

Una terza ed ultima comprende i movimenti relativi di adattamento e demolizione delle zolle traslate fino a giungere alla costituzione di una copertura detritica continua che oblitera il piano di scorrimento già visibile e nella quale mal si distinguono vaghe prominenze derivate dalle masse più voluminose (Foto 4.3.3).



Foto 4.3.3 - Loc. C. Arboreia (Comune di Cosseria - SV) - Formazione di Rocchetta (BTP) Frana planare relitta. L'immagine mostra un residuo della zolla traslata.

- **Caratteristiche della nicchia di distacco** - La nicchia di distacco è condizionata dalla geometria delle discontinuità secondarie rispetto alla superficie di scivolamento, in genere è rappresentata da una scarpata subverticale che presenta un andamento planimetrico rettilineo. Sul terreno sono anche rilevabili *trench* (Foto 4.3.4) specie quando la traslazione della porzione instabile si trova ancora ad uno stadio iniziale.
- **Caratteristiche dell'accumulo** – gli scivolamenti analizzati interessano prevalentemente masse rocciose pertanto l'accumulo è costituito da singole "zolle", anche significativamente estese, che talvolta nella traslazione mantengono praticamente inalterato l'assetto strutturale originario o da un insieme di blocchi unitari che si vanno ad accumulare in maniera disordinata al piede della frana.
- **Velocità del movimento** – nel caso delle grandi frane planari, si tratta di fenomeni relativamente poco veloci a causa dell'inerzia delle masse spostate; nel caso degli scorrimenti di blocchi la velocità aumenta e si possono anche verificare moti estremamente rapidi ed improvvisi.
- **Fattori predisponenti** – la condizione necessaria è un assetto a franapoggio della stratificazione o della discontinuità principale rispetto all'orientazione del pendio e la presenza di superfici di discontinuità subverticali ed ortogonali alla stratificazione⁵. Inoltre, affinché avvenga lo scorrimento occorre che il piano di scivolamento, emerga "a giorno", ovvero che le masse mobilizzabili non siano vincolate, o "puntate", verso valle. Con riferimento agli

⁵ Tali sistemi di discontinuità sono responsabili della discretizzazione dell'ammasso roccioso e rappresentano rispettivamente il giunto di trazione e il piano che isola lateralmente la massa potenzialmente mobilizzabile.



Foto 4.3.4 - Loc. Rocchetta (Comune di Cengio - SV) - Formazione di Rocchetta (BTP). Particolare trincea della frana planare relitta, da notare la struttura della sequenza sedimentaria.

scorrimenti è anche importante che l'inclinazione della superficie di rottura risulti pari o prossima alla resistenza meccanica mobilizzabile dal materiale.

Un ulteriore fattore predisponente è rappresentato dalla presenza lungo il piano di scorrimento, o all'interno delle diaclasi, di riempimenti argillosi o di veri o propri orizzonti più deboli, dovuti a fenomeni di alterazione progressiva ed imbibizione, che divengono essi stessi il piano di scorrimento. In tal senso assume significato anche la circolazione idrica lungo il sistema di fratturazione quale agente responsabile della degradazione nel tempo della qualità della matrice rocciosa.

- **Fattori innescanti** – il principale fattore che determina l'innescamento dei collassi è rappresentato dall'acqua in concomitanza di fenomeni pluviometrici estremi, intesi tali sia per intensità che per durata. Più precisamente l'acqua riveste ruoli differenti nel caso delle grandi frane planari "delle Langhe" o degli scivolamenti planari di piccole dimensioni dell'area tirrenica: nel primo caso l'instabilità è imputabile all'insorgenza di un gradiente osmotico lungo i piani di discontinuità. Nel caso, invece, degli scivolamenti di limitate dimensioni l'elemento innescante risulta essere prevalentemente la pressione interstiziale all'interno delle fessure.

4.4. Frane di colamento lento

La definizione di questa tipologia di fenomeni per il Progetto IFFI prevede che essi siano "movimenti spazialmente continui, in cui le superfici di taglio hanno breve durata, sono molto ravvicinate e generalmente non si conservano" e siano "caratterizzati da bassa velocità" e coinvolgano "terreni ad elevato contenuto argilloso e spesso a basso contenuto d'acqua". A questo proposito la bibliografia è piuttosto disomogenea: la terminologia adottata e le definizioni associate appaiono estremamente varie e frequentemente attinenti ad un particolare gruppo di fenomeni, con caratteristiche che per lo più corrispondono solo in parte alle casistiche rilevate sul territorio ligure. Sicuramente è

⁶ In particolare le frane planari "delle Langhe" vengono mobilizzate su superfici coincidenti con piani di sedimentazione caratterizzati da specifica "debolezza intrinseca".

⁷ Il fenomeno di rigonfiamento di tipo osmotico, a carico dei minerali argillosi presenti, determina pressioni (di rigonfiamento) dell'ordine dei 1000-2000 kPa. Tali pressioni decadono progressivamente mentre procede la formazione delle fessure, e il distacco della zolla, in ogni caso l'entità delle pressioni osmotiche è tale da giustificare da sola il processo di instabilità (tratto da "Eventi Alluvionali in Piemonte", Regione Piemonte, 1998).

opportuno sottolineare come i fenomeni ascritti a questa categoria siano più “nascosti” e difficili da rilevare nel territorio rispetto agli altri; la lentezza del movimento che li contraddistingue fa sì che anche le tracce che lasciano sui versanti siano deboli e che i loro confini siano spesso confusi e indeterminati. In taluni casi si sono osservate vaste porzioni di versante interessate da fenomeni di deformazione lenta superficiale (sensu Amanti et al., 1994), in quanto *“in seguito ad imbibizione e successivo disseccamento (...) tutta la coltre del versante può muoversi verso valle con lente deformazioni plastiche, più sensibili in superficie che in profondità”*. La cinematica dei diversi settori di questi versanti è spesso disomogenea e accanto ad aree a dinamica relativamente rapida si affiancano settori pressoché stabili, o caratterizzati da tassi di movimento impercettibili (Foto 4.4.1 e 4.4.2). Lo studio e la comprensione di questi fenomeni è resa ancor più complicata dal fatto che il loro movimento avviene ad impulsi, per cui a lunghi periodi di stabilità seguono brevi intervalli di lento flusso. La distribuzione territoriale di questi fenomeni è legata soprattutto alle caratteristiche litologiche del substrato. Il loro maggiore addensamento, infatti, si riscontra in corrispondenza dell'affioramento dei complessi di base argillitici delle unità tettoniche torbiditiche e delle loro coperture, nei calcescisti s.l. del Gruppo di Voltri e nelle emipelagiti argillitiche delle liguridi esterne.



Foto 4.4.1 - Assalino (Comune di S. Olcese - GE) - Argilliti di Montoggio. Sulla destra si osservano le evidenze morfologiche del contatto geologico fra le argilliti (a sinistra) e i calcari marnosi (a destra). Praticamente tutto il versante a substrato argilloso, eccezion fatta per lo sperone in roccia affiorante sul quale sorge il centro abitato, è interessato da fenomeni di colamento lento.



Foto 4.4.2 - Pian dei Gatti (Comune di Borzonasca - GE) - Scisti della Val Lavagna. Esteso fenomeno di colamento che interessa il versante.

- **Meccanismo di movimento** - il movimento può essere caratterizzato da meccanismi differenti da caso a caso. Solitamente si verifica su superfici di scorrimento multiple o su fasce di scivolamento e tende a esaurirsi gradualmente all'aumentare della profondità. Non è, tuttavia, da escludere completamente la possibilità di registrare una unica superficie di taglio ben individuata, nel qual caso il fenomeno può correttamente essere descritto come un *mudslide* (Brunsden D. & Ibsen M. L., 1996). Nel caso dei fenomeni di colamento più estesi ed articolati il meccanismo di movimento può addirittura variare da zona a zona all'interno della stessa frana; quando ciò avviene in maniera più marcata possono essere distinti fenomeni diversi e contigui ma di genesi analoga. In questi casi le frane sono state censite assegnando loro un codice comune e diversificandole attraverso un subindice, in accordo con la metodologia imposta dal Progetto IFFI. Un ulteriore fattore distintivo che accomuna le frane ascritte a questa tipologia è la loro stagionalità: a periodi di rallentamento o stasi, correlati ai periodi più asciutti, se ne alternano altri di ripresa o intensificazione dell'attività, corrispondenti alle stagioni più piovose, solitamente in autunno.
- **Caratteristiche della nicchia di distacco** – in questa tipologia di fenomeni la nicchia di distacco è per lo più scarsamente delineata ed identificabile con precisione solo a seguito degli episodi di movimento più accentuati. A seguito di questi ultimi, infatti, si generano caratteristiche fratture di trazione e piccole corone, frequentemente in sequenza, con ribassamenti limitati. Tali evidenze morfologiche sono osservabili solo tramite il rilevamento diretto sul terreno ed hanno una persistenza limitata nel tempo. L'analisi aerofotografica consente, tuttavia, di individuare la zona di nicchia per la presenza di un settore leggermente ribassato, che rappresenta l'area-sorgente del materiale interessato dal colamento.
- **Caratteristiche dell'accumulo** – il materiale coinvolto nel movimento è costituito dalle coperture sciolte a componente argillosa prevalente, o comunque a matrice argillosa e struttura *matrice-sostenuta* (Foto 4.4.3), e talora anche dal cappellaccio d'alterazione e dai livelli sommitali del basamento roccioso. Quest'ultimo viene coinvolto nel movimento soprattutto dove risulta costituito da litotipi argillosi o argillitici maggiormente fratturati o degradati. La superficie topografica del corpo in colamento è caratterizzata da ondulazioni e locali contropendenze a tergo delle quali spesso sono posizionate aree sartumose di ristagno idrico. Localmente si riscontra la presenza

di fratture di trazione trasversali e piccole corone di distacco accompagnate da limitati ribassamenti della porzione di valle; tali morfologie sono ubicate in corrispondenza dei settori della frana interessati da episodiche accelerazioni del movimento per lo più confinate agli orizzonti corticali. Il piede del corpo di frana si colloca solitamente in fregio al corso d'acqua che drena il versante, la cui attività di scalzamento determina, in assenza di opere di regimazione ed arginatura, richiami di materiale dall'accumulo di frana. Tale fenomeno si esplica in locali accelerazioni del movimento ed evoluzione del fenomeno con la cinematica del *mudslide* o dello scorrimento rotazionale.



Foto 4.4.3 - Crocetta d'Orero (Comune Serra Riccò - GE) - Argilliti di Montoggio. Dettaglio del materiale coinvolto in un fenomeno di colamento; si osservi la tessitura matrice-sostenuta, la forte componente argillosa della matrice stessa e la presenza di clasti angolosi di natura calcareo-marnosa. L'origine di questi frammenti è da ricercare nella falda detritica derivante dallo sfacelo delle soprastanti balze costituite dai Flysch del M. Antola.

- **Velocità del movimento** – la velocità del movimento è uno dei fattori distintivi principali per questa categoria di fenomeni e si colloca fra le classi “estremamente lento” e “molto lento” della classificazione IUGS/WGL (1995), adottata per il Progetto IFFI. È opportuno rimarcare che il suo valore non è costante all'interno di uno stesso corpo in frana, né arealmente né in profondità.
- **Fattori predisponenti** – un versante può risultare potenzialmente soggetto a frane di colamento lento a causa di fattori essenzialmente geologici ed idrogeologici. Il substrato deve essere costituito da litotipi argillosi o argillitici, o comunque a forte contenuto pelitico, le cui scadenti caratteristiche geotecniche e di impermeabilità favoriscono l'impregnazione ed il ristagno idrico e, quindi, la fluidificazione degli orizzonti più superficiali. La presenza di sorgenti o di un dispositivo idrogeologico che alimenti la falda freatica in corrispondenza di accumuli detritici a forte componente argillosa e basamento impermeabile è un altro fattore determinante per la potenziale presenza di fenomeni di questo tipo.
- **Fattori innescanti** – innanzitutto occorre precisare che il termine “innescò” per questa tipologia di fenomeni va inteso in maniera un po' diversa rispetto al significato che gli viene attribuito trattando le frane delle altre categorie. I colamenti lenti, infatti, sono fenomeni latenti sui versanti, la cui evoluzione può durare per decenni, con



l'alternarsi di fasi di attività e quiescenza anche pluriennali. Pertanto, la parola "innesco" per i colamenti deve più correttamente essere letta come "riattivazione" o "accelerazione". Fra i fenomeni che possono determinare l'innesco di frane per colamento i principali per la nostra Regione sono senza dubbio le precipitazioni eccezionalmente prolungate. I consistenti e duraturi apporti idrici determinano l'impregnazione delle coperture sciolte, del cappellaccio d'alterazione e, talora, degli orizzonti superiori del substrato; tale fenomeno è causato dalla bassa permeabilità dei materiali a forte tenore d'argilla che impedisce il rapido smaltimento dei fluidi e induce la progressiva riduzione della resistenza efficace e ne determina la plasticizzazione. L'erosione al piede dei versanti o sul fianco delle aree in colamento da parte dei corsi d'acqua costituisce un costante richiamo di materiale dal versante ed un locale aumento della pendenza; tali fattori contribuiscono ad alimentare complessivamente il fenomeno, localmente accelerandolo.

4.5. Frane di colamento rapido

Le "colate rapide" rappresentano movimenti di massa ad elevata velocità che interessano detrito e/o coltri di alterazione saturi in acqua e si sviluppano lungo pendii fortemente acclivi, a seguito di eventi meteorici estremi.

Tali fenomeni sono caratterizzati da un comportamento reologico intermedio tra le frane s.s. ed i processi idraulici; nella fattispecie è la deformabilità interna del corpo di frana, ovvero la "fluidità" della miscela acquosa di detriti, che consente loro di percorrere lunghe distanze ed "adattarsi" alla morfologia dei versanti che vengono attraversati.

Sulla base dei dati del censimento nell'ambito regionale queste tipologie presentano la maggiore frequenza nel genovesato (valli Stura, Varenna, Branega, Lavagna e Graveglia) e nell'imperiese (valli Arroscia, Armea, Argentina). In termini quantitativi risultano poco significative rispetto al numero totale delle frane censite, in quanto presentano spesso estensioni ridotte, inferiori ad 1 ha, ma rientrano fra le frane con più alto potere distruttivo, considerate le elevate velocità e le distanze che i volumi di terreno coinvolti possono raggiungere.

In ambiente ligure si verifica il trasferimento diretto delle colate nella rete idrografica principale determinando così l'esaltazione dei volumi di piena nelle aste di fondovalle e la generale assenza, o comunque un ridotto sviluppo, delle conoidi di accumulo ai piedi dei versanti. Altro elemento peculiare, in relazione anche alla litologie interessate, è rappresentato dalla naturale "cicatizzazione", dopo alcuni anni dall'evento, che comporta spesso il parziale mascheramento delle forme, cosicché solo un'attenta indagine consente di individuare i fenomeni pregressi.

I fenomeni ascrivibili a questa tipologia si distinguono in colate detritiche *canalizzate*, che fluiscono all'interno di un impluvio ben delimitato (Foto 4.5.1), e colate detritiche *di versante*, il cui percorso può variare da evento a evento secondo traiettorie spesso imprevedibili. Ulteriori nomenclature sono poi associate alla granulometria della matrice del corpo di frana: nelle rocce fratturate e nelle rocce tenere, a causa della rottura iniziale e degli impatti successivi, si verificano colate di detrito (*debris flow*) (Foto 4.5.2 e 4.5.3), anche nei detriti di versante sono frequenti colate di detrito o terra (*debris o earth flow*), nelle sabbie e nei limi saturi non plastici si verificano colate di fango (*mud flow*), nelle argille, le colate di argille (*clay flow*) e così via.

Nel presente studio, in accordo con la letteratura di riferimento, vengono considerate come colate sia i fenomeni propri, che nascono da un processo di liquefazione, sia quelli il cui innesco derivi anche da una frana diversa (es. uno scorrimento/scivolamento o crollo) ma che nella fase post-rottura si sviluppano come un flusso viscoso.

Da un'analisi a ritroso degli eventi risulta che le colate avvengono in prevalenza nei mesi estivi ed autunnali, con frequenze elevate in luglio e novembre e che la distribuzione geografica delle colate (detritiche) appare indipendente dal dominio litologico. Relativamente alle colate detritiche (*debris flow*) un'analisi degli eventi storici nell'arco alpino ha evidenziato che tali fenomeni interessano, o meglio sono canalizzati, lungo la rete idrografica secondaria rappresentata da sottobacini di modesta estensione, minore di 5 km². Con analogia ai processi idraulici risulta che il volume coinvolto in questi flussi è nettamente superiore a quello prevedibile per una piena ordinaria⁸.

⁸ Per la valutazione della portata di picco di un evento di colata (Q_{df}) si fa comunemente ricorso al Metodo Volumetrico che individua secondo le ipotesi di Takahashi (1981), per una pendenza del fondo maggiore di 20°, un valore in funzione della portata liquida di picco (Q_0) [$Q_{df} = 10 Q_0$] (tratto da, Rapporto n° 8 dell'Ist. Geol. della Rep. e Cantone del Ticino "Colate di detriti" di A. Armanini, 1996).



Foto 4.5.1- Rio Crai - Ceriana (Comune di Ceriana - IM) - Arenarie di Bordighera. Debris flow innescatosi durante evento alluvionale del novembre 2000. L'immagine mostra la zona di innesco e la zona di flusso, lungo il corso del rio, mentre è poco sviluppata, e praticamente assente, la conoide di deiezione che è "defluita" nell'alveo del T. Armea. Nella fattispecie, le analisi post-evento hanno accertato quale causa predisponente la giacitura a franapoggio della stratificazione che favorendo il "drenaggio" verso valle delle falde temporanee ha portato all'innescio del fenomeno franoso "madre", nella zona di testata (tipo scorrimento/scivolamento).

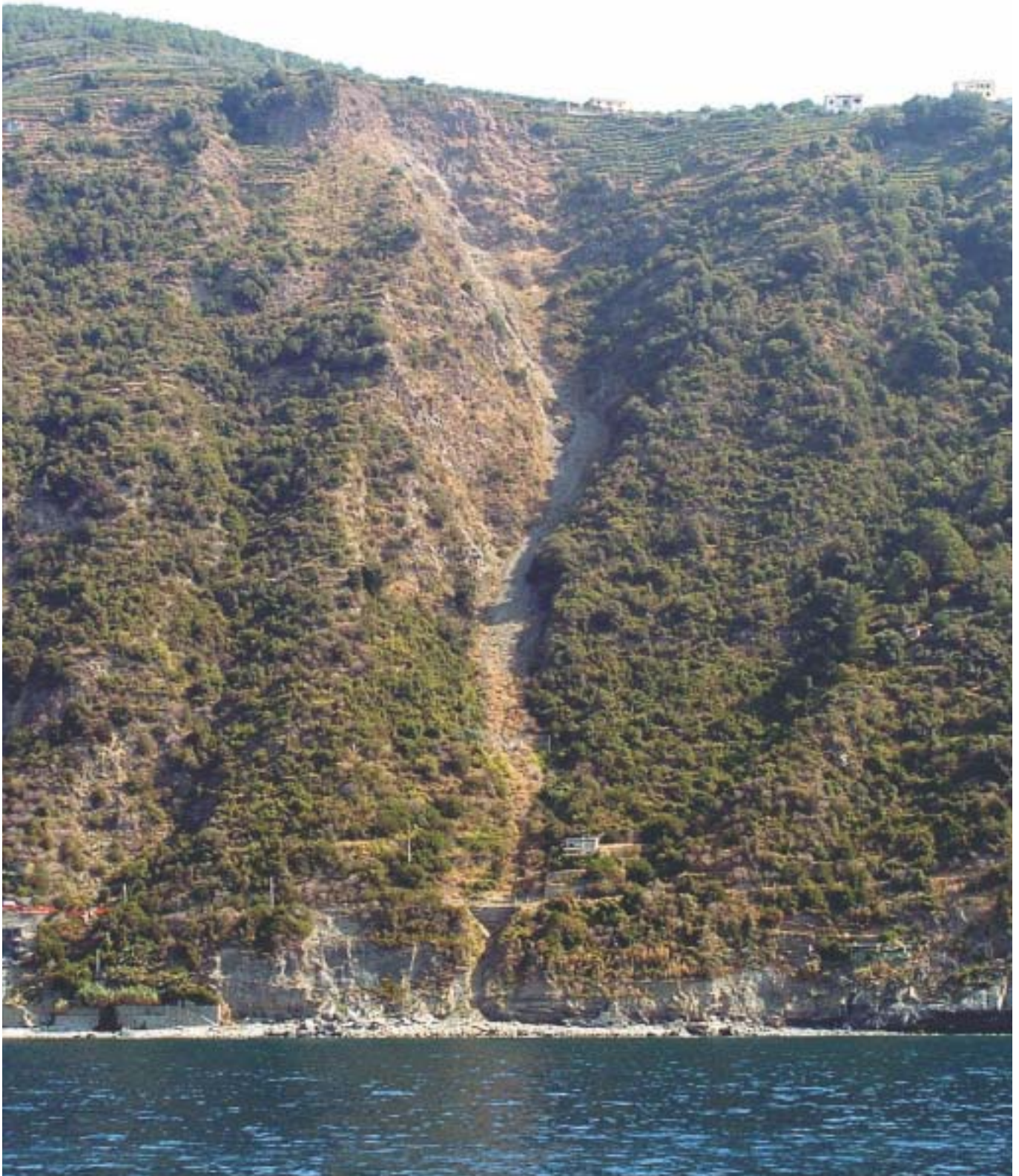


Foto 4.5.2 - Volastra (Comune di Riomaggiore - SP) - Debris flow costiero in ambito di costa alta in arretramento attivo.



Foto 4.5.3 - Bacino T. Varenna - Rio Gandolfi (Comune di Genova - GE) - Colatori confluenti di basso ordine gerarchico interessati da debris flow che hanno lasciato nell'alveo parte del carico solido più grossolano. Sulla sinistra si osserva l'area di alimentazione di uno di questi, per il quale la nicchia evolve con fenomeni di crollo.



La colata di detriti, lungo il suo tragitto, tende ad assumere un assetto tipico formato da un fronte a forma arrotondata, nel quale tendono ad accumularsi i massi di dimensione maggiore, seguito da un tratto in cui la superficie libera si presenta abbastanza parallela al piano di scorrimento, per chiudere con una coda nel quale il tirante si assottiglia e la zona di erosione viene esposta.

Da un punto di vista morfologico l'area soggetta a colata veloce è distinta in tre settori: la *zona di alimentazione*, dove il fenomeno nasce, la *zona di flusso* e la *zona di deposito*.

- **Meccanismo di movimento** - la dinamica consiste nella propagazione dalla zona di rottura, e poi lungo il pendio, di una massa viscosa - costituita da una miscela acquosa di detriti a granulometria variabile con movimenti caratterizzati da forti deformazioni interne durante i quali il corpo della colata mantiene costantemente il contatto col terreno su cui scorre. Il fenomeno si avvicina ai processi idraulici ma a differenza del trasporto solido ordinario (o iper-concentrato) il moto delle colate viene ad essere provocato direttamente dall'azione della gravità piuttosto che dall'azione idrodinamica esercitata dall'acqua in movimento. Con riferimento ai *debris flow* si verifica, anche, il fenomeno del galleggiamento dei massi più grossi entro il corpo delle colate; altro aspetto peculiare risulta la "presa in carico" di detriti lungo il tragitto a causa della notevole capacità erosiva⁹. Il moto della colata presenta, inoltre, una natura di tipo pulsante legata all'eterogeneità della miscela ed alla distribuzione interna delle sollecitazioni.
- **Caratteristiche della nicchia di distacco** - la nicchia di distacco presenta forme variabili: planare, cuneiforme o irregolare, e dipende dal meccanismo di rottura, o meglio dalla tipologia di frana, che si attiva nella zona di innesco. Frequentemente, nei *debris flow*, la nicchia si presenta come un ampio ventaglio che si raccorda al canale lungo il quale scorrono le colate (Foto 4.5.4).
- **Caratteristiche dell'accumulo** - l'accumulo assume una forma lobata a ventaglio e viene definito conoide di deiezione¹⁰. Come già detto in ambito ligure la conoide risulta spesso assente poiché le colate sono prese in carico dalle onde di piena dei torrenti. In generale nel corpo di accumulo si osserva una gradazione granulometrica dal grossolano al fine, procedendo dalla radice verso il fronte; ciò avviene poiché la capacità di fluire della colata dipende dalla percentuale di frazione fine e perché presso il cambio di pendenza versante/fondovalle a causa del drenaggio della miscela acqua-detrito si depositano i grossi blocchi venendo meno il fenomeno di "galleggiamento".
- **Velocità del movimento** - si tratta di fenomeni estremamente rapidi ed improvvisi: fonti bibliografiche indicano velocità medie comprese tra 1 e 20 m/s. In considerazione anche delle distanze percorse, che vanno mediamente da circa 200 metri fino a diversi chilometri, i fenomeni risultano essere particolarmente pericolosi.
- **Fattori predisponenti** - facendo riferimento alle colate di detrito, lo sviluppo di tali fenomeni è vincolato all'esistenza di elevate pendenze dei versanti o dei canali ed alla presenza di aree sorgenti di detrito sciolto (siano esse su versanti o sul fondo dei canali)¹¹.
- **Fattori innescanti** - la bibliografia di riferimento indica che le colate si manifestano generalmente dopo una pioggia di intensità eccezionale che segue una pioggia di lunga durata¹²: ciò determina la saturazione e la mobilitazione delle "masse" detritiche disposte lungo il pendio. Altro fattore è rappresentato dall'innesco di una frana di dimensioni tali da apportare un significativo carico solido ai deflussi di piena. Per quanto attiene le colate "asciutte" il fattore innescante è rappresentato dalle vibrazioni indotte dai terremoti.

⁹ Questo fenomeno è noto come *aratura del fondo* ed è causato dall'attrito dinamico che è in grado di movimentare anche strati del materiale sottostanti a quello reso inizialmente instabile.

¹⁰ Tali morfologie assumono particolare rilevanza in ambiente alpino, dove il susseguirsi nel tempo dei fenomeni di colata produce importanti conoidi, molte delle quali tuttora attive, spesso fortemente antropizzate e, pertanto, soggette ad un elevato grado di rischio.

¹¹ In tal senso si può affermare che le zone potenzialmente soggette a questo tipo di frana sono: le porzioni alterate degli ammassi rocciosi, le coperture detritiche eluvio-colluviali, i sedimenti a prevalente componente arenacea, sabbiosa, argillosa e gli accumuli di precedenti frane

¹² Le colate di detriti si verificano, di norma, quando in una data area l'intensità di pioggia immediatamente precedente l'evento supera un determinato valore critico. Tale soglia, o valore critico, dipende dalle caratteristiche geometriche, geologiche e morfologiche dell'ammasso granulare e del substrato su cui esso poggia.



Foto 4.5.4 - Bacino T. Varenna - Rio Gandolfi (Comune di Genova - GE) - Impluvio di primo ordine in rapida evoluzione morfologica causata dal ripetersi dei debris flow. La freccia nella zona di alimentazione indica il punto dove si può osservare come tale fenomeno si sia impostato in corrispondenza di una faglia.