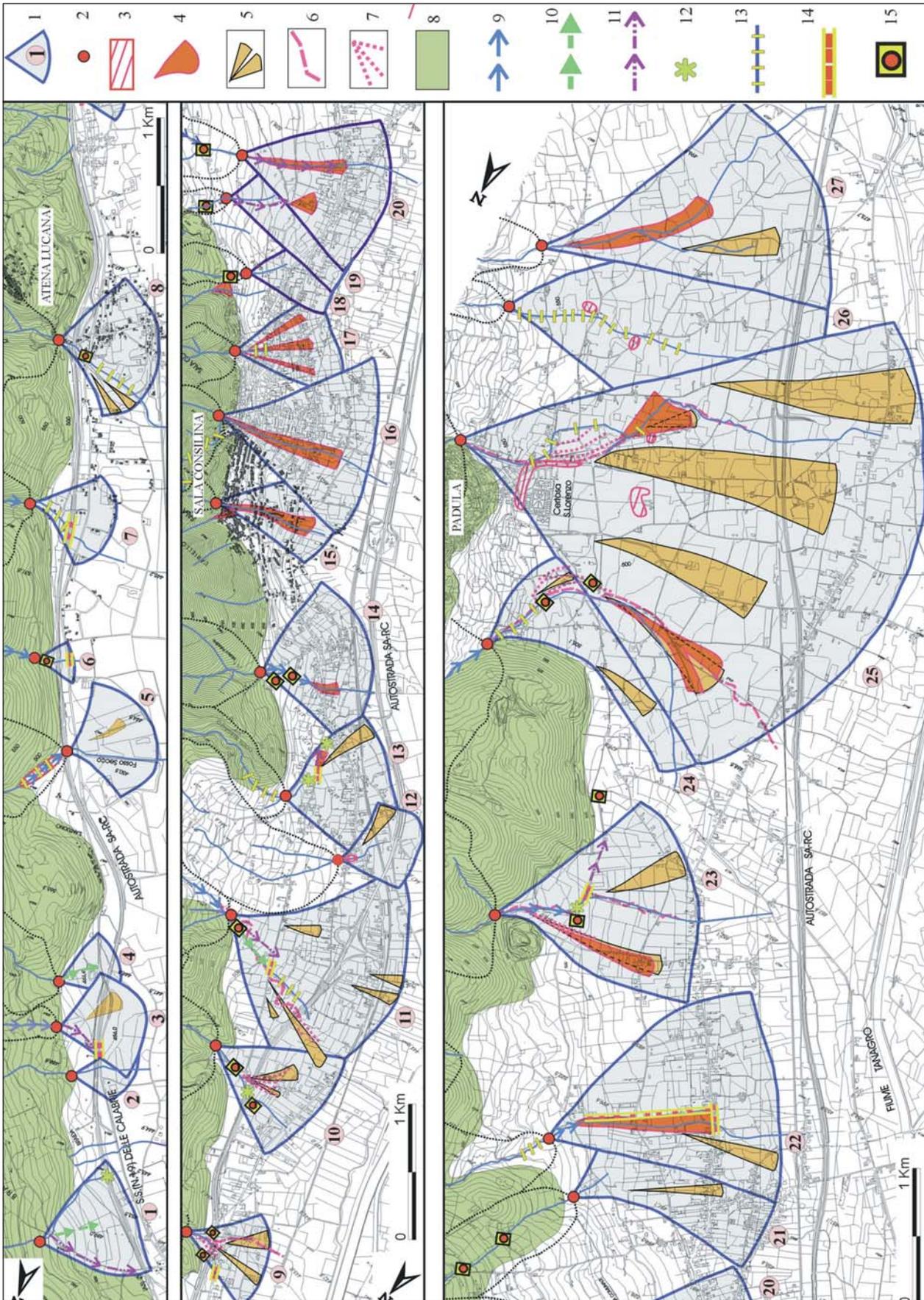


Fig. 6 -Carta geomorfologica delle conoidi del Vallo di Diano. 1) conoide attiva e suo numero di riferimento; 2) apice idrografico; 3) area con evidenza di aggradazione in epoca storica; 4) lobi deposizionali attivi; 5) lobi di deposizione relitti; 6) tracciato del corso d'acqua desunto dalla cartografia del 1908; 7) aree di deposizione attiva nel 1908; 8) substrato calcareo; 9) alveo incassato; 10) probabile linea di deflusso in caso di esondazione; 11) alveo strada su conoide; 12) brusca deviazione di alveo naturale e/o artificiale; 13) alveo con sistemazione trasversale e/o laterale; 14) tratto di strada o autostrada potenzialmente esondabile; 15) punto critico per ridotta sezione dell'alveo.

Geomorphological map of the alluvial fans of the Vallo di Diano area. 1) Active alluvial fan with referring number; 2) hydrographic apex; 3) portion of alluvial fan with evidence of aggradations during historical time; 4) active depositional lobes; 5) inactive depositional lobes; 6) track of river inferred from historical map; 7) areas of active deposition during the 1908; 8) limestones; 9) entrenched active channel; 10) probable low path during an alluvial event; 11) channel substituted by a road on the alluvial fan; 12) abrupt deviation of natural and/or artificial channel; 13) active channel with transversal and/or lateral hydrological works; 14) stretch of road or motorway potentially floodable; 15) critical point for reduced channel section.

In Figura 6 ed in Tabella 5 è riportata la sintesi di queste osservazioni.

Per quanto riguarda le opere idrauliche, si è potuto constatare che i canali alimentatori delle conoidi n° 8, 24, 25, 26 sono stati cementificati e imbrigliati nella porzione apicale; pertanto le loro naturali aree di recapito sono state spostate artificialmente più a valle. In alcuni casi, come al T. Fabbricatore (n° 25), la realizzazione di nuovi alti argini artificiali e di briglie trasversali ha sicuramente ridotto di molto la possibilità di esondazione e di trasporto solido anche se, in questa ed in altre situazioni, è stato osservato un parziale interrimento delle briglie. In altri casi invece (n° 15, 16, 17), in cui gli apici idrografici delle conoidi sono localizzati in pieno centro abitato (Sala Consilina), gli alvei naturali purtroppo sono stati completamente ricoperti (tombati) creando così situazioni di alta possibilità di alluvionamento in caso di precipitazioni intense, come del resto evidenziato dalle testimonianze storiche raccolte.

Particolare attenzione è stata rivolta anche alla interazione tra gli alvei e la rete stradale (Tab. 5 e Fig. 6); in primo luogo sono stati cartografati i principali sottopassi evidenziando i punti in cui questi si presentavano palesemente sottodimensionati o parzialmente interrati (cfr. casella 15 in Fig. 6). Inoltre è stata evidenziata la presenza di alvei strada (conoidi n° 1, 3, 11, 19, 20, 23), cioè di strade che, avendo parzialmente o completamente sostituito l'alveo principale, possono fungere da recapito preferenziale di possibili fenomeni di esondazione e di trasporto solido. Infine sono stati censiti tutti i punti in cui i lobi attivi delle conoidi interferiscono direttamente con strade trasversali o con case rurali sparse, in assenza di opere di protezione (conoidi n° 14, 15, 16, 17, 19, 20, 22, 23, 25, 27) ed i punti in cui i gli alvei naturali e/o artificiali subiscono delle brusche variazioni di tracciato con la possibilità quindi di traccimazioni (conoidi n° 1, 10, 13, 23).

Per tutte le conoidi inoltre, sono state misurate le altezze degli argini nelle zone apicali ed è stata fatta una stima del volume massimo dei clasti visibili nell'alveo.

Infine, la prima colonna della Tab. 5 sintetizza tutte le informazioni raccolte relativamente alle opere di sistemazione e difesa, raggruppandole in tre categorie in funzione del loro grado di mitigazione dei fenomeni alluvionali (inefficaci o assenti, parzialmente migliorative, migliorative) come proposto dall'Autorità di bacino del Po (SANNA, 2003).

Tutte le informazioni su citate hanno contribuito alla definizione della pericolosità e del rischio come descritto nel paragrafo successivo.

## 6. PERICOLOSITÀ ALLUVIONALE DELLA FASCIA PEDEMONTANA DEI MONTI DELLA MADDALENA

Per definire lo stato di pericolosità rispetto ai processi alluvionali della zona in studio è stato seguito e parzialmente modificato il metodo proposto recentemente dall'Autorità di bacino del Po per la valutazione della pericolosità sulle conoidi alluvionali, riportato in SANNA (2003) Esso prevede la valutazione di una serie di parametri, indicativi delle caratteristiche fisiografiche del bacino imbrifero, della quantità del materiale tra-

Tab. 5 - Sintesi dei dati di rilevamento. A = opere assenti; PM = opere parzialmente migliorative; M = opere migliorative; sc = strada comunale; A3 = autostrada SA-RC; SS = strada statale; ca = centro abitato; c = case sparse.

*Synthesis of the data survey. A = Absent; PM =, partly improving hydrological works; M = improving hydrological works; sc = city road; A3 = motorway SA-RC; SS = state road; ca = town or village; c = scattered houses.*

conoidi	tipologie opere idrauliche	interazione con infrastrutture	dimensione alveo (HxL) (mxm)		volume medio clasti (m³)
			H	L	
1	A	sc	1,5	2	0,024
2	A	A3	1	1	0,002
3	PM	c + A3	2,5	4	0,024
4	A	SS19	1,5	1,5	0,002
5	PM	/	1,5	2,5	0,002
6	PM	SS19 + A3	1	1	0,024
7	PM	A3	1,5	4	0,072
8	M	/	6	5	0,096
9	PM	SS19+A3+c	2	2	0,036
10	PM	/	1,5	1,5	0,002
11	PM	sc	2	4	0,006
12	A	sc + c			0,002
13	PM	sc + SS19	2	4	0,006
14	PM	SS19	4	6	0,002
15	A	sc + ca	tombato		0,036
16	A	sc + ca	tombato		0,040
17	A	sc + ca	tombato		0,192
18	A	sc + ca	tombato		0,096
19	A	sc + c	1,5	3	0,006
20	A	sc + c	1,5	2	0,024
21	A	sc	2	4	0,006
22	A	sc + c	3	4	0,008
23	A	/	1,5	2,5	0,006
24	PM	sc + c	tombato		0,048
25	M	sc + c	2	3	0,012
26	M	/	tombato		0,012
27	A	sc + c	tombato		0,014

sportato, dell'energia di trasporto, della ricorrenza dell'evento e della presenza e funzionalità di eventuali opere di sistemazione.

Questi parametri vengono integrati a coppie, in maniera progressiva, utilizzando una serie di matrici (Tab. 6). La prima matrice considerata (Tab. 6a) è quella relativa alla "massa solida (M)" definita dalla relazione esistente tra la superficie del bacino (divisa in tre classi: < 4, 4-20, > 20 km²) ed il rapporto percentuale tra la superficie della conoide (Ac) e la superficie del bacino

(Ab). In questo modo vengono definite tre categorie di bacini che vanno da M1 a M3 (per i dati morfometrici si rimanda alle Tab. 1, 2 e 3). La seconda matrice (Tab. 6a) è relativa alla "tipologia del processo (T)" e viene ottenuta incrociando il parametro "massa solida" con "l'indice di Melton" (cfr. Tab. 3) che, come abbiamo già visto, consente di avere informazioni riguardo ai processi di trasporto prevalenti nelle conoidi in studio. In effetti nel metodo proposto viene considerata una suddivisione tra processi fluviali ( $Mel < 0.25$ ), misti ( $0.25 < Mel < 0.35$ ) e *debris flow* ( $Mel > 0.35$ ) e vengono differenziate cinque diverse categorie (da T1 a T5). Nel nostro caso, sulla base di quanto discusso nel paragrafo 2, in via cautelativa, si è preferito usare come valore discriminante tra le conoidi fluviali e quelle a *debris flow* prevalente, l'equazione proposta da D'AGOSTINO (1996). Pertanto questa matrice è stata modificata ottenendo tre categorie (da T1 a T3).

La terza matrice (Tab. 6c) definisce il parametro "Massa critica (MC)" e deriva dall'incrocio tra il parametro T ed il volume medio-massimo dei clasti (espresso in  $m^3$ ), rilevato sul campo (cfr. Tab. 5), mentre la quarta matrice (Tab. 6d) è relativa alla "Intensità (I)" e risulta dall'incrocio tra la massa critica e la pendenza della conoide (vengono considerate tre classi di pendenza:  $< 7^\circ$ ,  $7-15^\circ$ ,  $> 15^\circ$ ; per i valori relativi ad ogni conoide si veda la Tabella 3).

La quinta matrice (Tab. 6e) è quella della "Pericolosità (P)" e si ottiene incrociando i dati relativi all'intensità con quelli legati al tempo di ritorno degli eventi che vengono suddivisi in tre classi: ricorrenti (R1,  $< 10$  anni), occasionali (R2, tra 10 e 50 anni) ed eccezionali (R3,  $> 50$  anni). In questo modo si definiscono le

diverse classi di pericolosità.

La sesta ed ultima matrice (Tab. 6f) è quella della "Pericolosità effettiva (H)" che tiene conto della presenza di eventuali opere di difesa e del loro stato di conservazione. Vengono considerate tre tipologie di opere (migliorative, parzialmente migliorative, inefficaci o assenti) e si arriva così a discriminare tra quattro classi di pericolosità: bassa, moderata, alta e molto alta (H1-H4).

La Tabella 7 e la Figura 7 riportano la sintesi di tutti questi passaggi. Come si può osservare, su 27 conoidi alcune hanno un grado di pericolosità basso o moderato dovuto anche ai recenti lavori di sistemazione idraulica di alcuni corsi d'acqua (n° 8-25-26 in H1 e n° 3-5-7-9-10-11-13-14-24 in H2). Molte altre invece (più della metà) presentano pericolosità alta (n° 2-4-6-12-19-20-21-22-23-27 in H3) e cinque molto alta (n° 1-15-16-17-18-19 in H4).

Il metodo applicato sembra rispondere abbastanza bene all'esigenza di valutare la pericolosità relativa tra le conoidi esaminate e per definire quindi le zone a maggior rischio e pianificare la selezione degli apparati su cui eseguire studi più dettagliati, finalizzati alla progettazione di eventuali interventi di sistemazione.

Rimane il fatto però che questo metodo non consente di effettuare l'individuazione di zone a diverso grado di pericolosità all'interno di una singola conoide. Ciò può essere trascurato quando le conoidi in oggetto sono di limitate dimensioni, ma può diventare un problema significativo, anche in termini amministrativi e di pianificazione, quando si ha a che fare con apparati grandi su cui insistono centri abitati o importanti infrastrutture.

Tab. 6 - Matrici utilizzate per la valutazione della pericolosità alluvionale. Da SANNA (2003), parzialmente modificate.

Matrices used for the evaluation of the alluvial hazard. From SANNA (2003), partly modified.

a) Calcolo della massa solida				b) Tipologia del processo					
AREA BACINO ( $Km^2$ ) Ac/Ab (%)	< 4	4 - 20	> 20	INDICE DI MELTON (Mel)	$ic^\circ < 7-14Mel$ (fluviale)	$ic^\circ > 7-14Mel$ ( <i>debris flow</i> )			
< 1	M1	M1	M1	M					
1 - 5	M1	M2	M3	M1	T1	T2			
5 - 15	M1	M3	M3	M2	T2	T3			
15 - 35	M2	M3	M3	M3	T2	T3			
> 35	M3	M3	M3						
c) Valutazione della massa critica				d) Valutazione dell'intensità					
VOLUME DEI CLASTI ( $m^3$ ) T	< 0,01	0,01 - 0,2	0,2 - 1	> 1	MASSA CRITICA (MC)	MC1	MC2	MC3	MC4
T1	MC1	MC1	MC2	MC3	$ic^\circ$				
T2	MC1	MC2	MC3	MC4	< 7	I1	I1	I2	I3
T3	MC1	MC2	MC3	MC4	7 - 15	I1	I2	I3	I4
					> 15	I2	I3	I4	I4
e) Definizione della pericolosità intrinseca				f) Valutazione della pericolosità effettiva					
INTENSITA' (I) RICORRENZA (R)	I1	I2	I3	I4	PERICOLOSITA' OPERE	P1	P2	P3	P4
R1	P1	P1	P2	P3	Migliorative (M)	H1	H1	H1	H2
R2	P1	P2	P3	P4	Parzialmente migliorative (PM)	H1	H2	H3	H4
R3	P2	P3	P4	P5	Inefficaci o assenti (A)	H2	H3	H4	H5

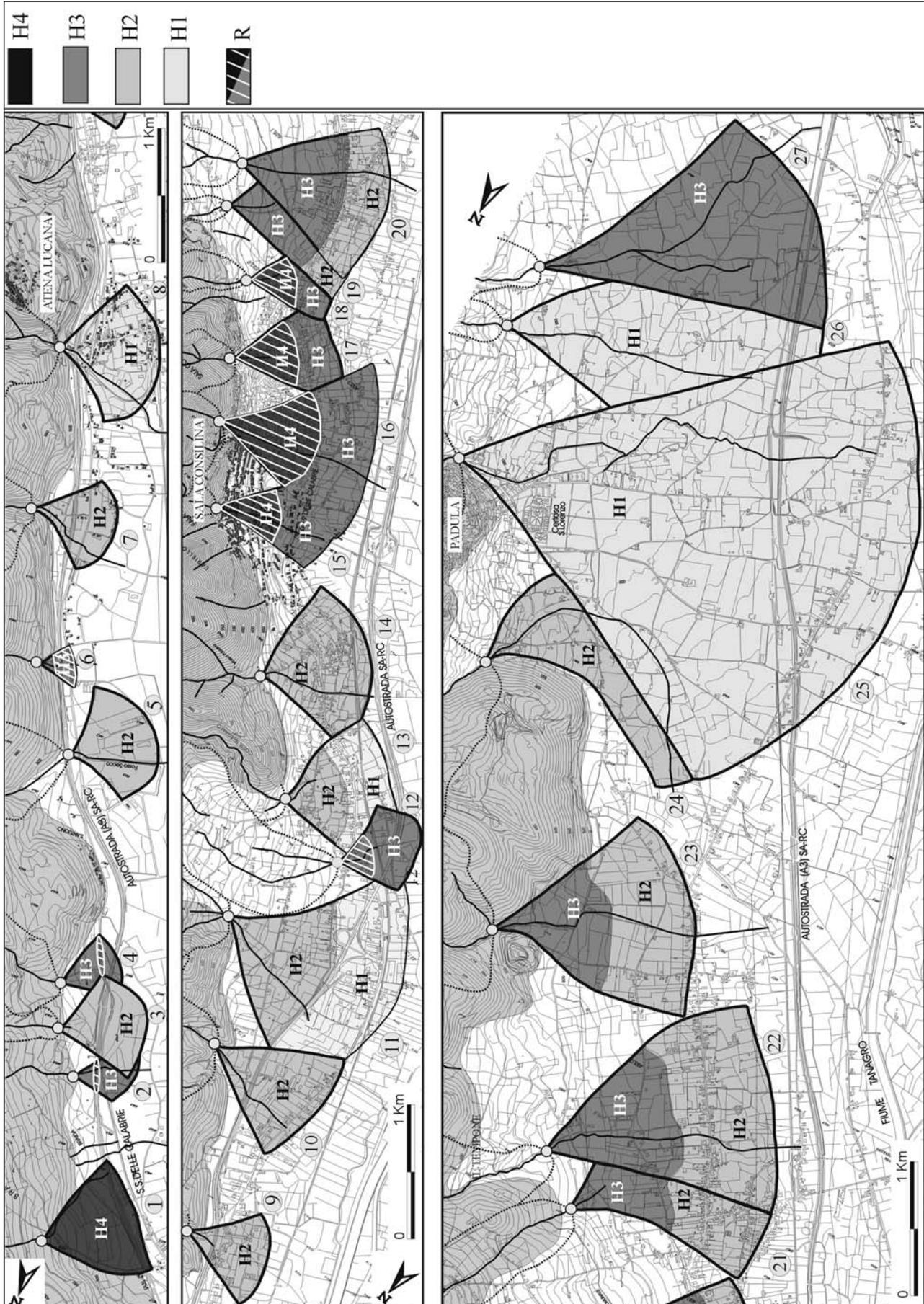


Fig. 7 - Carta della pericolosità delle conoidi del Vallo di Diano. H1-H2-H3-H4 = livelli di pericolosità (bassa, moderata, alta, molto alta); R = settori a rischio molto elevato. Hazard map of the alluvial fans of the Vallo di Diano. H1-H2-H3-H4 = classes of hazard (low, moderate, high, very high). R = sectors of the fans with very high risk conditions.

Per questo motivo sono stati ricercati altri parametri che consentissero di fare delle differenziazioni del grado di pericolosità all'interno di ogni singola conoide.

Sono stati allora considerati i profili topografici longitudinali delle conoidi studiate (Fig. 8) costruiti considerando la direzione della bisettrice del cono stesso. E' stato osservato che 15 conoidi su 27 presentano almeno una significativa rottura di pendenza che consente di individuare un settore apicale, più acclive, ed un settore distale caratterizzato da pendenze più blande. Considerando che gli eventuali processi di trasporto solido più intensi (maggiore granulometria dei clasti) hanno minore probabilità di verificarsi nelle porzioni più distali delle conoidi, si è ritenuto opportuno ritoccare la

classe di pericolosità precedentemente definita, utilizzando come elemento discriminante tra zone apicali e zone distali, la rottura di pendenza più significativa presente sulle conoidi in studio.

In questo modo le parti distali dei conoidi n.° 15-16-17-18 sono state declassate da una pericolosità H4 ad una H3 e quelle delle conoidi n.° 19-20-21-22-23 da H3 a H2. (Fig. 7).

<sup>2</sup> La pendenza delle conoidi è stata calcolata come rapporto tra il dislivello e la distanza lineare; poiché essa non si mantiene costante lungo tutte le direttrici del cono, si è preferito calcolare diverse pendenze lungo due o più raggi del cono e ricavare la media dei valori ottenuti.

Tab. 7 - Risultati relativi alla valutazione della pericolosità per le 27 conoidi attive del Vallo di Diano.

*Results of the evaluation of the alluvial hazard for the 27 active fans of the Vallo di Diano.*

conoidi	Massa solida	Tipologia del processo	Massa critica	Intensità intrinseca	Pericolosità opere	Pericolosità	Pericolosità
1	M2	T3	MC2	I2	P3	H4	molto alta
2	M2	T3	MC1	I1	P2	H3	alta
3	M2	T3	MC2	I1	P2	H2	moderata
4	M1	T2	MC1	I1	P2	H3	alta
5	M3	T2	MC1	I1	P2	H2	moderata
6	M1	T2	MC2	I2	P3	H3	alta
7	M1	T2	MC2	I1	P2	H2	moderata
8	M3	T2	MC2	I1	P2	H1	bassa
9	M3	T3	MC2	I1	P2	H2	moderata
10	M2	T3	MC1	I1	P2	H2	moderata
11	M3	T3	MC1	I1	P2	H2	moderata
12	M2	T3	MC1	I1	P2	H3	alta
13	M2	T3	MC1	I1	P2	H2	moderata
14	M3	T3	MC1	I1	P2	H2	moderata
15	M3	T3	MC2	I2	P3	H4	molto alta
16	M2	T3	MC2	I2	P3	H4	molto alta
17	M3	T3	MC2	I2	P3	H4	molto alta
18	M2	T3	MC2	I2	P3	H4	molto alta
19	M3	T3	MC1	I1	P2	H3	alta
20	M2	T3	MC2	I1	P2	H3	alta
21	M3	T3	MC1	I1	P2	H3	alta
22	M3	T3	MC1	I1	P2	H3	alta
23	M3	T3	MC1	I1	P2	H3	alta
24	M2	T3	MC2	I1	P2	H2	moderata
25	M3	T2	MC2	I1	P2	H1	bassa
26	M3	T3	MC2	I1	P2	H1	bassa
27	M3	T3	MC2	I1	P2	H3	alta

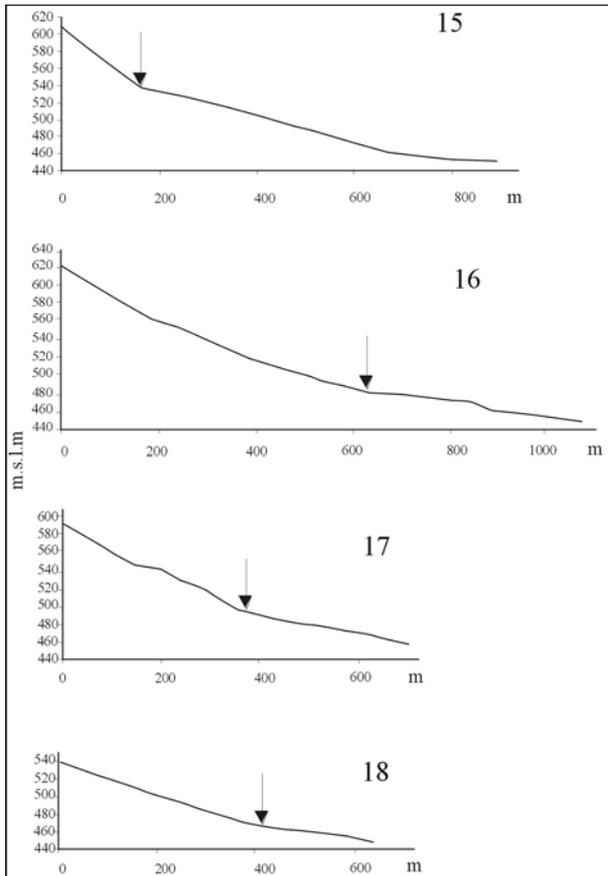


Fig. 8 - Alcuni esempi di profili topografici delle conoidi studiate, con indicazione delle principali rotture di pendenza.

*Some examples of topographic profiles of the studied alluvial fan with indication of the main nick points.*

Per quanto riguarda le conoidi n° 8-25-26, nonostante esse siano state storicamente più volte interessate da eventi alluvionali, il basso grado di pericolosità ottenuto si spiega considerando le numerose opere idrauliche realizzate in alveo nell'ultimo decennio.

## 7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio condotto sulla pericolosità delle 27 conoidi alluvionali attive del Vallo di Diano ha voluto rappresentare un test metodologico che potrebbe essere applicato ed eventualmente modificato, in numerose altri settori pedemontani appenninici, per i quali non esistono ancora studi dettagliati.

La metodologia adottata per il Vallo, che deriva da quella proposta dall'Autorità di Bacino del Po (SANNA, 2003), ha dato buoni risultati e ripartito le 27 conoidi in almeno quattro diverse classi di pericolosità.

Per quanto riguarda le situazioni di maggior rischio non si è entrati nel merito di una precisa differenziazione delle classi (R1- R4) in quanto questa non può prescindere dalla redazione di una carta del danno atteso che esula dalle competenze degli Autori. Sono state tuttavia indicate come zone a maggior livello di

rischio (Fig. 7) i settori apicali delle conoidi n° 15-16-17-18 che interagiscono con il centro abitato di Sala Consilina ed i punti critici in cui possibili esondazioni potrebbero raggiungere la rete autostradale (conoidi n° 3-6-7-9).

Rimangono tuttavia numerosi altri settori ove conoidi a pericolosità H2 e H3 interagiscono con centri abitati, case sparse e strade provinciali e comunali.

Ad ogni modo le reali condizioni di rischio andrebbero verificate a scala di maggiore dettaglio (almeno 1:2000) con studi stratigrafici, geomorfologici ed idraulici che tengano conto soprattutto delle variazioni topografiche e morfologiche della conoide e, nei centri abitati, delle interazioni tra eventuali flussi idrici e assetto urbanistico locale, come ad esempio la presenza di alvei strada o di grandi strutture che possono modificare notevolmente la direzione di canalizzazione dei fenomeni di trasporto solido.

## BIBLIOGRAFIA

- ASCIONE A., CINQUE A., SANTANGELO N. & TOZZI M. (1992) - *Il bacino del Vallo di Diano e la tettonica trascorrente plio-quadernaria: nuovi vincoli cronologici e cinematica* - Studi Geol. Camerti, Vol. Spec. (1992/1), 201-208
- BLISSENBACH (1954) - *Geology of alluvial fans in semiarid regions* - Geological Society of America Bulletin, **65**, 175-190.
- BUDETTA P., SANTANGELO N., SANTO A. (2000) - *Interazioni tra processi alluvionali ed insediamenti abitativi in epoca storica: il caso della Certosa di Padula* - Convegno GeoBen 2000, Torino 7-9 giugno.
- BULL W.B. (1968) - *Alluvial fans* - Journal of Geology, **16**, 101-106.
- D'AGOSTINO V. (1996) - *Analisi quantitativa e qualitativa del trasporto solido torrentizio nei bacini montani del Trentino Orientale* - Estratto da: Associazione Italiana di Ingegneria Agraria 1° sezione, Convegno di Studio "I problemi dei grandi comprensori irrigui", Novara 6 - 7 giugno 1996.
- DE SCALLY FES A. AND OWENS IAN F. (2004) - *Morphometric controls and geomorphic responses on fans in the southern Alps, New Zealand* - Earth Surface Processes and Landforms, 311-322
- ECKIS R. (1928) - *Alluvial fans in the Cucamonga district, southern California* - Journal of Geology, **36**, 111-141.
- GENIO CIVILE (1858) - Busta 90, n° 91, Archivio di Stato di Salerno
- GIANDOTTI M. (1934) - *Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua* - Memorie e studi idrografici, Pubbl. 2 del Servizio Idrografico Italiano, **Vol VIII**, 107.
- HARVEY A.M. (1988) - *Controls of alluvial fan developments: the alluvial fans of the Sierra de Carrascoy, Murcia, Spain* - Catena Supplement, **13**, 123-137.
- JACKSON L.E.J.R., KOSTASCHUK R.A., MAC DONALD G.M. (1987) - *Identification of debris flow hazard on alluvial fans in the Canadian Rocky Mountains* - Geol. Soc. Of America, Rew. In Eng. Geol., **7**, 115-124.
- KOSTASCHUK R.A., MAC DONALD G.M., PUTMAN P.E. (1986) - *Depositional processes and alluvial fan-drainage*

- basin morphometric relationship near Banff, Alberta, Canada* - Earth surface processes and landforms, **11**, 471- 484.
- LIPPMANN PROVANSAL M. (1987) - *L'apennin campanien meridional. Etude geomorphologique*. These de Doctorat, Universite d'Aix-Marseille, Aix-en-provence, Tome 1.
- MARCHI L., PASUTO A., TECCA P.R. (1993) - *Flow processes on alluvial fans in the Eastern Italian Alps* - Z. Geomorph. N.F., **4**, 447-458.
- MARCHI L., TECCA P.R. (1995) - *Alluvial fans of Eastern Italian Alps: morphometry and depositional processes* - Geodinamica Acta, **8** (1), pp. 20-27.
- MELTON M. A (1965) - *The geomorphic and paleoclimatic significance of alluvial deposits in southern Arizona* - The journal of Geology, **73**, pp.1-39.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (1996) - *Alluvial fan flooding* - National Academy Press, pp.1-131.
- PASUTO A., MARCHI L., TECCA P.R. (1992) - *Tipologia del trasporto solido torrentizio su conoidi alluvionali nell'alto bacino dell'Avisio (Dolomiti)* - Boll. Soc. Geol. It., **111**, pp.41-51.
- PESCE C. (1889) - *Il Vallo di Diano e la Certosa di Padula* - Archivio di Stato di Salerno.
- RYDER J. M. (1971a) - *Some aspects of morphometry of paraglacial alluvial fans in south-central British Columbia* - Canadian Journal of Earth Sciences, **8**, pp. 1252-1264.
- SANNA S. (2003) - *Sistemazioni idraulico-forestali nella difesa del suolo* - pp. 331, Dario Flaccovio Ed.
- SANTANGELO N. (1991) - *Evoluzione stratigrafica, geomorfologica e neotettonica di alcuni bacini lacustri del confine Campano Lucano (Italia Meridionale)* - Tesi di Dottorato di Ricerca in 'Geologia del sedimentario', III Ciclo, Università degli studi di Napoli "Federico II" - Dipartimento di Scienza della Terra.

Ms. ricevuto il 17 novembre 2005  
 Testo definitivo ricevuto il 21 marzo 2006

Ms. received: November 17, 2005  
 Final text received: March 21, 2006

