

## CAPITOLO III

### CASI STUDIO

In questo capitolo verranno presentati alcuni casi studio allo scopo di mostrare alcune applicazioni pratiche delle tecniche di Ingegneria Naturalistica ampiamente illustrate precedentemente, evidenziando come effettivamente tale disciplina rappresenti un valido metodo di ripristino di versanti colpiti da eventi franosi.

#### 3.1 CASO 1: LA FRANA DI S. EUSEBIO NEL PARCO NATURALE DEL SACRO MONTE DI CREA (AL)

##### 3.1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO DEL SITO

Il caso esaminato fa riferimento ad dissesti che hanno coinvolto una porzione di territorio del Parco Naturale del Sacro Monte di Crea.

Quest'area di conformazione collinare prevalentemente boschiva, divenuta "Parco Naturale e area attrezzata del Sacro Monte di Crea" nel 1980, si trova nella zona del Basso Monferrato in provincia di Alessandria, ha un'estensione di 47 ettari e si situa ad un'altitudine compresa tra i 355 e i 455 metri s.l.m (figura 1). L'area, che comprende terreno prevalentemente boschivo nei comuni di Serralunga di Crea e Ponzano, presenta un grande interesse dal punto di vista storico e religioso - data la presenza del Santuario e di numerose Cappelle e Romitori dislocati sull'intero territorio del Parco (figura 2 e 3) - ma anche sotto il profilo naturalistico e paesaggistico.



Figura 1

Localizzazione dell'area oggetto di studio.

a) immagine satellitare che mostra la conformazione del territorio; b) foto aerea del Parco Naturale di Crea.

Esaminando il Parco sotto il profilo geologico si possono individuare due principali litotipi:

- marne poco stratificate alternate a livelli sabbiosi ed arenacei, sul versante Nord;
- arenarie e sabbie grossolane ad elementi serpentinosi alternate a livelli marnosi o calcareo marnosi e potenti letti di conglomerati poligenici, sul versante Sud.

Il Sacro Monte di Crea è costituito da rocce di origine sedimentaria che risalgono al periodo terziario; i conglomerati poligenici in particolare sono rocce deposte nel Pliocene superiore, (circa 2 milioni di anni fa) e costituiscono il basamento di tutti i sedimenti che si sono depositi successivamente: tali materiali si sono formati in ambiente marino, come testimoniato dalla presenza di livelli sabbiosi ricchi di conchiglie fossili.

La marna è anch'essa una roccia sedimentaria, di tipo clastico e organogeno, composta da una frazione argillosa prevalente e da una frazione carbonatica data generalmente da carbonato di calcio (calcite) o carbonato di magnesio (dolomite).

Il substrato roccioso risulta affiorante e la sua profondità di osservazione può variare da zero a

qualche metro. In pratica, se pur è corretto affermare che lo strato superficiale di terreno è fortemente soggetto a frane, è vero che lo scarso livello di approfondimento del substrato roccioso consente, con opportuni interventi di ripristino, di realizzare un ancoraggio sicuro alle pareti di roccia. Attraverso l'analisi del terreno eseguita sui campioni in sito (prova NSPT) si è stimato un angolo di attrito del terreno  $\phi = 32^\circ$  e coesione nulla.

Per quanto riguarda l'aspetto idrologico dell'area, questa è situata nel settore orografico destro del Torrente Stura del Monferrato - affluente di destra del Po - ed è lambita da due affluenti dello stesso. I versanti dell'area non presentano impluvi naturali stabili e questa può essere considerata una delle situazioni che favoriscono l'originarsi di dissesti, insieme alle condizioni geotecniche e geomorfologiche descritte in precedenza.

Le acque che generano questi smottamenti sono in gran parte dovute a piogge brevi e intense, il cui effetto è ancor più gravoso quando va a sommarsi con la piovosità cumulata: può accadere che il terreno raggiunga il suo grado massimo di saturazione durante piogge intense, dal momento che l'acqua non ha il tempo di essere assorbita e sommandosi a quella cumulata satura velocemente il terreno innescando fenomeni franosi. Tipici dissesti si generano qualora l'acqua interessi gli strati superficiali fluidificandoli oppure quando l'acqua insinuandosi in fratture del terreno e raggiungendo zone con terreno particolarmente igroscopico, provoca un aumento di volume dello stesso, innescando un fenomeno di scivolamento lungo superfici ben definite.

Nel primo caso si parla di fluidificazione delle coltri superficiali: la coltre saturata si distacca e si trasforma in una colata di fango e detriti con una velocità simile a quella di un fluido viscoso. Questo fenomeno è particolarmente pericoloso in quanto non mostra segni premonitori, è subitaneo, e la sua velocità può essere elevata e dunque pericolosa; perciò è bene tenere presente che sull'area di Crea i fenomeni franosi sono prevedibili solo se messi in relazione con le situazioni antecedenti di frana già avvenuti sul sito.

Il terreno degli strati superficiali è costituito per lo più di sedimenti sabbiosi ed arenacei e da sabbie grossolane ad elementi serpentinosi: queste coltri presentano caratteristiche di permeabilità elevate e comunque diverse da quelle tipiche delle formazioni rocciose sottostanti, entrambe condizioni favorevoli per dare origine ai dissesti sopra illustrati.

Per quanto riguarda il secondo caso, invece, si tratta di fenomeni detti scivolamenti: questi possono manifestare segni premonitori di instabilità e la velocità di smottamento delle terre avviene meno rapidamente rispetto ai fenomeni di fluidificazione.

Come già preannunciato entrambe le tipologie di dissesto illustrate sono strettamente correlabili agli eventi atmosferici e ciò è stato dimostrato attraverso l'analisi dei dati pluviometrici i quali hanno confermato questa ipotesi (*De Curti et al. "Ingegneria Naturalistica per la stabilizzazione di pendii: valutazioni comparative e analisi riferite a casi reali. Politecnico di Torino, 2009*).

Vista l'attitudine del suolo a fenomeni di smottamento è buona norma durante la progettazione di nuove opere prevedere un adeguato sistema di drenaggio e di convogliamento delle acque meteoriche, e non trascurare mai nei calcoli delle verifiche di stabilità il contributo della spinta dovuto all'acqua.

### **3.1.2 SISTEMAZIONE DEI DISSESTI NEL PARCO DI CREA ATTRAVERSO TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA**

Come visto nel precedente paragrafo, il territorio del Sacro Monte presenta caratteristiche favorevoli sia dal punto di vista geologico che idrologico per l'innescare di fenomeni franosi lungo i versanti. I problemi di instabilità dei versanti riscontrati nelle zone del parco sono connessi al fenomeno dei *soil slip*, ovvero all'instabilità delle coltri superficiali di terreno dovuto alla saturazione di questi ultimi. Smottamenti di piccola e grande entità si sono verificati a seguito di eventi meteorologici avversi, caratterizzati da abbondanti piogge e da alti valori delle cumulate.

Per ripristinare tali pendii dissestati, data l'importanza storica e naturalistica ricoperta da questo sito, sono state privilegiate tecniche tipiche dell'Ingegneria Naturalistica: in questo modo i siti oggetto d'intervento sono stati riportati in condizioni di sicurezza e le aree naturali sono state rispettate attraverso la messa in opera di interventi capaci di integrarsi con il territorio circostante. Si è valorizzata maggiormente l'estetica del risultato finale, accompagnandola con un risultato strutturale e di contenimento di versante efficace.

Le opere realizzate con tecniche di Ingegneria Naturalistica hanno inoltre il vantaggio di poter sfruttare le proprietà di drenaggio legate alle strutture e di migliorare le capacità drenanti e di consolidamento del terreno attraverso le proprietà legate al materiale vegetale vivo.

Come già descritto nel capitolo 1, talvolta i metodi tipici dell'Ingegneria Naturalistica possono essere combinati con altre tecniche di consolidamento geotecnico in modo tale da ottenere opere più adeguate e sicure nei confronti del contesto ambientale in cui andranno ad inserirsi.

Negli interventi misti, solitamente, le opere geotecniche, avendo la possibilità di raggiungere profondità maggiori rispetto agli elementi in legname, pietrame e/o geosintetici, hanno lo scopo di consolidare maggiormente e solidarizzare immediatamente le strutture di sostegno con il terreno, ponendosi al contempo in parti nascoste del manufatto ed evitando quindi di interferire con il risultato estetico finale.

Nel caso specifico si è ricorso all'uso di micropali, elementi costruttivi solitamente utilizzati in qualità di fondazioni profonde, che hanno svolto la funzione d'ancoraggio necessaria per la stabilità delle opere alla base.

### 3.1.3 LA FRANA DI SANT'EUSEBIO

#### *Il dissesto e le sue cause*

Il dissesto in questione ha interessato un'ampia porzione del versante Nord-Est dell'area di competenza del Sacro Monte di Crea, coinvolgendo la zona soprastante la Strada Provinciale che da Forneglio conduce al Santuario all'interno, ed estendendosi dall'incrocio tra la suddetta strada e un sentiero del parco sino al costone successivo alla curva che si trova dopo la Cappella I ("Il Martirio di S. Eusebio").

L'area in frana si estende su una superficie di circa 1090 m<sup>2</sup> all'interno di un versante molto acclive avente uno sviluppo altimetrico di circa 40 m<sup>2</sup>.

Lo scivolamento ha provocato lo sradicamento di piante anche ad alto fusto che, assieme a massi frantumati, si sono uniti al terreno e al fango della colata detritica della frana, invadendo la carreggiata stradale e mettendo a rischio sia l'incolumità dei visitatori che l'integrità della cappella situata nelle immediate vicinanze; pertanto si è resa necessaria la chiusura della strada al traffico per l'intera durata dei lavori.

La figura 2 consente di individuare l'area in questione all'interno del territorio di competenza del Parco Naturale del Sacro Monte di Crea, mentre l'immagine 3 mostra il dissesto avvenuto.

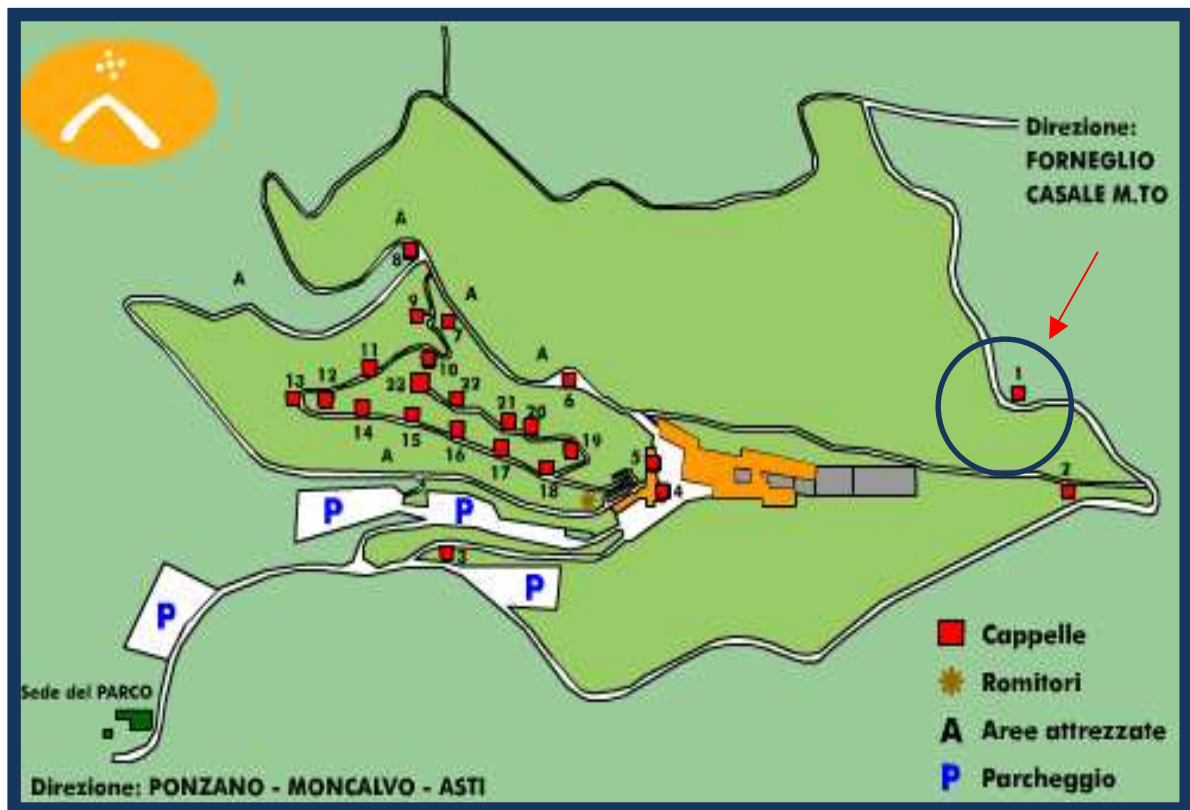


Figura 2  
Individuazione dell'area interessata dallo smottamento.





Figura 3  
a-b) Immagini del dissesto avvenuto nel settembre 2008



Come nella quasi totalità delle situazioni presenti nel Parco, anche questo smottamento appartiene alla famiglia dei *soil slip*, originati dalla saturazione delle coltri di terreno superficiali a sua volta provocata da avverse condizioni meteorologiche caratterizzate da piogge brevi ed intense che, sommate alla quota di pioggia cumulata già presente nel suolo e non completamente assorbita, sono da ritenersi la principale causa d'innescio di tali tipologie di fenomeni franosi.

Inoltre la composizione dei terreni in sito presenta caratteristiche favorevoli alla saturazione, infatti la superficie di scivolamento su cui è avvenuta la frana, come spesso accade in questi fenomeni, è stata identificata con l'interfaccia tra il substrato e la coltre eluvio-detritico-colluviale e sottolineata dalla presenza di cavità.

Il substrato risulta costituito da roccia dal comportamento rigido (marnoso arenacea) affiorante o poco approfondita, ben cementata avente buone caratteristiche geotecniche, sulla quale si innesta uno strato superficiale formato da particelle eluvio-detritico-colluviali, dalle caratteristiche geotecniche scadenti, di tipo sabbioso argilloso.

### **L'intervento di ripristino**

L'area sottoposta a ripristino interessa una superficie pari a circa 3600 m<sup>2</sup> e gli interventi realizzati hanno lo scopo di recuperare il versante attraverso tecniche di consolidamento superficiale, prestando attenzione alla regimazione, drenaggio e convogliamento delle acque superficiali in modo da evitare la saturazione dei terreni e dunque nuovi dissesti.

In figura 5 è illustrata una sezione trasversale tipo che mostra l'intervento progettato.

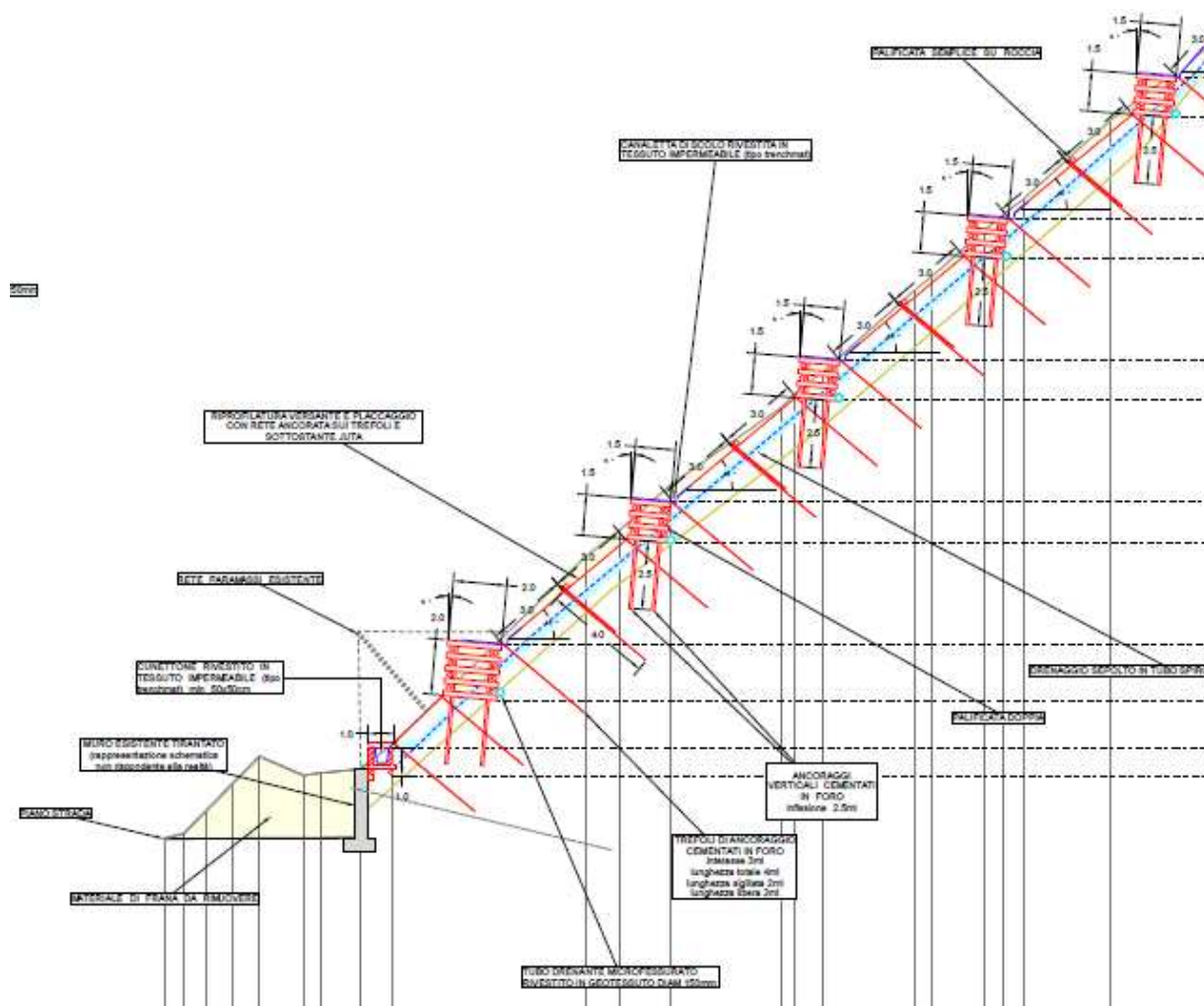


Figura 4  
Sezione trasversale tipo. Individuazione delle tecniche costruttive e della geometria dell'opera.



Come per tutti i lavori eseguiti con tecniche di ingegneria tradizionale, anche le opere naturalistiche richiedono alcune importanti operazioni preliminari alla realizzazione dei manufatti, in modo da agevolare il lavoro degli operatori e al tempo stesso perseguire la sicurezza dell'area di cantiere. Un'operazione che rientra tra quelle preliminari, dopo aver creato delle vie d'accesso all'area di cantiere, è rappresentata dal disgaggio. Questa pratica, che consiste nel regolarizzare i versanti eliminando i volumi rocciosi pericolanti e selezionando la vegetazione arborea da mantenere, è stata eseguita sulla parte sommitale del pendio in oggetto. Questa lavorazione, come anche la successiva posa della rete metallica di contenimento contro gli eventuali distacchi di porzioni di materiale roccioso, devono essere eseguite da manodopera altamente specializzata, vista la loro pericolosità. In figura 5 sono riportate due immagini raffiguranti le operazioni preliminari appena descritte.



Figura 5  
Operazioni preliminari per la messa in sicurezza del cantiere.  
a) disgaggio, regolarizzazione del pendio e posa in opera di rete metallica; b) risultato finale.



Per la stabilizzazione del versante, una volta messo in sicurezza il cantiere, si è optato per la realizzazione di strutture miste. Sono state progettate delle palificate di sostegno a doppia parete aventi sezione di 1,5 x 1,5 m, ancorate con un doppio ordine di micropali, iniziando dalla parte alta del versante, in modo da stabilizzare in via definitiva la sommità del pendio franato e di conseguenza la nicchia di distacco, per poi procedere lungo tutto il pendio, a consolidare l'accumulo di frana, con strutture disposte a distanza di 6 m l'una dall'altra.

I micropali hanno un interesse di 1 m e sono predisposti su due file parallele, una arretrata rispetto all'altra, in modo da assicurare un saldo ancoraggio anche alla fila di correnti situata più a tergo. La loro profondità d'ancoraggio è di circa 2,5 m rispetto al piano di posa della palificata in legname e comunque il perforatore deve raggiungere sempre il substrato compatto ed attraversarlo per almeno 1,5 m prima di realizzare la cementazione.

L'armatura di tali micropali è costituita da un profilato tubolare in acciaio di diametro 80 mm: questo viene infisso nel terreno previa perforazione e viene riempito tramite iniezione di malta cementizia. Quest'ultima fluisce dal basso verso l'alto ed è iniettata attraverso un elemento tubolare in plastica che, terminata l'operazione, non viene più recuperato ma rimane all'interno del micropalo stesso.

Per meglio comprendere tale successione operativa in figura 7 sono mostrate alcune delle fasi appena descritte ed eseguite proprio nel cantiere inerente il ripristino oggetto di studio.



Figura 6

Sequenza operativa per la costruzione di micropali.

a) individuazione del punto di perforazione; b) perforazione; c) infissione dell'armatura; d) riempimento con malta cementizia.



Le palificate sono costruite sulla traccia dei micropali.

Il loro riempimento è realizzato con il materiale terroso prelevato in sito durante la movimentazione e sistemazione delle terre costituenti l'accumulo detritico, previa asportazione del materiale più grossolano o inidoneo.

A tergo di tali strutture sono posti tubi e materassini filtranti interrati con funzione drenante e di smaltimento delle acque (figura 7-a). Infatti, si è reso necessario realizzare un sistema di smaltimento delle acque superficiali per evitare fenomeni di ruscellamento diffuso e la conseguente saturazione del suolo. Questi dreni secondari, aventi diametro pari a 150 mm e rivestiti di geotessile, sono posti su tutto il versante a tergo delle palificate e vengono convogliati ai dreni principali. Quest'ultimi (fig. 7 b) hanno un diametro maggiore rispetto ai dreni secondari (250 mm), sono metallici, di forma spiraliforme (molle in acciaio armonico) e vengono posizionati assialmente all'area in frana, in modo da raccogliere adeguatamente le acque portate dai dreni secondari.



a



b

Figura 7  
Elementi di drenaggio: a) materassini filtranti; b) tubo dreno spiraliforme.



Il terreno presente nella porzione di pendio interclusa a monte e a valle dalle palificate deve essere accuratamente modellato e trattenuto tramite la posa di una rete in fibra naturale accoppiata ad una rete d'acciaio a maglia esagonale armata con funi a trefoli .

Le reti sono vincolate al versante da ancoraggi, anch'essi in fune e cementati in foro, posti ad una distanza di 3 m l'uno dall'altro e aventi lunghezza totale pari a 4m (suddivisa in 2m di lunghezza sigillata e 2m di lunghezza libera). In figura 8 è mostrato lo strumento di perforazione per l'alloggiamento di tali ancoraggi. La sovrapposizione di due reti di diversa natura permette di trattenere il terreno evitando che venga dilavato dalle acque superficiali e crea al tempo stesso le condizioni favorevoli per l'attecchimento dell'inerbimento che vi verrà seminato.



Figura 9

Posa in opera degli ancoraggi della rete metallica.

a) strumento di perforazione alloggiato su di una "slitta" per facilitare la perforazione su superfici inclinate; b) particolare della slitta.



Come previsto da progetto, e come è consuetudine nelle opere di Ingegneria Naturalistica, il pendio in questione verrà rivegetato mediante la tecnica dell'idrosemina con un miscuglio bilanciato di graminacee e leguminose. Inoltre verranno messe a dimora delle talee tra i correnti delle palificate in modo da favorire la stabilizzazione attraverso lo sviluppo radicale delle stesse. Tutta l'opera progettata è stata sottoposta a verifiche strutturali secondo le prescrizioni dettate dalla normativa vigente, ottenendo risultati positivi e dimostrando dunque che le sollecitazioni agenti sulle opere e i terreni di versante sono minori delle resistenze offerte dalle opere stesse. Il costo complessivo dell'opera descritta ammonta a € 307.344,77.

Forte incidenza sul raggiungimento di questo valore hanno avuto l'estensione dell'area dissestata, l'utilizzo di prodotti ad alto contenuto tecnologico per il drenaggio della formazione e l'impiego dei micropali quali ancoraggi delle palificate in legname, tecnica in questo caso indispensabile per la sicurezza finale dell'opera ma al contempo più onerosa dei classici ancoraggi metallici. La figura 10 mostra lo stato d'avanzamento lavori aggiornato a novembre 2009.











Figura 9  
 Stato avanzamento lavori aggiornato a novembre 2009. a) versante stabilizzato e rete paramassi; b) lavori di movimentazione del materiale di risulta; c) gradonate ornate dalle palificate di sostegno a doppia parete; d) particolare di una palificata a doppia parete ancorata ai micropali. e) situazione ad aprile 2010.



### 3.2. CASO 2: VERSANTE IN FRAZIONE CASTAGNOLE DEL COMUNE DI GERMAGNANO (TO)

#### 3.2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, NATURALISTICO E GEOLOGICO DEL SITO

Il caso di ripristino che si andrà ad illustrare tratta di un intervento da realizzarsi nel territorio di Germagnano, comune situato nel quadrante nord-occidentale della provincia di Torino, oltre Lanzo all'ingresso delle omonime Valli e servito dalla strada "direttissima delle Valli di Lanzo" e dalla ferrovia Torino-Ceres (figura 10).

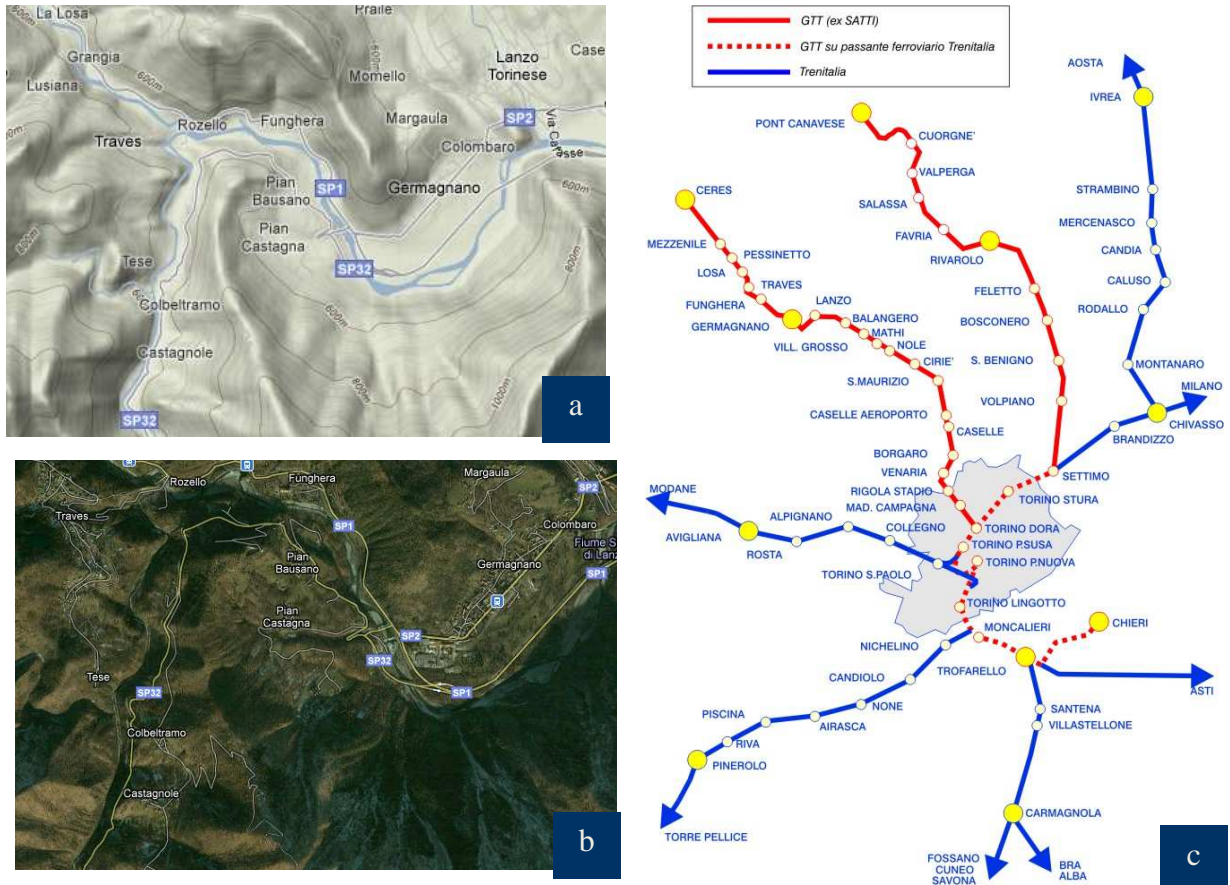


Figura 10

Localizzazione dell'area in esame

- a) immagine satellitare che mostra la conformazione del territorio; b) individuazione della porzione di strada interessata dagli interventi;  
c) collegamenti viari e localizzazione del comune di Germagnano

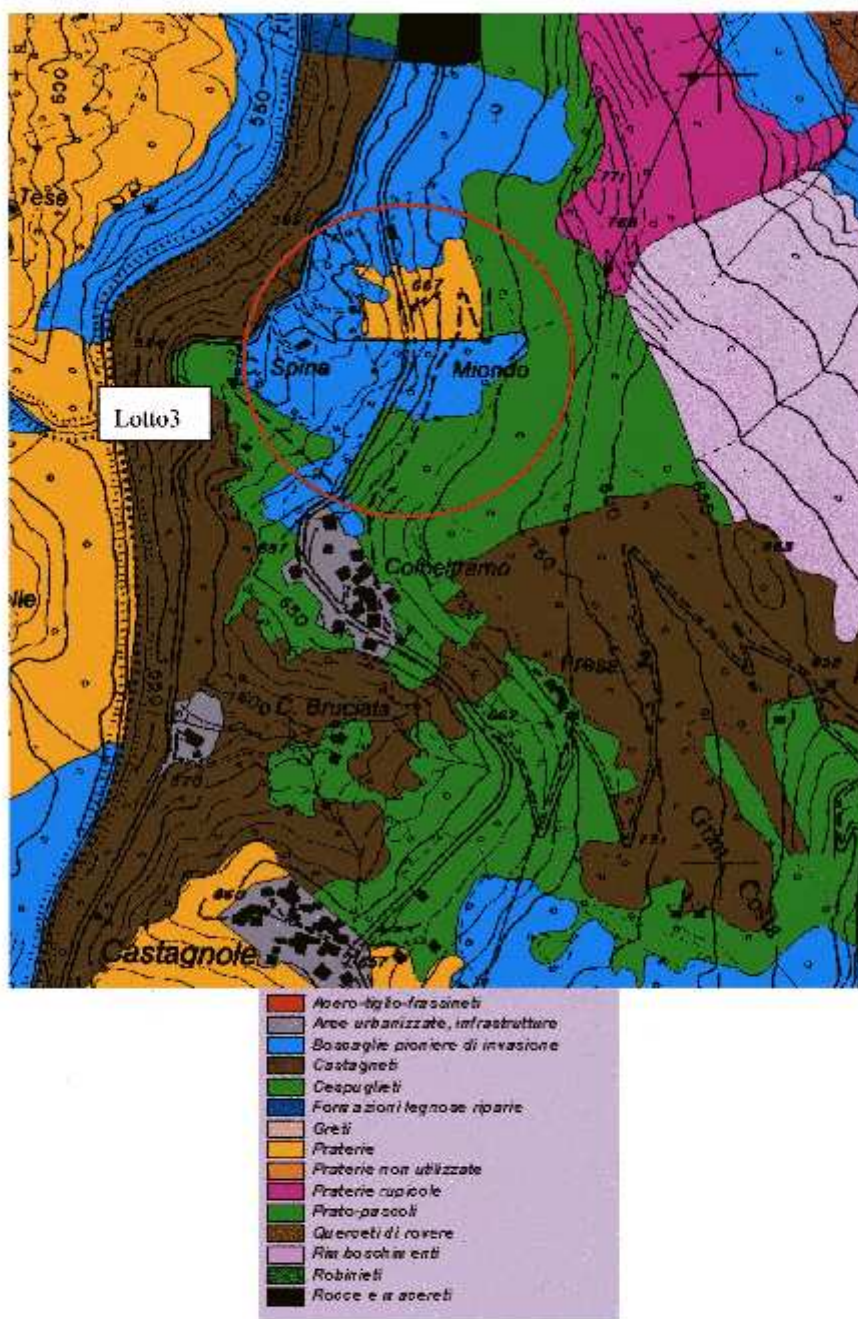
Il Comune di Germagnano intende procedere al recupero ambientale ed alla sistemazione di alcune parti degradate del territorio in modo da destinarle alla fruizione pubblica, cercando di conseguire in primo luogo il miglior inserimento paesaggistico, in quanto la posizione dell'intervento di maggiore estensione si realizza in un sito molto panoramico, costituente un crocevia per l'accesso alle Valli di Lanzo (area adiacente il cimitero comunale in località S. Stefano).

Un secondo intervento, di importanza fondamentale per la comunità locale, si prefigge di ottenere un risultato consistente e duraturo ai fini della stabilità dei suoli interessati dalle opere, nel realizzare il contenimento controripa delle formazioni poste a monte di un tratto della strada di collegamento con la frazione Castagnole, in siti caratterizzati da forti criticità geologiche. Tale intervento è stato quindi sottoposto ad una approfondita analisi nell'ambito del presente lavoro.

La porzione di territorio interessata dagli interventi in questione è dunque rappresentata dal versante lungo la strada comunale per l'accesso alla frazione di Castagnole che si stacca dalla provinciale per

Viù nei tratti compresi tra la borgata Colbeltrame e la Chiesa di S. Lorenzo e, da qui, verso la località Giasso, sino all'ultima casa della frazione.

L'area in questione è situata a circa 658 m s.l.m in un contesto vegetativo caratterizzato prevalentemente da superfici classificate come prato-pascoli e prateria, e subordinatamente, come boscaglie pioniere d'invasione (vedi figura 11 ). Nella maggioranza dei casi si tratta di coperture prative, nelle quali è possibile scorgere insediamenti sporadici di castagni e coperture a rovo. La zona boscata è caratterizzata soprattutto da betuleti d'invasione, probabilmente conseguenti all'abbandono dell'utilizzo dei prati in tali aree.



Estratto da "Carta dell'uso del suolo" – Piano Forestale Territoriale Area forestale 32 "Valli di Lanzo"

Figura 12

Estratto da "Carta dell'uso del suolo" – Area Valli di Lanzo

La situazione geologica dei siti dei due interventi è simile in quanto sono zone abbastanza prossime l'una con l'altra. Entrambe sono costituite da un basamento roccioso avente una struttura massiccia attraversata da giunti ed occasionalmente da disturbi tettonici. Il substrato roccioso invece presenta una fratturazione moderata e pertanto i versanti si presentano sostanzialmente stabili e con scarsa propensione a fenomeni di tipo gravitativo. Infatti questi ultimi si verificano solo in presenza di scarpate rocciose subverticali che, in conseguenza della suddetta moderata fratturazione, manifestano occasionali fenomeni d'instabilità legati a crolli in roccia. Dal punto di vista del comportamento fisico, il litotipo in questione risulta essere poco soggetto ai processi di alterazione sia fisici che chimici.

Il basamento roccioso appena descritto è ricoperto da una coltre di depositi terrazzati di origine fluvioglaciale. Sono costituiti da ciottoli e blocchi con grado di arrotondamento medio-alto, debolmente alterati e immersi in una matrice ghiaiosa-limosa di colore rossastro avente spiccata alterazione superficiale e bassa coesione. Localmente sono presenti depositi morenici cementati di potenza metrica caratterizzati da coesione maggiore e compresi all'interno dei suddetti depositi alluvionali e/o fluvioglaciali.

La genesi di tali depositi è da ricondursi a fenomeni di sollevamento tettonico che hanno indotto un veloce approfondimento dei corsi d'acqua e creato le caratteristiche valli strette.

La situazione geologica appena descritta fa sì che i depositi terrazzati, di per sé caratterizzati da buone condizioni di stabilità, possano fluidificarsi per effetto degli eventi meteorici o del dilavamento ad opera delle acque di corrivazione, soprattutto in corrispondenza dei livelli superiori fortemente argillificati. Da qui la necessità di progettare degli interventi di consolidamento che mirano prevalentemente alla realizzazione di opere di sostegno adeguatamente drenanti ed in grado di agevolare lo sviluppo di vegetazione in modo tale da proteggere la superficie dal dilavamento e dall'erosione e, soprattutto, consolidare mediante il proprio apparato radicale gli strati superiori del terreno, che sono quelli caratterizzati da condizioni geotecniche più scadenti e da più probabile rischio di liquefazione. Tutte funzioni assolvibili da manufatti tipici dell'Ingegneria Naturalistica.

A conferma di quanto finora descritto si segnalano un gran numero di piccole frane, classificate come "quiescenti" ma riattivabili a seguito dei fenomeni sopra descritti. Questi dissesti sono riportati dalla Carta Geomorfologica e dei Dissesti allegata allo studio geologico per l'adeguamento al P.A.I., proprio in prossimità della zona di Castagnole e, nella maggior parte dei casi, subito a monte della strada interessata dagli interventi di consolidamento.

La figura 13 mostra uno stralcio di tale Carta.



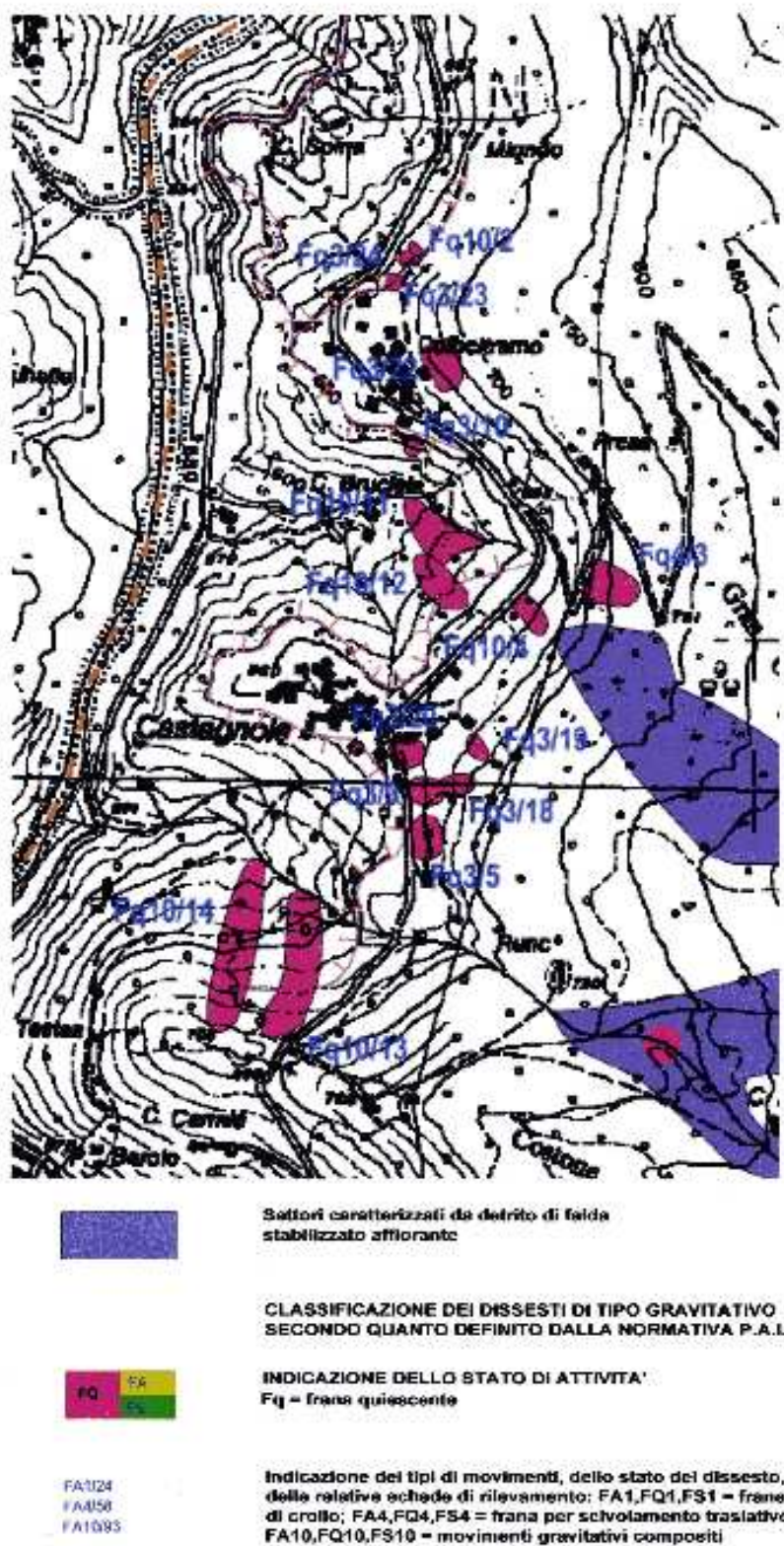


Figura 1: Estratto della Carta geomorfologica e dei Dissesti dello studio di Adeguamento al P.A.I. (sc. 1:10.000)

Figura 13

Estratto della Carta geomorfologica e dei Dissesti della studio di Adeguamento al P.A.I.

### 3.2.2 SISTEMAZIONE DEI DISSESTI NEL VERSANTE DELLA FRAZIONE DI CASTAGNOLE ATTRAVERSO TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Da quanto appena descritto si evince come il territorio limitrofo alla strada comunale che porta alla frazione di Castagnole presenti caratteristiche geologiche e geomorfologiche favorevoli per l'innescio di dissesti lungo i pendii. Rispetto al caso riguardante l'area del Parco Naturale del Sacro Monte di Crea, a Castagnole i problemi di instabilità non sono riconducibili ad un fenomeno di semplici *soil slip*, ossia di un dissesto provocato dalla sola fluidificazione delle coltri superficiali a seguito di fenomeni meteorologici avversi di carattere breve e intenso.

Nel caso del versante di castagnole le instabilità sembrano coinvolgere coltri di terreno di maggiore entità, che parrebbero spostarsi lungo superfici costituenti soglie di permeabilità per differente granulometria e comportamento geotecnico, e che possono assimilarsi a piani o ad ampie curve di scivolamento: tali dissesti possono pertanto assimilarsi più a scivolamenti traslativi di tipo rotazionale e/o planare.

Viste le condizioni del suolo ed il contesto paesaggistico nel quale è inserita la frazione di Castagnole, risulta essere corretta la scelta di realizzare dei consolidamenti mediante opere tipiche dell'Ingegneria Naturalistica, in modo da realizzare manufatti non impattanti dal punto di vista estetico, ben integrabili con l'ambiente naturale in sito e al contempo funzionali sotto l'aspetto strutturale.

Tuttavia l'evidenza di risalti morfologici, con la presenza di nicchie di distacco anche recenti e di estensione significativa, oltre che di venute d'acqua, indica la necessità di porre grande attenzione alla capacità di sostenere le spinte notevoli spinte del versante da parte delle opere di sostegno.

In questo paragrafo verranno presentati due casi di ripristino che interessano alcuni tratti di versante a monte della Strada Comunale di Castagnole e consistono entrambi nella ricostruzione dei manufatti ammalorati di sostegno di terre. Infatti lungo la suddetta strada sono presenti delle porzioni di muro di sostegno in conglomerato cementizio lievemente armato che risultano lesionati e degradati: il primo tratto oggetto di ripristino è situato dopo la Chiesa di S. Lorenzo di Castagnole, mentre il secondo è posto nel tratto di strada tra la frazione Colbeltrame a Castagnole.

La figura 14 mostra i due tratti di strada interessati dagli interventi sopra descritti.

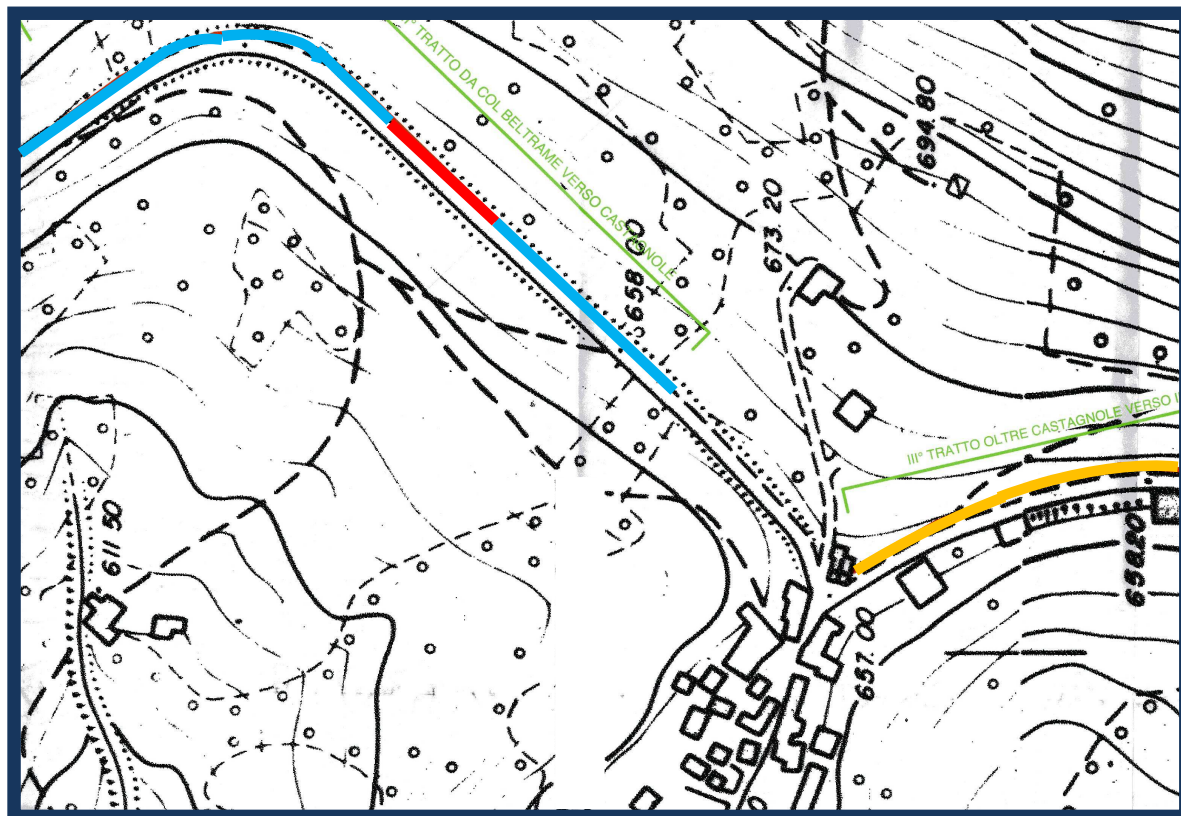


Figura 13  
Individuazione dei tratti soggetti ad interventi di ripristino.



In cui:

- opere in corso di realizzazione con finanziamento ex L.R. 32/1982. Contributo 2008. Lavori del biennio 2009-2010;
- opere da realizzarsi con futuri finanziamenti;
- opera sperimentale prevista (realizzata) con contributo ex L.R. 32/1982. Lavori del 2010.

**CASO 1: INTERVENTO SITUATO DOPO LA CHIESA DI S. LORENZO DI CASTAGNOLE**

***Il problema e le sue cause***

Questo primo caso si occupa della messa in sicurezza di un versante a monte della Strada Comunale di Castagnole nel tratto situato dopo la Chiesa di S. Lorenzo sino all'ultima casa posta in direzione della frazione di Giasso. Il manufatto esistente era un muro di sostegno in conglomerato cementizio le cui funzioni di contrasto delle spinte delle terre a tergo erano fortemente compromesse, dato l'evidente stato di ammaloramento in cui si trovava. Inoltre, come si può vedere dalla figura 14, il pendio a monte del muro è stato oggetto di smottamenti, evidenziando dunque la predisposizione a fenomeni di instabilità.



Figura 14

Smottamento presente sul pendio a monte della Strada Comunale di Castagnole.

a) vista aerea del dissesto; b) particolare del dissesto. C) demolizione di manufatti cementizi inefficienti; d) scavo esplorativo al piede della frana.









### ***L'intervento di ripristino***

L'area interessata dall'intervento non presenta una folta vegetazione e nemmeno pareti rocciose che necessitano di preventivo disaggio, pertanto l'allestimento del cantiere si presenta più agevole e rapido. Inoltre anche la presenza di una strada carrabile quale la Comunale di Castagnole rappresenta un elemento di grande aiuto per la realizzazione dei manufatti, in quanto permette di raggiungere agevolmente il cantiere con i mezzi d'opera e di avere spazi di manovra sufficienti, sebbene non ragguardevoli.

Un ulteriore problema è dato dalla acclività dei terreni e dalla sezione dei manufatti che vengono messi in opera. Per evitare di lasciare aperti fronti di scavo instabili che possono raggiungere altezze anche di 4 metri, si è scelto di operare per conci di sviluppo assai limitato e di intervenire in periodi che garantissero l'assenza di precipitazioni per diversi giorni.

Questa considerazione sta inoltre alla base della scelta costruttiva costituente l'intervento sperimentale di cui si tratterà nell'ultimo capitolo del presente lavoro.

L'opera di consolidamento del piede consiste, a seguito della demolizione dei muri di sostegno in calcestruzzo ammalorati o parzialmente dissestati, nella realizzazione di un muro di sostegno a gravità in pietrame solidarizzato ad una gabbionata drenante e collaborante alla funzione di sostegno, accoppiato ad una palificata viva a doppia parete contro terra. Nella porzione di sbancamento meno esteso il muro in pietrame di base è stato sostituito da una scogliera in massi.

Nell'area di massimo sviluppo, dunque, il muro è stato realizzato attraverso la formazione di una gabbionata drenante profonda ca. 1.5 m, il cui paramento è stato rivestito con una muratura a secco dello spessore di ca. 0.5 m. Sopra tale opera è stata posta una palificata di sostegno a doppia parete in legname, anch'essa riempita con materiale drenante e solidarizzata alla sottostante struttura mediante barre di acciaio ad aderenza migliorata del diametro di 32 mm (figura 15).











Figura 15

Intervento sulla strada comunale di Castagnole, in prossimità dell'omonima frazione.

a) palificata a doppia parete su base in scogliera; b) allestimento gabbionata drenante; c) preparazione delle barre di ancoraggio della palificata; d) paramento anteriore in muratura a secco; e) posa della palificata doppia.



La palificata rappresenta una continuazione del muro in elevazione. Essa è formata da correnti e traversi in legname scortecciato aventi diametro di circa 20-25 cm. Nella parte sommitale e tra i correnti è previsto l'inserimento di talee ad alta capacità vegetativa, che contribuiranno a stabilizzare ulteriormente il terreno grazie allo sviluppo del loro apparato radicale.

Di fondamentale importanza è stato predisporre un efficiente sistema di drenaggio, la cui realizzazione, ottenuta con la posa in opera di materiale drenante a riempimento della palificata doppia e di tubi di drenaggio che hanno lo scopo di smaltire le acque in eccesso, è stata "collaudata" nel settembre del 2009 da un evento di pioggia di forte intensità. Questa operazione risulta essere fondamentale allo scopo di evitare l'accumulo di acqua nel suolo e di conseguenza la saturazione del terreno, causa principale dei fenomeni di fluidificazione e dunque dei dissesti franosi. Terminata l'opera (figura 17), il progetto di ripristino prevede la preparazione del terreno in modo tale da procedere con le operazioni di rinverdimento attuate attraverso la tecnica dell'idrosemina.



Figura 16 a – b.  
Opera di ripristino in fase di  
avanzato stato di costruzione.



## **CASO 2: INTERVENTO SUL TRATTO DI STRADA TRA COLBELTRAME E CASTAGNOLE**

### ***Il problema e le sue cause***

L'area esaminata in questo secondo caso si estende lungo un tratto della Strada Comunale di Castagnole compreso tra la frazione Colbeltrame e il nucleo abitato, a partire da un piccolo pilone votivo. Anche in questo caso l'intervento progettato comprende la demolizione del muro di sostegno esistente, in quanto degradato, e la costruzione di una palificata viva quale manufatto di contenimento delle terre a tergo.

Sul versante in oggetto, come quello descritto nel primo caso, i dissesti più probabili sono piccoli scivolamenti rotazionali oppure *soil slip* causati dalla fluidificazione delle coltri superficiali che si verificano a seguito di eventi meteorologici avversi e che la presenza di componenti argillose nel terreno favorisce.

Questo caso studio sarà oggetto di verifica nel prossimo capitolo.

Infatti, a differenza di quanto finora realizzato, si è voluta sperimentare una nuova tecnologia di approccio a queste configurazioni di dissesto (frane rotazionali e fluidificazione delle coltri su infrastrutture viabili) progettando un'opera mista, che unisca possibilmente i vantaggi delle opere di Ingegneria Geotecnica con quelle dell'Ingegneria Naturalistica.

### ***L'intervento di ripristino***

In primo luogo è stato effettuato uno sbancamento, assai più limitato e superficiale rispetto a quello necessario per mettere in opera le palificate a doppia parete: le palificate di sostegno ad una parete sono infatti note come palificate ad infissione, e consentono di limitare lo scavo allo stretto necessario per la corretta disposizione dei correnti, mentre i traversi vengono appuntiti ed infissi meccanicamente nel terreno indisturbato in posto.

Non è stato necessario, per il caso in esame, effettuare interventi di taglio di piante instabili e pulizia dalla vegetazione infestante, ma è stato sufficiente dare luogo alla demolizione del preesistente vetusto manufatto in cls, regolarizzando successivamente il terreno della scarpata soprastante le opere di sostegno.

Quindi si è dato inizio alla costruzione dell'opera progettata. Il manufatto che verrà meglio illustrato in seguito, è costituito da una palificata viva a parete singola intirantata al pendio tramite l'infissione di tiranti d'ancoraggio.

L'unione delle due tecniche permette di ottenere un'opera con vantaggi di cantierizzazione (minor sbancamento = più sicurezza) rispetto alla palificata doppia ma al contempo con prestazioni superiori dal punto di vista strutturale in quanto è ancorata in profondità, in strati di terreno stabili.

Come precedentemente affermato, nel successivo capitolo verrà esaminato nel dettaglio questo manufatto, studiando e verificando la sua effettiva applicabilità al caso studio in oggetto.