

CONSIDERAZIONI ED OSSERVAZIONI SULLA “FRANA” DI SARNO (SA) DEL 5 MAGGIO 1998

di Fioravante BOSCO

Ufficiale Volontario Corpo Nazionale Vigili del Fuoco Comando di Benevento – Geologo professionista

INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area teatro del disastro del 5 maggio 1998 è impostata su terreni della serie Mesozoica dell'unità dei Monti Picentini–Taburno originata dalla deformazione tettonica del dominio paleogeografico di piattaforma carbonatica, che ha dato luogo alla formazione dell'attuale Appennino Campano-Lucano [Bonardi et al., 1988].

Quest'area rappresenta la parte più meridionale del *graben* in cui è impostata la grande depressione morfostrutturale della piana Campana posta lungo la fascia Tirrenica e che ha acquisito l'attuale conformazione con le fasi tettoniche Plio-Pleistoceniche. In questo *graben*, colmato da potenti successioni sedimentarie di tipo continentale, transizionale e marino, ma in special modo da depositi *piroclastici* accumulatisi in concomitanza con i fenomeni di subsidenza che si sono susseguiti dal Pliocene inferiore sino a tutto il Quaternario, si è impostata la valle del fiume Sarno, il cui spartiacque si snoda su alti strutturali carbonatici. I monti di Sarno delimitano infatti a NE la valle dell'omonimo fiume, un bacino costiero chiuso anche tra il complesso Somma-Vesuvio a NW, i monti Lattari a SE ed il mare a SW [Brancaccio et al., 1984; Capolongo et al., 1998].

L'attività vulcanica che ha dato origine al complesso Somma-Vesuvio, è stata particolarmente attiva durante le fasi tettoniche distensive Quaternarie; in talune aree si rinvengono prodotti riferibili all'*Ignimbrite* Campana del Pliocene superiore [Barberi et al., 1978].

Trattasi di materiali sciolti costituiti da una alternanza, generalmente irregolare, di pomici, lapilli, scorie e ceneri (*piroclastiti*) riferibili all'eruzione di tipo Pliniano del 79 d.C. ed all'attività vulcanica seguente fino all'ultima fase del 1944; i depositi del 79 d.C. sono di gran lunga preponderanti [Santacroce, 1983; Sigurdsson, 1985].

I depositi legati a tale attività vulcanica sono di particolare importanza sia per la loro diffusione che per il fatto che hanno ricoperto ripiani orografici e piccole conche intramontane di prevalente origine carsica presenti sulla sommità dei rilievi carbonatici [Brancaccio et al., 1994].

I monti di Sarno rappresentano pertanto gli alti carbonatici che si sviluppano a prevalente direzione Appenninica: la successione tipo è costituita essenzialmente da dolomie (Trias medio superiore) sovente milonitizzate, calcari dolomitici e calcari (Giurassico – Cretacico) in strati e banchi con giacitura ed inclinazione variamente orientate; lo stato di tettonizzazione è variabile da zona a zona, altrettanto variabili sono gli spessori della porzione più superficiale di roccia fratturata, degradata ed alterata [Brancaccio et al., 1984; Ciaranfi et al., 1983].

Grande importanza inoltre, riveste per l'area il quadro idrogeologico tenuto conto che, i monti di Sarno e i monti Lattari rappresentano insieme al Somma-

Vesuvio, le naturali zone di accumulo, mentre l'area di deflusso è localizzata nella piana del Sarno. I complessi calcarei sono caratterizzati, nelle linee generali, da una alta permeabilità per fessurazione e localmente per carsismo; tale condizione trasforma questi monti in ottimi contenitori-serbatoi e consente l'accumulo di cospicui quantità d'acqua che danno origine ad importanti emergenze idriche come ad esempio le sorgenti di Sarno [Capolongo et al., 1998; Celico, 1983].

GEOLOGIA TECNICA

Lo scenario dove si è manifestata la catastrofe è caratterizzato da rilievi carbonatici diffusamente ricoperti da una coltre di depositi piroclastici che presenta spessori (procedendo verso monte) via via decrescendo fino ad annullarsi dove le pendenze delle rocce carbonatiche superano l'angolo di natural declivio delle stesse piroclastiti.

Questi materiali presentano caratteristiche tecniche variabili in funzione dei fenomeni vulcanici di formazione e soprattutto, dai successivi processi di rimaneggiamento (per effetto della dinamica esogena) che hanno modificato le originarie caratteristiche deposizionali, granulometriche e di conseguenza idrogeologiche [Celico et al., 1986].

Si distinguono in particolare, piroclastiti in sede ed altre fluitate per trasporto trattivo e di massa (rimaneggiate): quelle in sede si presentano ben stratificate con strati continui ed uniformi i cui elementi non mostrano alcun indizio di rielaborazione meccanica. Le piroclastiti fluitate per trasporto trattivo sono state elaborate dalle acque dilavanti ed incanalate e risultano caratterizzate da tessitura e laminazione obliqua, dall'arrotondamento degli elementi e dalla scarsità di matrice; le piroclastiti fluitate per trasporto di massa derivano da correnti fangose ad alta densità, capaci di dar luogo ad accumuli eterogenei, con elementi di dimensioni molto variabili inglobati in una abbondante matrice [Lirer et al., 1968].

Per quanto attiene le piroclastiti in sede e sotto il profilo granulometrico si distingue una porzione prevalentemente fine (campo sabbioso con frazioni limoso argillose variabili) ed una ad elementi grossolani costituiti dai livelli pumicei (assortimento granulometrico ricadente prevalentemente nel campo delle ghiaie). Le piroclastiti rimaneggiate, di contro, presentano, sempre sotto il profilo granulometrico, una più abbondante frazione limoso argillosa rispetto ai materiali originari, non mancano inoltre elementi non vulcanici, quali clasti e detriti carbonatici che localmente possono costituire vere e proprie lenti [Lirer et al., 1968; Pellegrino, 1969; Vallario, 1992].

Per ciò che concerne ai parametri di resistenza meccanica, le piroclastiti presentano un coefficiente di coesione tale da consentire la stabilità di pareti sub-verticali di altezza dell'ordine di circa 10,00 metri; tale coesione, per contro, è da ritenersi nulla al contatto piroclastiti-carbonati; inoltre, si rilevano dai dati di letteratura che, inclinazioni di 32° - 35° dei versanti carbonatici sono da ritenersi di equilibrio limite per le caratteristiche delle coltri piroclastiche [Civita et al., 1975; Civita et al., 1966/68; Guida et al., 1974; Vallario, 1992].

Per quanto riguarda il coefficiente di permeabilità delle piroclastiti rimaneggiate, fonti di letteratura riportano valori dell'ordine di circa $10^{-4} - 10^{-5}$ cm.sec.⁻¹ per profondità dell'ordine di metri 7,00 – 15,00 dal piano campagna; tali valori sono coerenti per terreni a prevalente contenuti sabbioso limoso [Celico *et al.*, 1986],

Per le rocce carbonatiche, come è noto, il coefficiente di permeabilità presenta marcate variazioni non solo in senso orizzontale, ma anche in senso verticale; per il coefficiente di permeabilità orizzontale si passa da valori di circa 10^{-3} cm.sec.⁻¹ a valori che superano l'unità (in funzione dello stato di fratturazione e di carsificazione) [Celico, 1983; Celico *et al.*, 1986; Cotecchia *et al.*, 1976; Martinetti, 1974].

Il coefficiente di permeabilità orizzontale (lungo la stessa verticale) e per porzioni di roccia più superficiale (10,00 – 20,00 metri dal piano campagna) presenta valori molto elevati; a profondità maggiore si riscontra un marcato decremento della permeabilità fino a valori dell'ordine di circa 10^{-5} cm.sec.⁻¹ (queste variazioni condizionano le modalità di percolazione dell'acqua verso la falda di base) [Celico *et al.*, 1986].

In sintesi, i materiali piroclastici in sede e rimaneggiati mostrano significative variazioni di permeabilità: i valori, in particolare, risultano inferiori all'elevata permeabilità della fascia più superficiale delle rocce carbonatiche su cui poggiano direttamente [Vallario, 1992].

Celico *et. al.* (1986) e Vallario (1992), nell'intento di schematizzare la circolazione idrica nella parte più superficiale di questi terreni, hanno ipotizzano particolari eventi piovosi riferiti sia alla fine di periodi di magra che nei periodi di piena dell'anno idrologico (piogge di media intensità, ben distribuite nel tempo e piogge intense, concentrate nel tempo); hanno distinguono inoltre l'ammasso roccioso ricevente le precipitazioni in tre parti che, dall'alto verso il basso, comprendono: la coltre piroclastica sciolta, più o meno pedogeneizzata nella porzione più superficiale; uno spessore di qualche decina di metri di roccia carbonatica molto fratturata e degradata; la sottostante roccia carbonatica meno degradata [...] *in magra, le scarse acque di pioggia, generalmente ben distribuite nel tempo, vengono agevolmente assorbite e ritenute dalla coltre piroclastica in quanto dotata di altissima porosità. Soltanto dopo che è stato soddisfatto il fabbisogno di acqua di ritenzione della parte superficiale dello strato incoerente, ha inizio la percolazione verso la falda di base del massiccio; fenomeno questo agevolato dall'azione di drenaggio esercitata dalla parte più esterna del substrato carbonatico ad altissima permeabilità. Negli stessi periodi di magra, le acque dei rari eventi piovosi ad elevata intensità e concentrati nel tempo vengono inizialmente assorbite dal terreno; subito si crea, però, uno strato superficiale saturo in quanto l'equilibrio, tra i quantitativi d'acqua che riescono ad essere smaltiti nel sottosuolo e quelli che affluiscono sul suolo, risulta nettamente sbilanciato verso questi ultimi. A parità di quantitativo di pioggia caduta si verifica, rispetto all'esempio precedente, una maggiore difficoltà d'infiltrazione. Nei periodi di piena le acque delle frequenti piogge, ben distribuite nel tempo, vengono assorbite dalla coltre piroclastica e successivamente drenate dal substrato carbonatico. Non si verificano fenomeni*

di ruscellamento superficiale (per ovvi motivi di equilibrio tra volumi idrici di afflusso ed infiltrazione), né fenomeni di ritenzione nel suolo, in quanto la copertura piroclastica è generalmente satura. Negli stessi periodi di piena, in condizioni di afflusso meteorico maggiore del precedente, ma ugualmente ben distribuito nel tempo, la coltre piroclastica assorbe l'acqua a scapito dei deflussi superficiali e ciò anche per effetto dell'azione drenante esercitata dalla copertura vegetale sulle acque di ruscellamento. Gli abbondanti quantitativi d'acqua così assorbiti vengono drenati dal substrato carbonatico ad altissima permeabilità e, nella zona di passaggio verso la massa carbonatica sottostante meno ricettiva, si può così creare una fascia con fratture sature per l'afflusso di una massa d'acqua superiore alla capacità di smaltimento delle stesse verso il basso. In quest'ultimo caso, al di sopra della fascia satura si crea un deflusso con direzione sub-parallela alle linee di massima pendenza del versante; questo deflusso, in condizioni morfologiche favorevoli, può dare origine anche a fenomeni sorgentizi temporanei. Sempre in periodo di piena, con precipitazioni intense e concentrate nel tempo (caso in esame), si osservano non solo fenomeni di ruscellamento superficiale più vistosi ma, grazie all'intensa azione drenante esercitata dalle rocce carbonatiche sulle piroclastiti, si verifica anche un certo aumento dei quantitativi d'acqua di infiltrazione efficace; aumento, questo, che risulta massimo nella parte alta dei versanti dove la potenza delle piroclastiti è modesta. Lo spessore di roccia satura, che si crea nella zona di passaggio tra le fasce carbonatiche a diversa permeabilità relativa, tende così ad ispessirsi fino ad interessare, in alcuni casi, la base della copertura piroclastica. A questo punto, per meglio schematizzare la fenomenologia, si può considerare la base della zona satura come impermeabile. E' quindi evidente che, nel tratto di acquifero sovrastante, si possono creare condizioni di deflusso simili a quelle di una falda confinata (o semiconfinata) la cui piezometrica può trovarsi sia al di sopra che al disotto della superficie del suolo. In entrambi i casi si verificano condizioni di sottopressioni della coltre piroclastica di copertura [...].

PROBABILE MECCANISMO DEL DISSESTO

L'evento franoso catastrofico di Sarno è da considerarsi tipico nell'ambito dei fenomeni che colpiscono periodicamente le coperture piroclastiche dei rilievi carbonatici dell'Appennino Campano.

Si è trattato in particolare di un movimento estremamente veloce, distruttivo e catastrofico classificabile come "*colata veloce e/o rapida di terra*" (rapid earth flow). La caratteristica della frana è stata quella di costituire un insieme ad elevata viscosità la cui velocità è dipesa dalla pendenza del versante e dal contenuto in acqua della massa in movimento. Il materiale di frana ha seguito l'andamento preesistenti di solchi d'erosione (*impluvi*) che ne costituiscono l'alveo; a valle, terminato il preesistente impluvio, il cumulo di frana si è distribuito a ventaglio sulla porzione di raccordo tra il piede del versante e la successiva zona pianeggiante, dove l'acclività progressivamente si riduce.

Alla luce di quanto accaduto le cause naturali del movimento sono da ricercarsi in due essenziali fattori di rischio. Il primo è legato alla geomorfologia

della zona ed in particolare alla copertura piroclastica, il secondo all'importante ruolo svolto dall'acqua nel sottosuolo.

I materiali piroclastici come è noto hanno sempre manifestato segni di instabilità in concomitanza di piogge prolungate anche se non particolarmente intense; questi terreni, assorbendo acqua, tendono a gonfiarsi e ad aumentare di volume. Quando viene raggiunta la saturazione, aumenta di conseguenza la pressione neutra e pertanto parte del peso del materiale viene sopportata dall'acqua interstiziale; in concomitanza si assiste alla diminuzione della resistenza al taglio e quindi al franamento. In queste condizioni dovrebbe aver luogo una normale frana di colamento e ciò non spiegherebbe in maniera soddisfacente il meccanismo dell'evento. Infatti il disastro è scaturito da un repentino ed imponente flusso di fango: un vero e proprio "fiume" ad altissima concentrazione di torbidità che all'improvviso abbia rotto gli argini (un torrente raggiunge anche il 60-70% di trasporto solido e durante il suo percorso può trasformarsi in un colamento di fango, oppure può avere una parte superiore simile a un corso d'acqua ed il fondo che si muove come una colata).

Ne scaturisce che, è probabile e possibile invocare una concausa determinante naturale altrettanto importante quale la presenza di acqua nel sottosuolo.

Capolongo et al. (1998), ipotizzano che sulla sommità del massiccio carbonatico sono presenti, al di sotto della copertura piroclastica ampie doline prodotte da fenomeni carsici [...] *le piogge prolungate hanno certamente colmate, forse solo in parte, queste depressioni impermeabilizzate dalla coltre di materiale vulcanico sottile. Sciaguratamente alcuni di questi laghetti di monte si sono rapidamente svuotati a causa della disostruzione dell'originario inghiottitoio carsico. Il sifonamento di consistenti quantità d'acqua all'interno dei monti lungo le condotte carsiche ha provocato non solo l'aumento delle portate delle sorgenti presenti sui fianchi dei monti ma la saturazione dell'intera rete carsica ipogea. In definitiva, anche le microscopiche condotte formate dalle fratture della roccia hanno visto accrescere notevolmente la pressione idrica. In tal modo la copertura piroclastica, già pregna d'acqua per le interrotte piogge di circa due giorni, ha ricevuto significativi apporti dall'interno, che l'hanno fatta improvvisamente collassare [...].*

Brancaccio et al., (1978/1979), Ciaranfi et al., (1983) e Vallario (1992), per quanto attiene l'evoluzione geomorfologica dei versanti carbonatici dell'Appennino meridionale, ritengono limitato il processo carsico sia per elevate pendenze topografiche in gioco e sia per le fasi climatiche fredde del Pliocene [...] *in tali fasi fredde, si è avuto un modellamento di tipo crioclastico, agevolato dalla diffusa tettonizzazione e caratterizzato da notevole velocità di smantellamento. In definitiva si può ipotizzare che l'attuale stadio evolutivo dei versanti carbonatici sia conseguenza degli eventi neotettonici e delle variazioni climatiche che, nel Quaternario, hanno interessato l'Appennino meridionale [...].*

Sulla base di quanto fin qui esplicitato e riportato, si ritiene più probabile e plausibile quanto già ipotizzano da *Celico et. al., (1986) e Vallario (1992)* per dissesti simili [...] *osservazioni dirette, correlate ai processi morfogenetici ed alla conseguente evoluzione geomorfologica delle rocce carbonatiche e*

confortate da dati sperimentali di prove in situ, inducono ad affermare che la permeabilità orizzontale della porzione più superficiale delle rocce carbonatiche, per spessori medi variabili intorno ai 10,00 – 20,00 metri, è relativamente più elevata rispetto a quella riscontrata a maggiore profondità; in conseguenza è possibile ipotizzare, in particolari condizioni di afflusso meteorico (nel caso in esame si sono riversati sulla zona 140 mm. di pioggia in circa 48 ore dopo un significativo periodo piovoso che aveva già "saturato" i terreni di copertura) la possibilità di temporanei deflussi idrici nella zona carbonatica a maggiore permeabilità e con andamento sub-parallelo al versante; in queste situazioni si può considerare notevolmente ridotta la percolazione delle acque verso la falda di base in rapporto all'afflusso idrico proveniente dalle coperture piroclastiche, le quali possono essere così sottoposte a fenomeni di sottopressione [...] e quindi collassare.

Gli stessi autori hanno elaborato, già da tempo (1986) un modello interpretativo del fenomeno che consente di conoscere il valore del rapporto tra l'altezza piezometrica e la profondità del piano di rottura della coltre piroclastica, che equivale ad individuare quale può essere l'entità del carico idraulico capace di mobilitare un certo spessore di terreno.

Le aree campane, dove si rilevano condizioni geostratigrafiche e morfologiche simili a quelle di Sarno, sono molto diffuse; i fenomeni di dissesto riportati presentano una impressionante ripetitività in particolare in coincidenza di eventi pluviometrici di intensità media giornaliera non elevata e con periodi piovosi ininterrotti, della durata di qualche decina di giorni [Vallario, 1992].

Alle cause e concause naturali, inoltre, si devono aggiungere tutta una serie di omissioni e di sconsiderati ed irrazionali interventi antropici che hanno determinato purtroppo la catastrofe [De Paola, 1998] ... [...] *al primo posto è da porre l'urbanizzazione in aree ad elevata pericolosità idrogeologica; seguono la mancanza di una adeguata ed omogenea mappa del rischio; di stazioni meteorologiche ad alta quota (allo stato l'unica stazione di alta quota esistente in tutta l'Appennino meridionale, è quella di Montevergine posta a quota 1270 m.s.l.m.) e di reti di monitoraggio collegate telematicamente a centri di osservazioni locali e centrali; di personale specializzato addetto alla sorveglianza ed alla manutenzione del territorio in genere, dei corsi d'acqua in particolare; di vigilanza e di intervento sulle abitazioni abusive; di vigilanza e di intervento sul cambiamento di destinazione dei suoli agrari, che, nel caso in esame, ha visto la sostituzione dei più robusti e ben radicati castagneti con nocioleti, strutturalmente più deboli [...].*

BIBLIOGRAFIA

Barberi F., Innocenti F., Liber L., Munno R., Pescatore T., Sgrosso I., Santacroce R. - (1978) - *The Campanian ignimbrite: a major prehistoric eruption in the Neapolitan area (Italy)* - Bull. Volcanol, 41.

Bonardi G., D'Argenio B., Perrone V. - (1988) - *Carta geologica dell'Appennino Meridionale alla scala 1:250.000* - Mem. Soc. Geol. It., 41.

- Brancaccio L., Cinque A., Sgrosso I. – (1978) – *L'analisi morfologica dei versanti come strumento per la ricostruzione degli eventi neotettonici* – Soc. Geol. It. 69° Congresso
- Brancaccio L., Cinque A., Sgrosso I. – (1979) – *Forma e genesi di alcuni versanti di faglia in rocce carbonatiche: il riscontro naturale di un modello teorico* – Rend. Acc. Sc. Fis. E Mat. , Vol. 46 Napoli
- Brancaccio L., Pescatore T., Sgrosso I., Scarpa R. - (1984) - *Geologia regionale in "Lineamenti di geologia regionale e tecnica"* - Quaderni Formez.
- Brancaccio L., Fiume M.G., Grimaldi M., Rapolla A., Romano P. - (1994) - *Analisi gravimetrica e geomorfologica della valle del torrente Solofrana (Campania) e considerazioni sulla sua evoluzione quaternaria* - Geogr. Fis. Din. Quat., 17.
- Capolongo D., Pennetta L. - (1998) - *Osservazioni geoambientali a margine della cosiddetta frana di Sarno del 5 maggio 1998* - Bonifica, 2.
- Civita M., Lucini P. – (1966/68) – *Sulla franosità nella zona nord occidentale della Penisola Sorrentina (Campania)* – Mem. e Note Ist. Geol. Appl. NA, Vol. 10.
- Civita M., De Riso R., Lucini P. – (1975) – *Studio delle condizioni di stabilità dei terreni della Penisola Sorrentina (Campania)* – Geol. Appl. e Idrogeologia, Vol. 10
- Celico P. - (1983) - *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro meridionale (Marche e Lazio meridionale, Abruzzo, Molise e Campania)* - Quaderni della Cassa per il Mezzogiorno, vol. 4/2.
- Celico P., Guadagno F.M., Vallario A. – (1986) – *Proposta di un modello interpretativo per lo studio delle frane nei terreni piroclastici* – Geol. Appl. e Idrogeologia, Vol. 21.
- Cotecchia V., Magri G. – (1976) – *Idrogeologia del Gargano* – Geologia Applicata ed Idrogeologia, Vol. 1.
- Ciaranfi N., Ghisetti F., Guida M., Iaccarino G., Lambiase S., Pieri P., Rapisardi L., Ricchetti G., Torre M., Tortorici L., Vezzani L. - (1983) - *Carta neotettonica dell'Italia meridionale* - C.N.R. Progetto Finalizzato Geodinamica, Pubbl. n° 515.
- De Paola P. - (1998) - *Le cause prossime e remote dell'evento di Sarno "una nuova politica per la difesa del territorio"* - Geologi n°2/3, Roma.
- Santacroce R. - (1983) - *A general model for the behavior of the Somma-Vesuvius volcanic complex* - Journal of Volcanology and Geothermal Research, 17.
- Sigurdsson H., Carey S., Cornell W., Pescatore T. - (1985) - *The eruption of Vesuvius in A.D. 79* - National Geographic Research, 1.
- Lirer L., Pescatore T. – (1968) – *Studio sedimentologico delle piroclastiti del Somma Vesuvio* – Atti Acc. Sc. Fis. E Mat. – Vol. 7, n°4.
- Martinetti S. – (1974) – *Alcune considerazioni sulle caratteristiche e sugli effetti del moto dell'acqua negli ammassi rocciosi* – Rivista Italiana di Geotecnica n°2/3.
- Pellegrino A. – (1969) – *Proprietà fisico meccaniche dei terreni vulcanici del Napoletano* - Atti A.G.I. VIII Conv. Di Geotecnica.
- Vallario A. – (1992) – *Frane e Territorio* – Liquori editore