



Progetto ALCOTRA RISKNAT

Azione B2

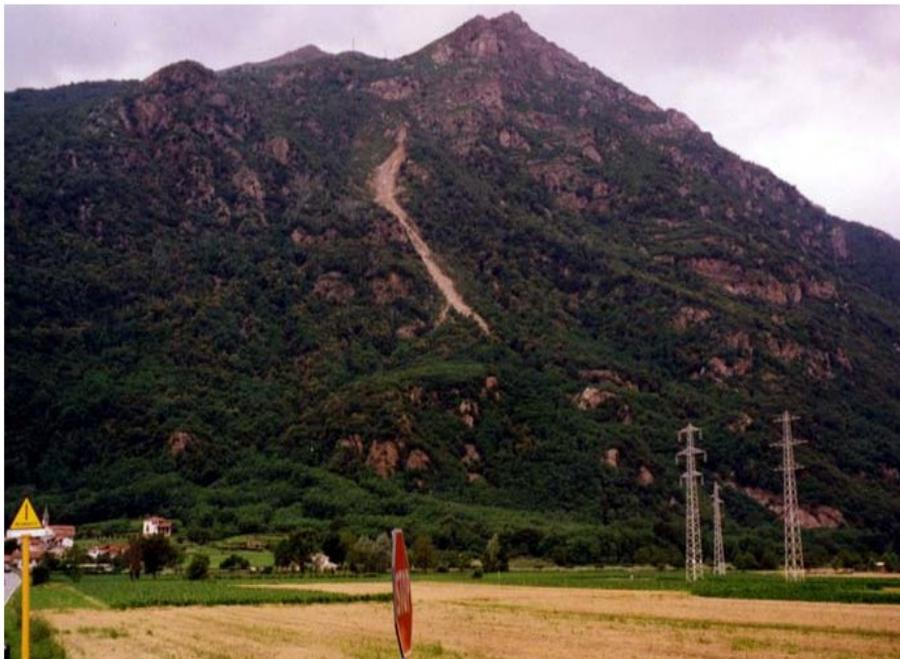
SISTEMA INFORMATIVO FRANE IN PIEMONTE

Scheda descrittiva di dettaglio III livello di approfondimento

Provincia di Torino

Comune di Borgofranco d'Ivrea

località Baio Dora



Dipartimento Tematico Geologia e Dissesto – ARPA Piemonte
Ultimo aggiornamento della scheda Maggio 2012

In prima pagina vista panoramica del versante di Baio Dora, foto Arpa Piemonte

Indice

| | |
|---|----|
| 1Premessa..... | 4 |
| 2Introduzione..... | 5 |
| 3Informazioni e dati disponibili..... | 7 |
| 3.1Documentazione disponibile..... | 7 |
| 3.2Studi pregressi..... | 8 |
| 3.3Voli aerei disponibili..... | 16 |
| 3.4Dati interferometrici..... | 17 |
| 3.5Quadro relativo a vincoli ed aspetti normativi..... | 19 |
| 3.6Ricostruzione storica dei fenomeni di instabilità..... | 23 |
| 3.7Danni..... | 25 |
| 4Analisi del Dissesto..... | 26 |
| 4.1Inquadramento geologico-strutturale..... | 27 |
| 4.2Meccanismi di movimento e zonizzazione..... | 28 |
| 4.3Fattori predisponenti e determinanti..... | 38 |
| 5Sistemi di controllo..... | 39 |
| 5.1Dati di monitoraggio | 39 |
| 5.2Dati Interferometrici..... | 41 |

1 Premessa

La presente scheda di approfondimento al III livello del SIFraP (Sistema Informativo Frane in Piemonte) è stata realizzata nell'ambito del progetto INTERREG Alcotra RISK NAT. La quasi totalità delle informazioni riportate nella scheda derivano dalle valutazioni effettuate dal Dipartimento Tematico Geologia e Dissesto di Arpa Piemonte e dal Gruppo di Lavoro istituito in seno alla Direzione OOPP della Regione Piemonte nell'ambito della "Convenzione tra la Direzione OO.PP. della Regione Piemonte ed Arpa Piemonte per l'Analisi delle aree a rischio individuate nel piano per l'assetto idrogeologico e nelle successive fasi attuative ai fini della mitigazione del rischio" (DD regionale 2781/db1400 del 27/11/09; DDG di Arpa 128 del 15/12/2009) e relativa all'area) e relativa ad un'area Area IIIB per rischi connessi con processi processi di frana in località Baio Dora nel Comune di Borgofranco d'Ivrea (TO).

2 Introduzione

Il fenomeno franoso indagato è individuabile nel settore Nord-occidentale del Piemonte, lungo le pendici del Monte Cavallaria (1464 m s.l.m.), a ridosso dell'abitato di Baio Dora, frazione del Comune di Borgofranco d'Ivrea (Figura 2.1).

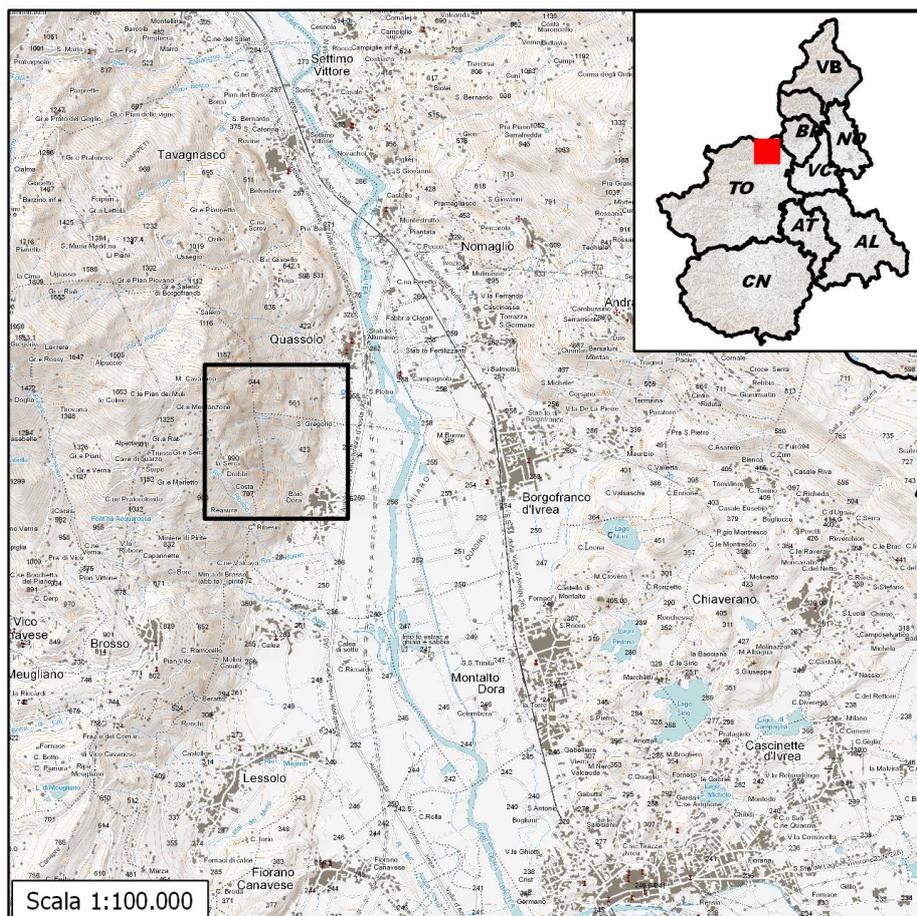


Figura 2.1 - Stralcio cartografia scala 100.000 con localizzazione indicativa del dissesto (box nero)

Si tratta di un estesa frana complessa nota fin dal XIX secolo per aver causato ripetuti danni sia alle infrastrutture viarie che alle coltivazioni poste alla periferia settentrionale dell'abitato. Il tratto di versante soggetto a movimento franoso presenta un dislivello di circa 700 m, una distanza in pianta di circa 1,5 Km, su una pendenza media del 70%, e ricopre una superficie di oltre 60 ettari. La parte inferiore del corpo di frana, posta ad una quota media di 250 m s.l.m. e confinata a Sud dall'abitato di Baio Dora e a Nord dal cimitero di Quassolo, è caratterizzata dalla presenza del cono di deiezione del Rio Prietto che solca il versante in frana. Il coronamento, nella parte superiore, raggiunge i 1100 m s.l.m. e risulta delimitato a Sud, dallo sperone roccioso la Serra, mentre a nord dalla località Gr. Merdanzone. La dinamica di tale dissesto è

caratterizzata dall'attivazione colamenti rapidi e colate detritiche con rotolamento di massi, direttamente alimentata da processi di riattivazione di un'antica frana di scivolamento coinvolgente il substrato roccioso, caratterizzata da superfici multiple a prevalente componente rotazionale (fonte: Atlante SCAI). Attualmente le diverse scarpate del coronamento e della porzione superiore del fenomeno evolvono con modesti e ripetuti fenomeni di crolli, ad andamento quindi retrogressivo. Il detrito prodotto dai crolli è soggetto a lenti e continui movimenti sulla base dell'analisi dei dati interferometrici satellitari (periodo 1992-2001).

3 Informazioni e dati disponibili

3.1 Documentazione disponibile

L'analisi che segue ripercorre le notizie relative ai fenomeni di instabilità avvenuti nella località Baio Dora del Comune di Borgofranco d'Ivrea dal 1870 ad oggi. Le fonti utilizzate per tale elaborazione sono state:

1. La pubblicazione della Regione Piemonte – C.N.R.: Luino F., Ramasco M., Susella G., Atlante dei centri instabili piemontesi (1993);
2. L'Archivio del Dipartimento Tematico Geologia e Dissesto di Arpa Piemonte;
3. L'Archivio del Comune di Borgofranco;
4. L'Archivio del Comune di Brosso;
5. Storiografie locali reperite presso biblioteche locali (comunali);
6. Cronache da giornali a cadenza quotidiana, soprattutto a diffusione locale;
7. Tesi di Laurea Facoltà Scienze Geologiche: Studio geologico-strutturale e geomorfologico della frana di Baio Dora (2009).

Tabella 3.1 - Riepilogo documentazione disponibile nell'archivio FONTI e DOCUMENTAZIONE di Arpa Piemonte

| Codice | Titolo | Tipo | Autore | Anno |
|--------|--|----------------|---|------|
| 218103 | Relazione di sopralluogo effettuato il 25 Gennaio 1980 sul versante che sovrasta Baio Dora (Borgofranco d'Ivrea) | Relazione | Regione Piemonte – Servizio Geologico | 1980 |
| 218448 | Analisi della stabilità dei versanti sovrastanti l'abitato di Baio Dora (Borgofranco d'Ivrea) | Studio | Regione Piemonte – Settore prevenzione del rischio geologico, meteorologico e sismico | 1992 |
| 30010 | Atlante dei centri instabili piemontesi | Pubblicazione | Luino F., Ramasco M., Susella G. | 1993 |
| | Progetto esecutivo per la definizione degli interventi di difesa attiva e passiva a protezione dell'abitato di Baio Dora | Studio | geol. Rabajoli e l'Ing. Tuberga | 1997 |
| | Relazione tecnica illustrativa atta ad evidenziare una possibile indagine geognostica e un monitoraggio geotecnico della frana in località Baio Dora | Studio | geol. Rabajoli e l'Ing. Tuberga | 1999 |
| | Inventario dei fenomeni franosi in Italia . Allegato tecnico per la realizzazione del progetto IFFI. | Pubblicazione | AA.VV. | 2003 |
| 188838 | Studio geologico-strutturale e geomorfologico della frana di Baio Dora | Tesi di Laurea | Alessandro Fassone | 2009 |

3.2 Studi pregressi

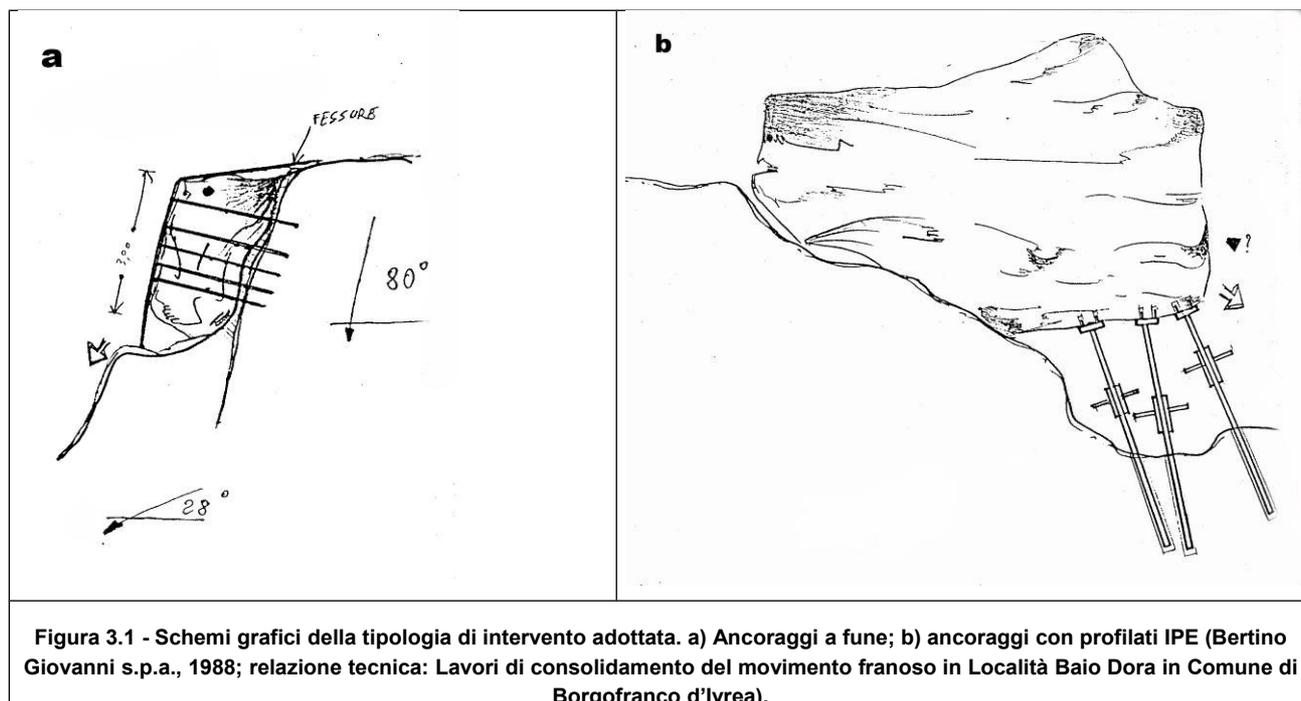
Nel 1923 venne costruito un'argine-muraglione in destra idrografica del rio Prietto, in apice del conoide, a difesa dell'abitato di Baio Dora. In seguito ad alcuni eventi alluvionali, l'argine venne colmato e seppellito e quindi ricostruito (1970) per una lunghezza di 90 metri, altezza 5 metri e larghezza alla sommità di 2 metri.

1971-1972 – Opere di sottomurazione di massi instabili in equilibrio instabile e parziale disalveo del Rio Prietto a monte del precedente muraglione paramassi dove si erano creati pericolosi ammassi detritici.

1988 – Lavori di consolidamento del movimento franoso in Località Baio Dora in Comune di Borgofranco d'Ivrea – Bertino Giovanni S.p.A.

Nel 1988 vengono eseguiti dei lavori di consolidamento del movimento franoso di Baio Dora. Gli interventi riguardano la stabilizzazione dello sperone la Serra con opere di sottomurazione e di ancoraggio:

- ancoraggi a fune, al fine di realizzare una fitta maglia di cavi d'acciaio lungo il perimetro esterno dell'ammasso, in modo da mantenere unito l'attuale ammasso disarticolato;
- ancoraggi con profilati IPE, in modo da cercare di bloccare la disarticolazione dell'ammasso roccioso.





1992 – Analisi della stabilità dei versanti sovrastanti l’abitato di Baio Dora nel comune di Borgofranco d’Ivrea – Regione Piemonte, Settore per la Previsione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico.

La Regione Piemonte, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico, su richiesta del Comune di Borgofranco, nel gennaio 1992, esegue uno studio particolareggiato della stabilità dei versanti sovrastanti l'abitato di Baio Dora. Nella realizzazione di questo lavoro è stato compiuto uno studio geomorfologico di dettaglio articolato nel seguente modo:

- rilievo geomorfologico di terreno eseguito su tutta l’area in frana ed esteso alle zone immediatamente limitrofe;
- calcolo approssimativo dei volumi potenzialmente instabili;
- stima della possibile evoluzione del fenomeno franoso e della distribuzione del materiale di accumulo.

Attraverso il rilievo geomorfologico, si suddivide il territorio in tre aree aventi caratteristiche geomorfologiche simili (Figura 3.3), entro le quali si evidenziano approssimativamente cinque possibili scenari in relazione alla variazione dello spessore della porzione di terreno potenzialmente instabile. Ottenendo i seguenti risultati:

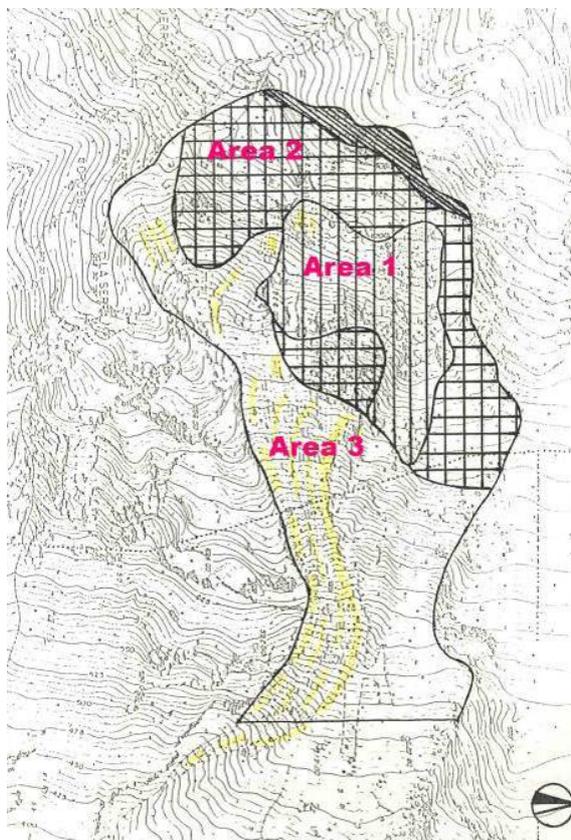


Figura 3.3 - Suddivisione in aree omogenee utilizzate per il calcolo dei volumi potenzialmente instabili (Regione Piemonte, Settore Per la Previsione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico, 1992; Analisi della stabilità dei versanti sovrastanti l'abitato di Baio Dora nel comune di Borgofranco d'Ivrea).

Tabella 3.2 -Volumetrie delle diverse aree omogenee

| Spessore in metri | 10 | 20 | 30 | 50 | 80 |
|--|-------|-------|-------|--------|--------|
| Area 1 43.000 m2 | 0,430 | 0,860 | 1,290 | 2,150 | 3,440 |
| Area 2 76.000 m2 | 0,760 | 1,520 | 2,280 | 3,800 | 6,080 |
| Area 3 120.000 m2 | 1,200 | 2,400 | 3,600 | 6,000 | 9,600 |
| Area1+2 119.000 m2 | 1,190 | 2,380 | 3,570 | 5,950 | 9,520 |
| Area 1+2+3 239.000 m2 | 2,390 | 4,780 | 7,170 | 11,950 | 19,120 |
| Dato espresso in milioni di metri cubi | | | | | |

Per quanto riguarda la stima della possibile evoluzione del fenomeno, l'autore assume che il meccanismo probabile di movimento avvenga per traslazione planare o rototraslazione e successiva "valanga di detrito". Stimando la possibile distribuzione del materiale coinvolto nella zona di accumulo o più correttamente, la distanza percorribile dal materiale franato.

L'approccio utilizzato a tale fine si riferisce a semplici modelli matematici derivati da considerazioni di tipo energetico e basati sull'analisi a posteriori di precedenti "valanghe detrito" nelle quali sono state ricavate

relazioni tra i volumi mobilizzati e il coefficiente di attrito ipotizzato e assunto come noto, quali: Scheidegger, (1975); Li Thianchi et alii, (1986).

Il risultato di tali analisi, basato su due ipotesi di mobilitazione del versante, rispettivamente di 4 milioni m³ e 25 milioni m³, prevede che le masse franate potrebbero teoricamente spingersi entro le zone rappresentate nella planimetria allegata alla relazione originale.

1995 – Interventi di difesa attiva e passiva a protezione dell'abitato di Baio Dora. Progetto esecutivo 1° intervento – Progettisti: M.Tuberga, E.Rabajoli.

A seguito del finanziamento del Ministero per il Coordinamento della Protezione Civile, che con ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 2390/FPC del 10/08/94 ha disposto l'assegnazione straordinaria a favore della regione Piemonte della somma di £ 4.00.000.000 per far fronte a situazioni di grave rischio connesse all'assetto idrogeologico in alcune zone della Provincia di Torino, in riferimento al quale la Regione Piemonte ha assegnato al Comune di Borgofranco d'Ivrea la somma di £ 800 milioni per l'eliminazione del rischio sulla frana in località Baio Dora, in data 28/08/95 l'Amministrazione Comunale incarica i professionisti della progettazione degli interventi relativi al finanziamento stesso. Tali interventi si compongono di opere di difesa passiva, realizzati al piede del versante, e di interventi di difesa attiva e di monitoraggio eseguiti in corrispondenza della pareti rocciose. Gli interventi di difesa passiva constano, in sintesi, di una "barriera paramassi", rappresentata da un rilevato in terra rinforzata, disposto in due segmenti a tergo dell'abitato (vallo a, vallo b), e del disalveo del Rio Prietto, con rinforzo e sopraelevazione dell'argine esistente.

Le barriere paramassi sono rappresentate da due rilievi in terra rinforzata, ubicati come illustrato in figura 27, con altezza pari 4 m e sviluppo di circa 70 m ciascuno; disposti, a 20 m di distanza l'uno dall'altro, a ricoprirsi marginalmente in modo da consentire l'accesso per la manutenzione e lo scolo delle acque.

Entrambi i rilevati hanno una larghezza di in testa di 4 m e un paramento verso monte in terra rinforzata, inclinato di 70° rispetto all'orizzontale. L'armatura dei rilevati è costituita da strati di georete con interasse 0,8 m.

A monte dei rilevati è stata effettuata la creazione di un piano di arresto orizzontale mediante operazioni di sbancamento, completo di canaletta per lo scolo delle acque.

Il paramento verso valle è differente per tipologia: in un caso è costituito in terra rinforzata, con inclinazione pari a 45°, nell'altro è stato realizzato un rilevato tradizionale in misto granulare con inclinazione di scarpata pari al rapporto 3/2.



Nel progetto vengono riportati i valori dei parametri geotecnici attribuibili ai terreni con cui sono stati realizzati i rilevati, la determinazione dei sovraccarichi statici e dinamici e le verifiche di stabilità della struttura del rilevato. Il disalveo e la sopraelevazione dell'argine del Rio Prietto sono stati eseguiti in corrispondenza del muro d'argine presente in sponda destra del Rio Prietto, settore d'apice del conoide alluvionale (Figura 3.5).



Figura 3.5 - Vista della sopraelevazione del muraglione d'argine del Rio Prietto.

Il disalveo eseguito lungo tutta la lunghezza dell'argine (90 m circa) è stato eseguito mediante scavo e allontanamento del materiale presente in alveo, operando su una larghezza media di 10 m e con una profondità tra 0,5 e 2 m circa, per un volume totale da asportare 900 m³.

L'argine esistente, come da progetto è stato sopraelevato di 1,5 m. per l'intero suo sviluppo su una

larghezza di 2 m, con massi da scogliera.

Gli interventi di difesa attiva previsti dal progetto prevedono la demolizione, il disaggio e l'ancoraggio di porzioni rocciose instabili ubicate per lo più in corrispondenza della località la Serra e del pendio sottostante, nonché il monitoraggio delle discontinuità che isolano masse volumetricamente più rilevanti poste sia nella stessa località che nel settore di coronamento settentrionale della frana di Baio Dora. A questi si aggiunge la messa in opera di una centralina meteorologica per il controllo dell'entità delle precipitazioni in quota, per consentire l'allertamento nel caso si registrassero condizioni eccezionali.

1997 – Interventi di difesa attiva e passiva a protezione dell'abitato di Baio Dora. Opere di regimazione idraulica. Progetto esecutivo 2° intervento – Progettisti: M.Tuberga, E.Rabajoli.

A seguito del finanziamento assegnato al Comune di Borgofranco d'Ivrea, tramite la legge 74/96, di £ 900.000.000 per l'eliminazione delle situazioni di rischio connesse alla frana in località Baio Dora, l'Amministrazione Comunale ha incaricato i professionisti dello studio geologico e della progettazione preliminare.

Questo progetto preliminare fu redatto dai progettisti in seguito a diversi sopralluoghi e rilievi condotti nelle aree di interesse e in base a quanto indicato nel verbale di sopralluogo effettuato in data 23.06.94, dal Comitato Tecnico Consultivo "Eventi Naturali" a supporto del Servizio Regionale di Protezione Civile, sia a quanto esposto dal Servizio Interventi Progettuali Geologico-tecnici, Pronto Intervento e Verifica Grandi Opere Infrastrutturali del Settore per la Prevenzione del Rischio Geologico Meteorologico e Sismico della Regione Piemonte nella relazione in data 24.10.95 avente oggetto "Verifiche di caduta massi lungo la parete rocciosa sovrastante la frazione di Baio Dora nel comune di Borgofranco d'Ivrea".

In particolare il questo lavoro prevede la seguente serie di interventi:

8. opere di difesa idraulica;
9. opere di regimazione delle acque superficiali lungo la strada per il Monte Cavallaria;
- 10.opere di regimazione delle acque a monte del coronamento di frana;
- 11.deviazione delle acque del rio di alimentazione del corpo di frana verso un tributario di sinistra del Rio Ribesio;
- 12.risagomatura del corpo di frana nel suo settore medio e inferiore;
- 13.opere di difesa passiva;
- 14.monitoraggio delle pareti rocciose e delle precipitazioni;
- 15.realizzazione di opere di difesa passiva a monte dell'abitato di Baio Dora;
- 16.ripristino dell'invaso di ritenzione del materiale di frana in corrispondenza del Rio Prietto e sopraelevazione argine.

A seguito di un primo finanziamento venne redatto un primo progetto esecutivo (Interventi di difesa attiva e passiva a protezione dell'abitato di Baio Dora. Progettisti: M.Tuberga, E.Rabajoli), i cui lavori risultano

ultimati, che prevedeva interventi ritenuti indifferibili per la sicurezza dell'abitato di Baio Dora. Vennero quindi eseguite le opere descritte nei punti 5,6 e 7.

L'attuale intervento si prefigge invece di incidere sulla principale causa che determina condizioni di riattivazione sia nel settore di testata sia in quello di accumulo, individuabile in una anomala concentrazione delle acque lungo il corpo di frana con innesco di fenomeni di fluidificazione del materiale detritico che determinano processi gravitativi del tipo "per colata di fango e detriti" lungo il versante a Nord dell'abitato di Baio Dora, in corrispondenza del vallone del Rio Prietto. Questo progetto si concentra dunque su interventi di sistemazione e difesa idraulica e specificamente in opere di regimazione dei deflussi superficiali. Pertanto in questo lavoro si è dato corso alla progettazione di una serie di opere tese a ridurre il quantitativo di acqua che raggiunge il corpo di frana. In particolare si propone di deviare le acque che si convogliano a monte del coronamento entro una incisione naturale con alveo ben definito all'altezza della Località C.ma Balma in Comune di Brosso e che si disperde nell'ambito del corpo di frana. La deviazione vera è propria del corso d'acqua consiste nella realizzazione di uno scavo a sezione trapezia approfondito di circa 1,5-2 m, con ampiezza alla sommità di circa 6 m, e sviluppo di circa 120 m. La pendenza media di tale deviazione risulta contenuta nell'ordine del 15-20%; per determinare un rallentamento della corrente è stato previsto di inserire una serie di piccole briglie in muratura di pietrame, con salti dell'ordine di 2-2,5 m. Il fondo viene protetto dall'erosione tramite la messa in opera di pietrame risolto sulle sponde per un'altezza di 1 m nella sezione corrente sino ad un massimo di 2,5 m in adiacenza alle briglie.

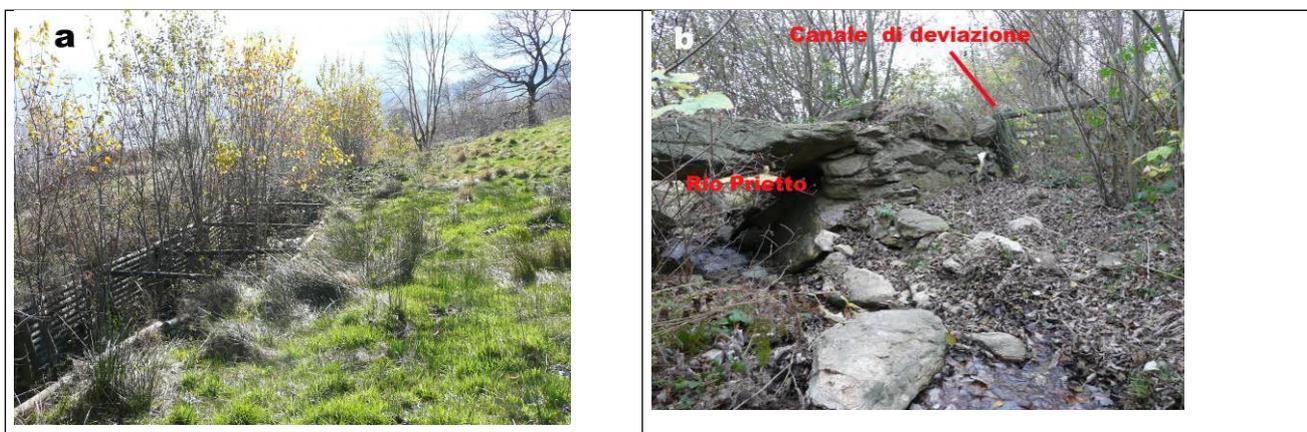


Figura 3.6 - a) Opera di regimazione e deviazione del Rio Prietto a monte del corpo di frana; b) settore d'apice della deviazione.

Nel tratto terminale, in prossimità dell'impluvio costituente la testata di un ramo del Rio Ribesio, per favorire il raccordo allo steso è stata prevista la realizzazione di una serie di briglie in legname e pietrame in grado di dissipare ulteriormente l'energia della corrente.

Per completare la regimazione delle acque superficiali scolanti nel bacino imbrifero a monte della frana, in questo elaborato viene espressa la necessità di convogliare al settore di testata del Rio Ribesio le acque defluenti lungo la strada per il monte Cavallaria, che allo stato attuale funge da linea di drenaggio e convoglia le acque a valle in direzione di aree fratturate ove tendono ad infiltrarsi. In ultimo indica come sia necessario effettuare la risagomatura del corpo di frana sia nel suo settore medio sia in quello inferiore.

2008 - Studio Geologico-Strutturale (Tesi Fassone, 2009)

Dal confronto dei dati prodotti delle tre analisi strutturali risulta che:

- Il sistema di lineamenti denominato Ln1 a direzione media NE-SW geometricamente corrisponde alla discontinuità D1, individuata dalla fotointerpetazione. Questo sistema che è diffuso in maniera omogenea all'interno dell'area di studio e corrisponde principalmente a faglie distensive a direzione NE-SW subverticali con prevalenza di movimenti destri e lunghezza variabile da decametrica a ettometrica. Il coronamento principale del fenomeno franoso corrisponde ad una delle faglie appartenente a questo sistema. Questo sistema di faglie è associato un sistema di fratture (Y) immergente mediamente a N320 di 40°, che presenta elevata persistenza con valori superiori a 10 m e spaziatura variabile con valori compresi tra 60 cm e 6 cm. L'apertura di tale sistema è mediamente rappresentata da valori compresi tra 2 mm e 4 mm.
- Il sistema di lineamenti denominato Ln2 a direzione media NW-SE geometricamente corrisponde alla discontinuità D21, individuata dalla fotointerpetazione. Questo sistema ben diffuso all'interno dell'area di studio presenta statisticamente lineamenti di maggiore lunghezza e corrisponde con un sistema di faglie transtensivi destri a direzione NW-SE immergente mediamente a 70° Questo sistema di faglie è associato ad un sistema di fratture immergente mediamente a N20 di 40° con variazione di giacitura da 0/30° a 35/50°. Questo sistema rappresenta la famiglia di fratture a spaziatura maggiore mostrando valori variabili tra 20 cm e 2 m. L'apertura di tale sistema risulta ridotta, mediamente compresa tra 2 mm e 4 mm. La persistenza risulta in ogni settore elevata, risultando raramente inferiore ai 3 m.

L'analisi geologico-strutturale permette quindi di evidenziare che:

- le scarpate principali e secondarie del fenomeno franoso si impostano su piani di faglia a carattere regionale o strutture minori ad esse associate;
- la frana si localizza in una zona d'intersezione di faglie regionali in cui si è avuta una forte concentrazione della deformazione con lo sviluppo di strutture transtensive che costituiscono una geometria "a fiore negativo", con associate fratture, cataclasiti non coesive e gauge di spessore metrico.

Tabella 3.3 - Sintesi degli interventi effettuati

| | |
|---------|--|
| 1923 | Viene costruito un argine-muraglione, in pietrame a secco, in destra dell'apice del conoide. |
| 1970 | Viene costruito in sostituzione del precedente un altro argine alto mediamente 5 m e lungo 90 m con larghezza di 2 m alla sommità. |
| 1971-72 | Parziale disalveo del Rio Prietto, a monte del muraglione d'argine. |
| 1982 | Realizzazione di barriere paramassi presso il Ristorante Balmetto, ad opera della ditta Eurock sa.n.c. di F. Peder & C. |
| 1988-89 | Opere di pronto intervento per sottomurazione di massi presso la località la Serra, ad opera della ditta Bertino Giovanni S.p.A.. |
| 1995 | Realizzazione di rilevati paramassi ubicati a tergo della chiesa di Baio Dora, nonché il disalveo e sopraelevazione di 1,5 m dell'argine presente in sponda destra del Rio Prietto, settore d'apice del conoide alluvionale; a seguito del progetto esecutivo: Interventi di difesa attiva e passiva a protezione dell'abitato di Baio Dora. Progettisti: M.Tuberga, E.Rabajoli. |
| 1997 | Deviazione delle acque del Rio Prietto verso un tributario di sinistra del Rio Ribesio; a seguito del progetto: Interventi di difesa attiva e passiva a protezione dell'abitato di Baio Dora. Opere di regimazione idraulica. Progettisti: M.Tuberga E. Rabajoli. |

3.3 Voli aerei disponibili

Tabella 3.4 - Riepilogo dei voli aerei disponibili

| Nome Volo | Compagnia | Anno |
|--------------------------------|--|-------------|
| Volo Regione Piemonte 1991 | Compagnia Generale Riprese (Fontana – Parma) | 1991 |
| Volo Regione Piemonte 2000 | Compagnia Generale Riprese (Fontana – Parma) | 2000-2001 |
| Volo 1944 RAF di Arpa Piemonte | Royal Air Force (RAF) | 1944 |

3.4 *Dati interferometrici*

Arpa Piemonte, negli ultimi anni si avvale di una nuova tecnologia che consente, mediante tecnica radar interferometrica – PSInSAR) di telerilevamento, di individuare e di valutare lo spostamento con precisione dell'ordine millimetrico di punti fisici dotati di particolari caratteristiche di fisiche di riflettività del segnale radar, denominati permanent scatterers (PS). Tale tecnica è applicabile su ampie porzioni di territorio e l'analisi dei dati può avvenire per l'intera serie storica su cui sono disponibili le immagini satellitari.

I PS vengono individuati sulle immagini con metodi statistici e corrispondono generalmente a bersagli quali edifici, oggetti metallici, antenne, pali, rocce esposte, per i quali le caratteristiche di riflessione dell'onda radar si mantengono stabili nella maggior parte delle immagini radar utilizzate. Questo consente di confrontare quantitativamente le riflessioni dello stesso oggetto in diverse immagini e, operando sulle differenze di fase dell'onda riflessa, di misurare gli spostamenti millimetrici del bersaglio rispetto al sensore del satellite lungo una direzione denominata linea di vista. Essendo la tecnica (PSInSARTM) particolarmente idonea all'identificazione ed alla definizione delle deformazioni ad evoluzione lenta, essa offre un importante mezzo di analisi nello studio dei fenomeni franosi.

Tabella 3.5- Riepilogo delle elaborazioni effettuate da TRE su dati ERS

| Dataset: | BIELLA_ERS_D_T251_2678 | IVREA_ERS_T29_F909 |
|--------------------------------------|--|-----------------------------------|
| Tipo di analisi | SPSA | SPSA |
| Satellite utilizzato | ERS-1 e ERS-2 | ERS-1 e ERS-2 |
| Numero di scene utilizzate | 77 | 37 |
| Intervallo temporale di analisi | 23/06/1992 – 22/12/2000 | 5 settembre 1993 - 19 luglio 2000 |
| Master acquisition | 04-set-98 | 1997/07/30 |
| Track / Frame | 251 / 2678 | 29/ 909 |
| Orbita | Discendente | Discendente |
| Coordinate del punto di riferimento | NORTH: 5035972.53 EAST: 412598.68 | NORTH: 5034640 EAST: 411703 |
| Estensione dell'area di interesse | 1914 Km2 | 1250 Km2 |
| Numero di PS identificati | 172042 | 27753 |
| Coordinate del versore di puntamento | Alos: -0.09682 Blos: 0.41983 Clos: 0.90242 | -0.07877 -0.38088 0.92126 |

Nel 2006 è stata effettuata da TRE Europa una prima indagine su tutto il territorio regionale utilizzando i dati derivati dai satelliti ERS1 ed ERS2 dell'Agenzia Spaziale Europea, che copre il periodo temporale compreso tra il 1992 ed il 2001. Nel 2010, una seconda indagine è stata effettuata unicamente sulla porzione di arco alpino corrispondenze alle province di Torino e Cuneo a partire dalle immagini della piattaforma canadese RADARSAT, per il periodo compreso tra il 2003 ed il 2009. L'elaborazione di tali immagini è stato effettuato utilizzando il nuovo algoritmo, denominato SqueeSAR, sviluppato dall'Università di Milano, che permette di identificare sia riflettori puntuali (PS) e scatterers diffusi (DS) aumentando notevolmente il numero di punti identificati, soprattutto in aree alpine.

In Tabella 3.5 vengono riportati i principali dati relativi alle elaborazioni effettuate per i dati ERS disponibili per l'area in esame.

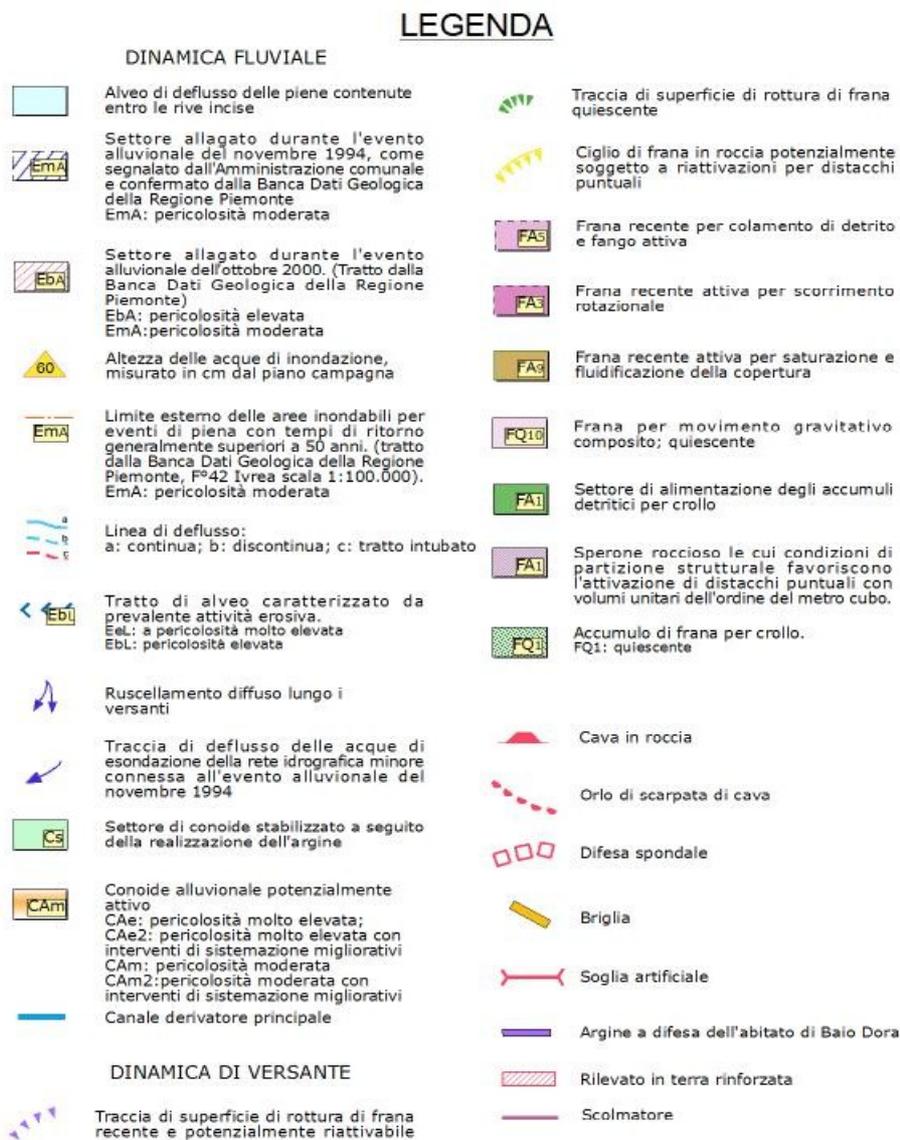


Figura 3.8 - Legenda della "Carta geomorfologica, dei dissesti, della dinamica fluviale e del reticolo idrografico minore" (tavola 2g) allegata al PRCG (Geoengineering, 2010).

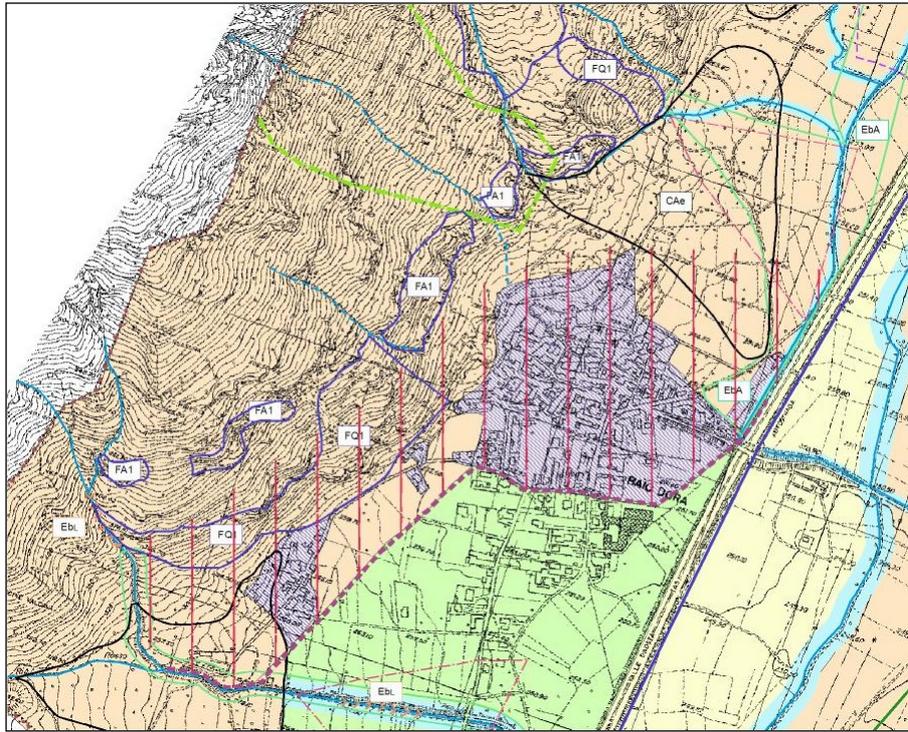


Figura 3.10 - Stralcio dalla “Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica” (tavola 7g) allegata al PRCG (Geoengineering, 2010). La campitura a righe rosse verticali indica l'area sottoposta ai vincoli derivanti dalla L.9 luglio 1908 n. 445 s.m.i. e dal relativo provvedimento di consolidamento (D.L. n. 299 del 2 marzo 1916).

3.6 Ricostruzione storica dei fenomeni di instabilità

Nel seguente capitolo vengono riportate in forma sintetica le principali notizie di riattivazioni del dissesto o di fenomeni di instabilità ad esso associabili.

Tabella 3.6 -Ricostruzione storica dei fenomeni di instabilità

| Anno | Descrizione sintetica |
|------|---|
| 1889 | Frana di grandi dimensioni incanalata nella valletta del Rio Prietto investe con un ampio cono di deiezione la periferia dell'abitato |
| 1890 | 28 maggio 1890 - Nubifragio con forte attività torrentizia e colata detritica sul Rio Prietto: gravi danni alle attività agricole. |
| 1891 | Frana invade i castagneti e i vigneti posti alla periferia dell'abitato |
| 1891 | Evento franoso straordinario: nessuna vittima. |
| 1895 | Caduta di grossa frana: nessuna vittima. |
| 1897 | Luglio 1897: violento nubifragio e franamento: detriti e fango invadono parte delle vie del paese. |
| 1910 | 04 novembre 1910 - Modesto franamento: nessun danno a persone e all'abitato. |
| 1920 | 02-04 luglio 1920 - Caduta di pioggia torrenziale e scaricamento da parte del rio Prietto di grossi massi e fango riempiendo totalmente l'alveo. |
| 1942 | A seguito di una forte alluvione si ebbe un grande franamento nel bacino del Rio Prietto: danni all'acquedotto, ai vigneti ed al muraglione costruito nel 1923. Il territorio a nord dell'abitato rimase coperto di detriti e fango e tutta la zona venne allagata fino oltre la linea dell'attuale autostrada |
| 1948 | Una frana di notevoli proporzioni si riversa a valle riempiendo il vallone del rio Prietto e cancellando l'alveo originario. |
| 1956 | Enormi macigni si staccano dal fianco del monte Cavallaria e rotolano per il pendio sino poco sopra al paese |
| 1971 | 22 marzo 1971: dopo tre giorni di continue piogge si verificarono crolli e colate detritiche con accumulo di materiale in prossimità della biforcazione del torrente e in prossimità delle prime case dell'abitato di Baio Dora, non si lamentano danni alle persone ed alle abitazioni. Alcuni dei massi, uno dei quali di 150 metri cubi, precipitavano direttamente su terreno boschivo a valle dell'abitato di Baio Dora. |
| 1972 | 9 ottobre 1972: a seguito di forte piogge nuovo fenomeno franoso nella zona sovrastante la frazione di Baio Dora |
| 1975 | 6 maggio 1975: Riattivazione del fenomeno franoso a causa di abbondanti piogge. |
| 1979 | 26 dicembre 1979: staccatasi frana dalle pendici del monte Cavallaria presso regione Valerino, sita nelle immediate vicinanze delle case della frazione Baio dora. |
| 1981 | 11 marzo 1981: segnalata la presenza di grossi massi instabili nella zona di Valerino e Bochis. |
| 1988 | 26 gennaio 1988: Crollo di vecchio terrazzamento situato a ridosso delle abitazioni della località Vallarino Basso |
| 1989 | 14 aprile 1989: Crollo di porzione lapidea di circa 3 metri cubi in località Fornace, ordinato sgombero di due abitazioni. |
| 1990 | Segnalato distacco di alcuni massi dalle pareti del Monte Cavallaria e la ripresa dei movimenti della vecchia frana di Baio Dora. |
| 1994 | 16-18 maggio 1994: a seguito di abbondanti piogge riattivazione del corpo di frana sopra Baio Dora. In seguito a ciò le autorità competenti ordinano lo sgombero parziale del paese per alcuni giorni. |
| 1995 | 13 novembre 1995: riattivazione modesta del fenomeno franoso in località Serra. |
| 1999 | 16 agosto 1999: Segnalazione di crollo in regione Vallarino Basso in area posta poco sopra alcune abitazioni. |
| 2008 | 16 dicembre 2008: Segnalazione di crollo e presenza di massi instabili in prossimità della località S. Gregorio. |

SIFRAP - Scheda descrittiva di dettaglio III livello di approfondimento
Comune di Borgofranco d'Ivrea, località Baio Dora



Figura 3.11: Ricostruzione storica degli eventi relativi alla frana di Baio Dora (da: tesi di laurea Fassone, 2009)

3.7 **Danni**

La costruzione di un argine-muraglione nel 1923 a protezione dell'abitato di Baio Dora è risultata particolarmente efficace; prima di tale opera il vecchio centro storico fu invaso da fango e detriti. Le ripetute colate hanno invece danneggiato pesantemente terreni e coltivi. Una sintesi dei danni, estratta dalla scheda SIFRAP di II livello, è riportata in Tabella 3.7.

Tabella 3.7 -Ricostruzione storica dei fenomeni di instabilità

| Codice danno | Danno | Dettaglio Danno | Entità | Descrizione |
|---------------------|----------------------------|------------------------|----------------|---|
| 1874 | Nuclei/centri abitati | centro abitato minore | lieve | Violento nubifragio e franamento: detriti e fango coprono parte delle vie del paese. |
| 1875 | Terreno agricolo | seminativo | lieve | Danni a colture conoide ai margini di Baio Dora. Terreno agricolo seminativo Grande franamento all'interno del Rio Prietto a seguito di evento alluvionale: danni all'acquedotto, ai vigneti, al muraglione costruito nel 1923. Il territorio a nord dell'abitato rimase coperto da detriti e fango e tutta la zona venne allagata fino oltre la linea dell'attuale autostrada. |
| 1877 | Terreno agricolo | colture specializzate | non valutabile | Nubifragio con forte attività torrentizia e colata detritica sul Rio Prietto che ha provocato gravi danni alle attività agricole. |
| 67 | Infrastrutture di servizio | acquedotti | grave | Grande franamento all'interno del Rio Prietto a seguito di evento alluvionale: danni all'acquedotto, ai vigneti, al muraglione costruito nel 1923. Il territorio a nord dell'abitato rimase coperto da detriti e fango e tutta la zona venne allagata fino oltre la linea dell'attuale autostrada. |
| 148 | Opere di sistemazione | opere di protezione | grave | Grande franamento all'interno del Rio Prietto a seguito di evento alluvionale: danni all'acquedotto, ai vigneti, al muraglione costruito nel 1923. Il territorio a nord dell'abitato rimase coperto da detriti e fango e tutta la zona venne allagata fino oltre la linea dell'attuale autostrada |

4 Analisi del Dissesto

La frana, nota fin dal XIX secolo per aver causato ripetuti danni sia alle infrastrutture viarie che alle coltivazioni poste alla periferia settentrionale dell'abitato, è caratterizzata dalla presenza di un fenomeno complesso in cui si riconosce una gamma di cinematismi differenti: dai fenomeni di scivolamento alle colate di detrito (debris flow) a processi di ribaltamento e crollo. La dinamica di tale dissesto può essere riassunta prendendo in considerazione:

- un settore di testata (parte alta del versante), caratterizzato dalla presenza di diverse scarpate in roccia da dove si innescano frequenti fenomeni di crollo, ribaltamento e rotolamento di porzione rocciose e di massi;
- un settore di accumulo, dove i blocchi depositi al piede delle scarpate, che talvolta raggiungono dimensioni di diverse decine di metri cubi, vengono convogliati verso valle in seguito a lenti processi di scivolamento rotazionale.

Simultaneamente a tali cinematismi, in particolari situazioni di saturazione della coltre superficiale, si verificano locali collassi di materiale detritico caratterizzati da movimenti da rapidi fino a estremamente rapidi (colate detritiche).

4.1 Inquadramento geologico-strutturale

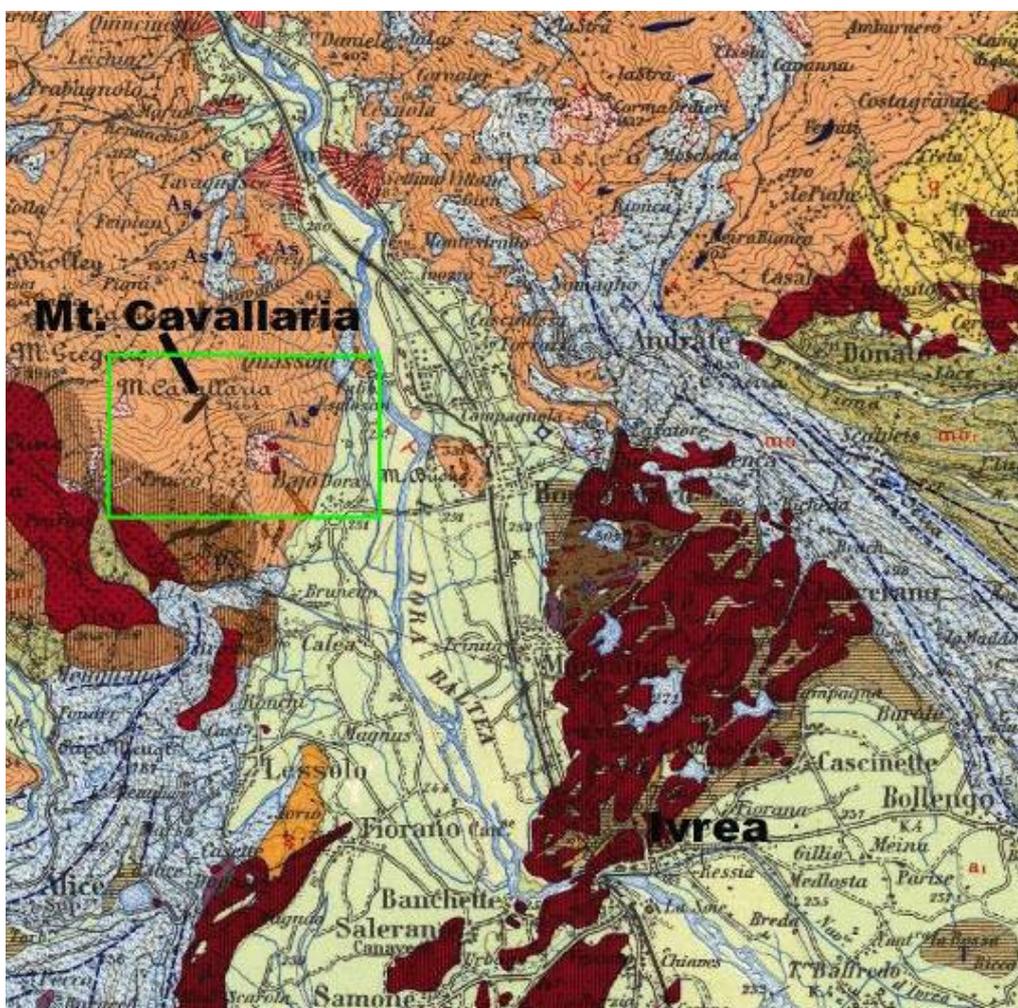


Figura 4.1 - Stralcio del foglio 42 "Ivrea", Carta Geologica d'Italia scala 1:100000. In arancione: Gneiss Minuti, gneiss occhiadini. Micascisti e micascisti eclogitici e pirossenici; in marrone con lenti violacee: calcari dolomitici; in rosso: dioriti melanocratiche e noriti anfiboliche, dioriti biotitiche; in rosso rigato: gneiss biotitici e andalusitici dell'aureola di contatto della diorite di Traversella e Brosso; in azzurro puntinato: Morene wurmiane, postwurmiane e recenti e cordoni morenici principali dell'anfiteatro d'Ivrea; in verde: alluvioni recenti e laghi colmati.

L'area oggetto di studio è collocabile all'interno del sistema Austroalpino delle Alpi occidentali, più precisamente all'interno della Zona Sesia-Lanzo. Le rocce cristalline affioranti appartengono al Complesso dei Micascisti Eclogitici, costituente il settore più interno della Zona Sesia-Lanzo. In Figura 4.1 è riportato uno stralcio dal foglio Ivrea n°42 della Carta Geologica d'Italia. Le rocce dell'area di studio (area del M. Cavallaria) presentano una giacitura variabile per effetto delle intense deformazioni plicative alpine e sono caratterizzate da un diffuso stato di fratturazione, con due-tre sistemi principali di discontinuità, geneticamente connessi alla "Linea del Canavese Sud", grande struttura alpina che mette a contatto le rocce del dominio Austroalpino con quelle delle Alpi Meridionali (Dal Piaz, 1992). Per approfondimenti si

faccia riferimento a tesi di laurea "Studio geologico-strutturale e geomorfologico della frana di Baio Dora" (A.Fassone, 2009).

4.2 Meccanismi di movimento e zonizzazione

Essendo la frana di Baio Dora un fenomeno complesso, caratterizzato dall'azione simultanea di più processi, vengono individuati i diversi meccanismi gravitativi che interessano il dissesto franoso incombente sull'abitato. Una prima analisi di dettaglio, tratta dall' "Atlante dei centri abitati instabili piemontesi" (Luino F., Ramasco M. & Susella G.F., 1991) , differenzia in una cartografia semplificata l'area relativa ad una antica frana di scivolamento e crolli coinvolgenti il substrato roccioso e l'area soggetta a colate di detrito e fango con rotolamento di massi. In prossimità dello sbocco sulla piana della Dora Baltea vengono differenziati le porzioni di conoide attive da quella su cui si sviluppa l'abitato di Baio Dora, protetto dall'argine-muraglione del 1923 (Figura 4.2).

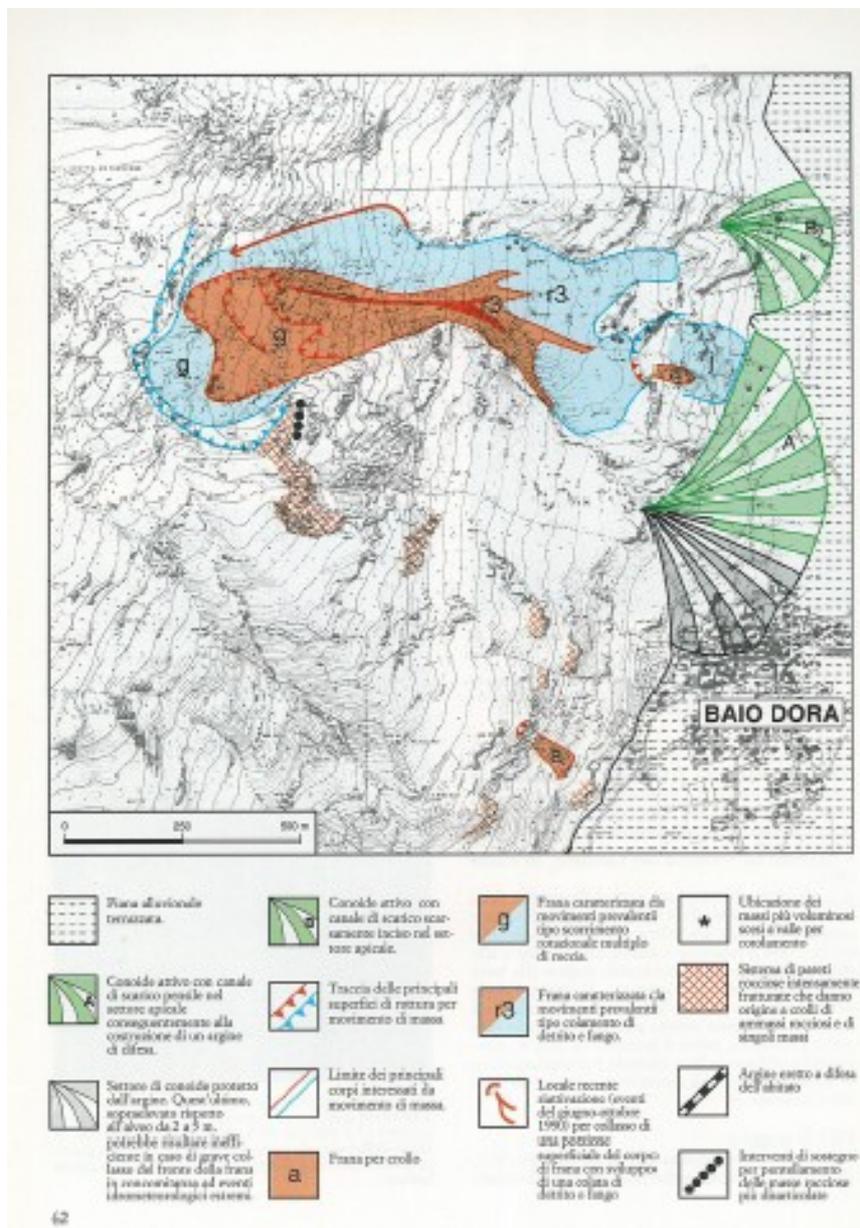


Figura 4.2 -Perimetrazione della frana di Baio Dora tratta da l'Atlante dei centri abitati instabili piemontesi (Luino F., Ramasco M. & Susella G.F., 1991)

Uno studio più dettagliato dei meccanismi di movimento presenti nel corpo di frana, realizzato nell'ambito della tesi di laurea "Studio geologico-strutturale e geomorfologico della frana di Baio Dora" (A.Fassone, 2009) in collaborazione con ARPA Piemonte, adotta un'analisi integrata di differenti aspetti di seguito elencati:

1. tipologia dei depositi gravitativi
2. grado di rimodellamento
3. tipologia di vegetazione
4. analisi delle pendenze
5. analisi delle aree drenate (*flow accumulation*)
6. analisi interferometrica satellitare (PSInSAR™, dati ERS1 – ERS2)

Precisamente, integrando le differenti analisi derivanti dallo studio del dato storico, delle fotografie aeree, dalle informazioni pervenute mediante il rilevamento di terreno e dalle analisi morfometriche e interferometriche sopra citate, la frana è stata suddivisa in settori omogenei per meccanismo di movimento e stato di attività. Tale analisi ha permesso di comprendere le dinamiche e i processi che costituiscono il fenomeno gravitativo e di definire un modello interpretativo del fenomeno che incombe sull'abitato di Baio Dora.

La determinazione dello stato di attività dei processi in oggetto (crolli, movimenti roto-traslativi, colamenti) è stata effettuata durante il rilevamento geomorfologico (ottobre-novembre 2008) tenendo conto sia del grado di rimodellamento delle forme, sia dell'ambito morfologico e del contesto geografico all'interno del quale si sviluppano i fenomeni gravitativi.

Premesso che la conservazione delle forme è strettamente legata alle caratteristiche fisiche del territorio nel quale tali forme si evidenziano (estese porzioni di substrato affiorante e subaffiorante, forte controllo strutturale, intensi processi di alterazione fisica e ridotti processi di alterazione chimica), si è stabilito che (da Progetto IFFI – 2003):

- dove le forme presentano caratteri ben evidenti, mantenendo in pratica l'aspetto originale (grado di rimodellamento da nullo a basso), è molto probabile che si siano originate da poco tempo, o addirittura siano ancora in fase di formazione; per tutti questi fenomeni è stato definito un grado di attività come "attivo";
- dove le forme risultano in parte modificate dal rimodellamento (grado di rimodellamento da basso a medio) i processi gravitativi responsabili della genesi di queste forme sono considerati quiescenti
- dove le forme risultano profondamente modificate dai processi di rimodellamento (grado di rimodellamento da medio ad alto) è molto probabile che il settore risulti stabilizzato.

L'area studiata è stata quindi suddivisa in settori caratterizzati da processi gravitativi differenti ai quali è stata attribuita un'indicazione sullo stato di attività (Figura 4.3). Le porzioni di territorio sono quindi state distinte in:

- settori soggetti a fenomeni gravitativi di crollo;
- settori soggetti a fenomeni gravitativi di scivolamento roto-traslativo;
- settori soggetti a fenomeni di debris flows;
- settori soggetti a fenomeni di colamento lento;
- settori soggetti a fenomeni di deposizione di debris flows e deiezione.

TAV. 7 CARTA DELLA TIPOLOGIA DEI PROCESSI E DELLO STATO DI ATTIVITA' scala 1:8000

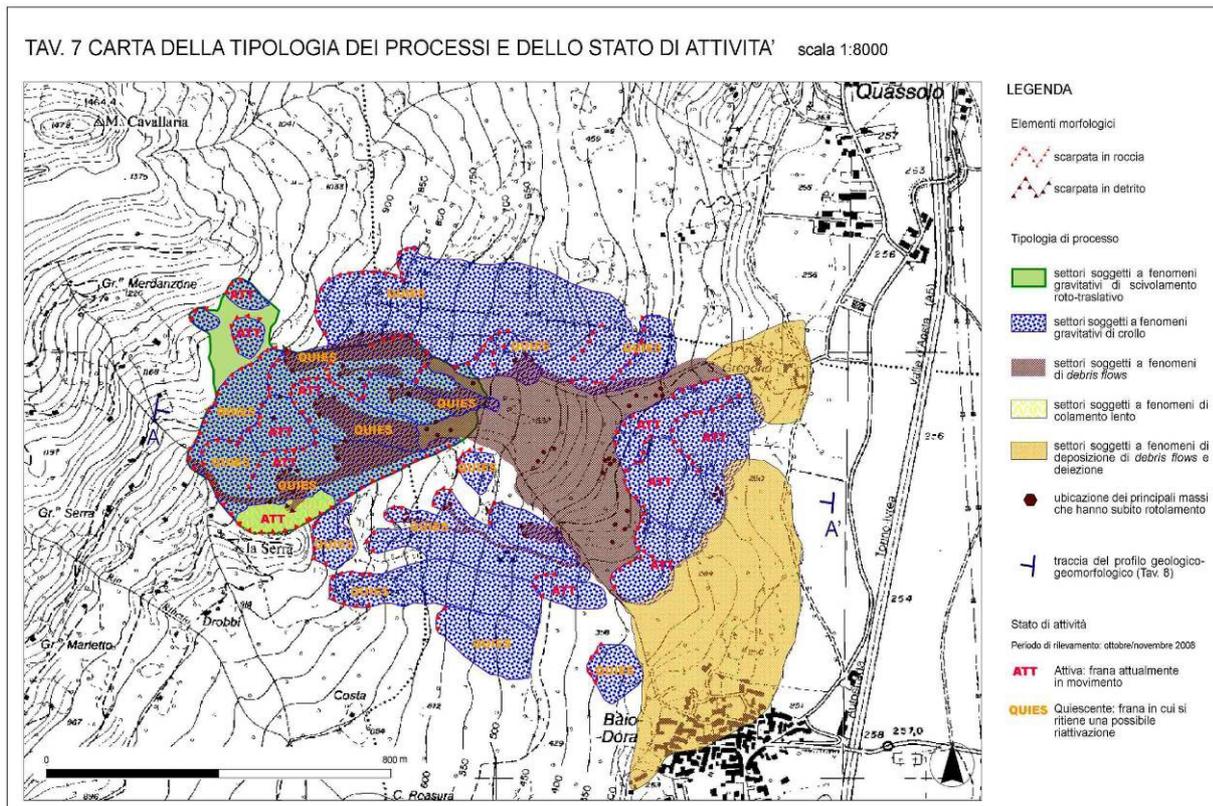


Figura 4.3 - Carta della tipologia dei processi e dello stato di attività

Attraverso un'analisi fotointerpretativa sono stati inoltre cartografati fenomeni di trasporto in massa più significativi, avvenuti nel 1942 e nel 1990. Sono state utilizzate le foto aeree derivanti da due voli differenti: quello della Royal Air Force (RAF) realizzato nel 1944, di proprietà di Arpa Piemonte, riprese durante il secondo conflitto mondiale, che ben rappresentano l'evento di maggior magnitudo avvenuto nel 1942 ed il volo della Regione Piemonte del 1991, realizzato dalla Compagnia Generale Riprese (Fontana – Parma).

Tali fenomeni, unitamente a quelli individuati precedentemente nella zonizzazione del fenomeno complesso sono confluiti all'interno della cartografia del SIFraP (Sistema Informativo Frane in Piemonte) di ARPA Piemonte (Figura 4.4)

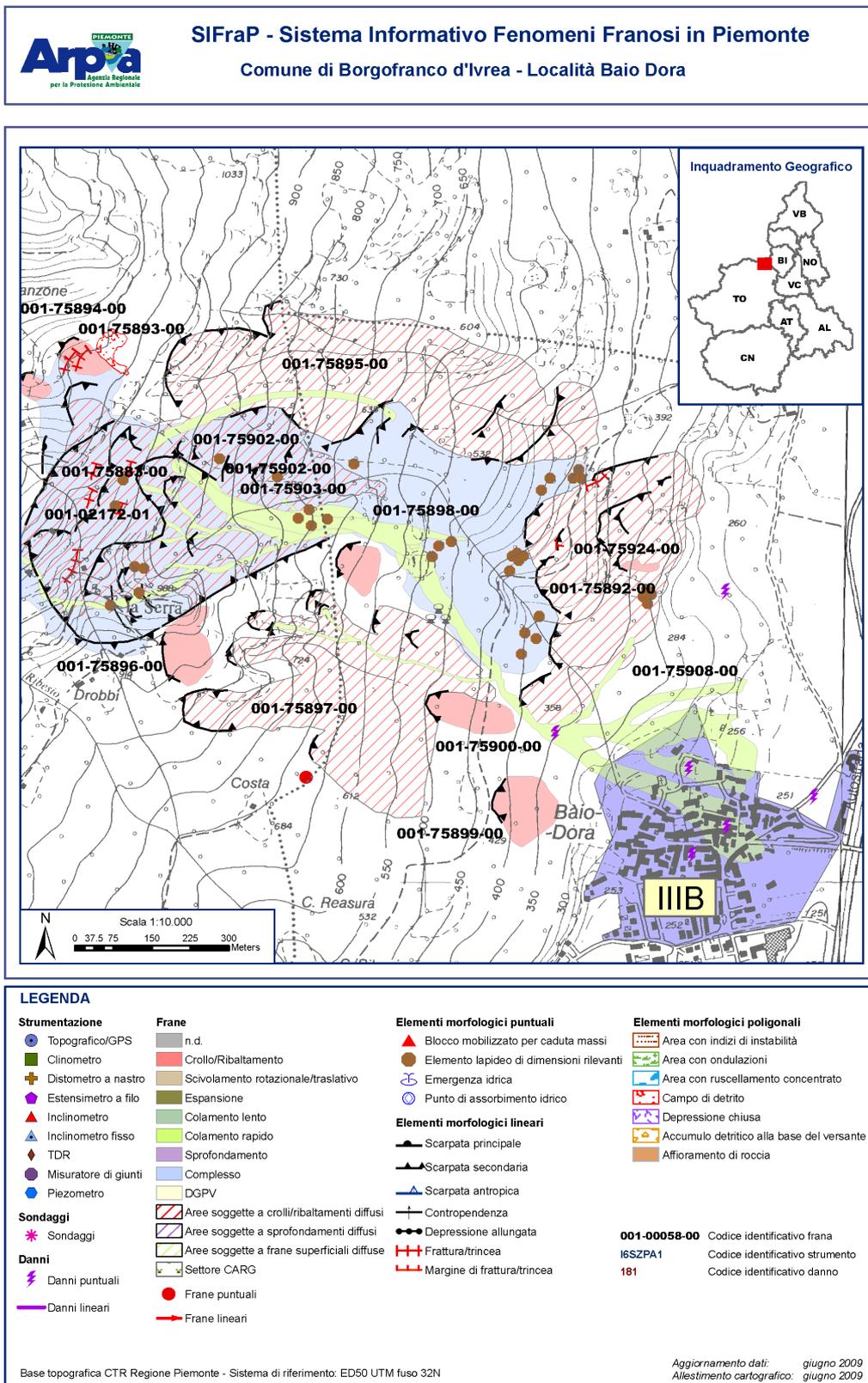
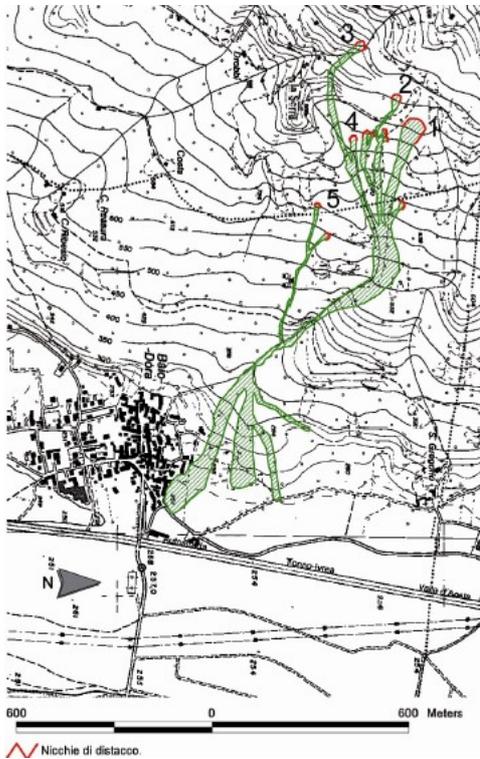
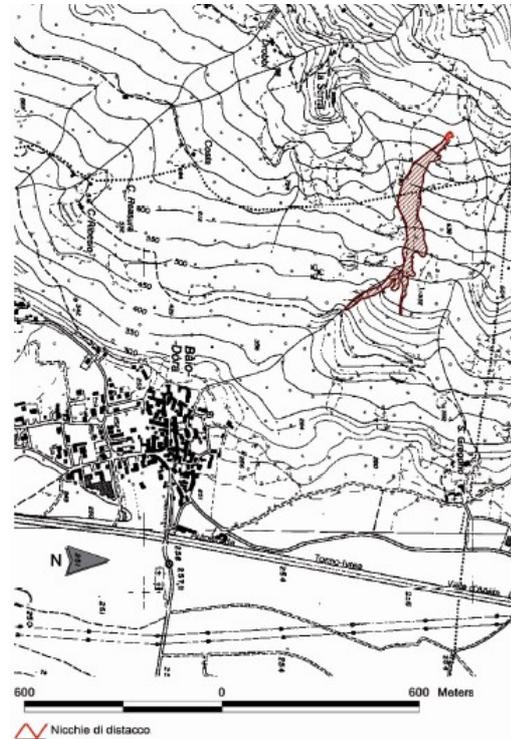


Figura 4.4 -Cartografia della frana di Baio Dora estratta dalla scheda di II livello SIFRAP



Colata detritica del 1942



Colata detritica del 1990

Figura 4.5 - Colata detritica del 1942 (a sinistra) e colata detritica del 1990 (a destra)

Modello interpretativo Frana Baio Dora (Fassone, 2009)

La Figura 4.6 schematizza attraverso la realizzazione di un profilo longitudinale e di una carta riepilogativa dei principali dati prodotti l'assetto geologico, strutturale e geomorfologico, della frana di Baio Dora.

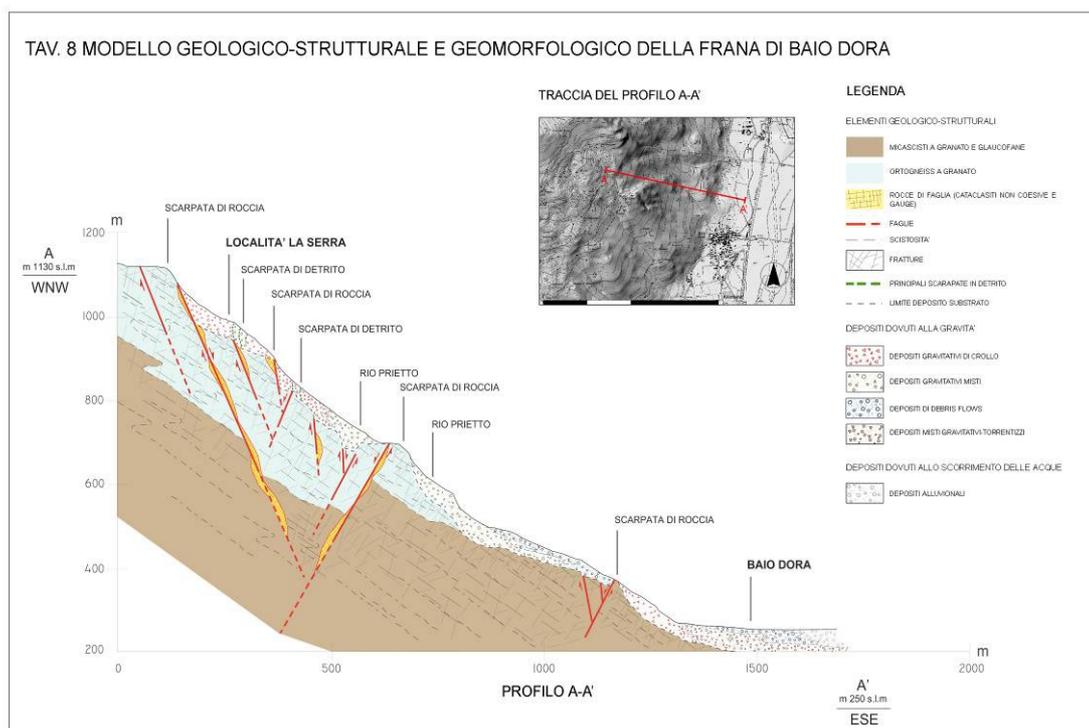


Figura 4.6 - Profilo geologico interpretativo (Fassone, 2009)

Dal profilo è possibile notare come le scarpate di coronamento del fenomeno franoso costituite litologicamente da ortogneiss siano l'espressione della forte disarticolazione del versante in atto.

L'analisi geologico-strutturale ha, infatti, permesso di evidenziare che:

- le scarpate principali e secondarie del fenomeno franoso si impostano su piani di faglia a carattere regionale o strutture minori ad esse associate;
- la frana si localizza in una zona d'intersezione di faglie regionali in cui si è avuta una forte concentrazione della deformazione con lo sviluppo di strutture transtensive che costituiscono una geometria "a fiore negativo", con associate fratture, cataclasti non coesive e gauge di spessore metrico.

A causa di questo stato di fratturazione e della morfologia del versante si suppone che la frana di Baio Dora si sia attivata in passato attraverso un primo collasso di versante con crolli diffusi.

L'evoluzione delle scarpate di coronamento, visto l'intenso stato di fratturazione e la presenza di rocce di faglia, avviene per andamento retrogressivo con il distacco di ingenti quantitativi di cunei e blocchi.

Il materiale detritico prodotto, di spessore medio stimato in 30-40 m, viene mobilizzato per lento scivolamento roto-traslato lungo superfici multiple impostate entro il detrito stesso e a contatto tra il substrato intensamente fratturato e il materiale detritico. Questa mobilitazione origina le numerose scarpate secondarie in detrito (evidenziate nel profilo di Figura 4.6 in tratteggiato verde) che si ritrovano sulla fascia di versante compresa tra le quote 1000 m s.l.m. e 800 m s.l.m..

L'identificazione dei settori caratterizzati da scivolamento roto-traslato si è basata su osservazioni qualitative realizzate sul terreno. Gli scivolamenti presentano infatti caratteristiche peculiari che li rendono distinguibili dagli altri fenomeni. Le nicchie di distacco in detrito sono caratterizzate da basso grado di rimodellamento e sono ben definite in quanto presentano altezze variabili comprese tra 2-4 m.

I depositi originati dalle scarpate in detrito sopra citate, ubicati nel settore occidentale del corpo di frana tra quota 1000 m s.l.m. e 500 m s.l.m., contrassegnati nel profilo in colore verde (depositi gravitativi misti), rappresentano accumuli di crollo, rimobilizzati da fenomeni di scivolamento roto-traslato. Tali depositi, in alcuni settori, si arrestano lungo il versante formando scarpate in controtendenza, e hanno basso grado di rimodellamento. La loro copertura arborea, nella zona di testata, mostra inclinazioni dei fusti verso monte. Le porzioni a valle di questi settori sono caratterizzati da un regime compressivo e gli alberi, al contrario di quanto accade nelle zone di testata, mostrano inclinazioni verso valle.

Da un'osservazione di insieme di questi settori, si osserva che i corpi detritici hanno subito spostamenti differenziali dovuti alla presenza di molteplici superfici di scivolamento.

Si possono infatti definire due aree:

area a) localizzata tra quota 1000 m s.l.m. e 850 m s.l.m., corrispondente ad un ammasso roccioso intensamente fratturato e disarticolato in cui si sono evidenziate le maggiori traslazioni. In seguito agli spostamenti si sono formate una serie di scarpate in detrito e trincee, soprattutto nella parte alta del versante al limite con l'area di distacco.

area b) localizzata tra quota 800 m s.l.m. e 700 m s.l.m. corrispondente ad un ammasso roccioso meno fratturato del precedente, in cui si è evidenziato un grado di rimodellamento da basso a medio e inclinazione del versante lievemente minore rispetto a quella del settore precedente. Gli spostamenti in questo settore sono evidenziati da due scarpate in detrito, in gran parte vegetate, che presentano grado di rimodellamento medio.

Gli spostamenti registrati dal sistema di monitoraggio interferometrico satellitare (PSInSAR), acquisiti nel periodo 1992-2001, confermano la zonizzazione definita attraverso le indagini di terreno. I settori a) e b) mostrano, infatti, sostanziali differenze di attività; ad esempio, le velocità di traslazione sono maggiori nel settore a) (14-15 mm/anno), rispetto a quelle rilevate nel settore b) (1-4 mm/anno).

Nella porzione inferiore del versante, indicativamente tra quota 600 m s.l.m. e 400 m s.l.m., l'evoluzione superficiale del fenomeno franoso, durante periodi di intense precipitazioni, si manifesta con fenomeni di debris flows.

Tali fenomeni si attivano lungo tratti di versante non incanalati, lungo l'asta del Rio Prietto e nei tratti di versante caratterizzati dalla presenza di impluvi minori.

L'espressione geomorfologica dei fenomeni di debris flows è rappresentata nel profilo allegato dai depositi di colore blu, ed è il risultato della rimobilizzazione dei depositi altimetricamente sovrastanti; infatti l'apporto continuo di materiale detritico, prodotto dal disfacimento delle scarpate di coronamento, comporta l'aumento di carico lungo il versante e, in associazione ai fattori esogeni, tende a mutare gli equilibri di stabilità della massa detritica alternando periodi di attività caratterizzati da lento scivolamento a repentini fenomeni di debris flows.

Questi ultimi, dall'analisi dello stato di attività dei diversi settori del corpo franoso e dalla raccolta dei dati storici, risultano avere un tempo di ritorno nell'intorno dei 10-18 anni.

Queste analisi fanno quindi ipotizzare un'evoluzione per fenomeni superficiali del corpo di frana. Tuttavia non è da escludere, visto l'intenso stato di fratturazione dell'ammasso roccioso, unitamente all'orientazione delle principali discontinuità tettoniche e alla giacitura di alcuni sistemi di frattura circa paralleli alla scistosità regionale (frana-poggio meno inclinato del pendio), un possibile sviluppo in profondità di piani di scivolamento per rottura di asperità in roccia.

4.3 Fattori predisponenti e determinanti

I fattori predisponenti del fenomeno gravitativo generale (crolli dalle pareti superiori e scivolamento lento del corpo detritico centrale) sono da attribuirsi al contesto geologico-strutturale sul quale si imposta, alle condizioni di fratturazione dell'ammasso roccioso, ai fenomeni di alterazione e al contrasto di permeabilità tra substrato e detrito. I risultati delle analisi strutturali hanno evidenziato che la frana di Baio Dora si localizza all'interno di una zona di intersezione di faglie regionali caratterizzate da strutture transtensive con associate cataclasiti non coesive e *gauche* di spessore metrico. Il quadro strutturale è inoltre complicato dalla presenza di 5 sistemi di frattura associati alle faglie regionali che, insieme alla scistosità, agiscono come elementi predisponenti nell'insorgere di fenomeni di crollo.

Le condizioni morfologiche del versante in termini di energia di rilievo, unitamente ai presupposti strutturali dell'ammasso roccioso e agli intensi fenomeni di alterazione, incrementano le condizioni di instabilità del versante. Per ciò che concerne il settore centrale in scivolamento lento, un ruolo determinante è giocato dal contrasto di permeabilità tra i materiali detritici accumulati lungo il versante e il substrato roccioso sottostante.

Relativamente invece alle colate detritiche, quanto sopra descritto determina la presenza di ingenti quantità di materiale detritico in equilibrio precario. La causa determinante principale è da attribuirsi sempre agli eventi pluviometrici intensi, talvolta in concomitanza con la fusione del manto nevoso.

5 Sistemi di controllo

5.1 Dati di monitoraggio

I progettisti geol. Rabajoli e l'Ing. Tuberga, incaricati dall'Amministrazione Comunale di Borgofranco d'Ivrea, 8 aprile 1999 eseguono una relazione tecnica illustrativa atta ad evidenziare una possibile indagine geognostica e un monitoraggio geotecnico della frana in località Baio Dora.

Nel corso del 2009, ARPA Piemonte ha realizzato un monitoraggio topografico GPS per il controllo del fenomeno franoso in oggetto. La rete di capisaldi è al momento costituita da quattro capisaldi installati sul fenomeno franoso vero e proprio e da tre capisaldi di riferimento esterni al movimento franoso. Nel corso delle prossime campagne di misura verrà valutata l'opportunità di integrare l'attuale configurazione con altri capisaldi.

Il 15 maggio 2009 i tecnici di ARPA Piemonte hanno completato l'installazione ed effettuato la lettura manuale di origine del sistema ovvero la lettura alla quale saranno riferite tutte le successive misure.

La seguente Tabella 5.1 la successione delle letture sinora effettuate su tale sito.

Tabella 5.1 - Sintesi delle letture GPS effettuate

| Letture | Data |
|--------------------------------|------------|
| Letture di origine del sistema | 15/05/2009 |
| 1ª lettura di esercizio | 31/03/2010 |
| 2ª lettura di esercizio | 07/04/2011 |

In particolare in Tabella 5.2 viene riportato il dettaglio degli spostamenti sui singoli capisaldi.

Tabella 5.2 - Movimenti GPS registrati nel periodo maggio 2009 - aprile 2011

| punto | R(xy) (mm) | Azimuth (°N) | Vel media (mm/y) |
|---------|------------|--------------|------------------|
| G6BGIA1 | 16,6 | 124 | 8,5 |
| G6BGIA2 | 19,9 | 124 | 10,2 |
| G6BGIA3 | 6,0 | 94 | 3,9 |
| G6BGIA4 | 18,1 | 94 | 9,9 |

La Figura 5.1 riporta invece gli spostamenti negli anni dei diversi capisaldi. La pendenza della retta rappresenta la velocità media di spostamento. Si può notare come la velocità si sia mantenuta pressoché costante per l'intero periodo di misura, non sono presenti periodi di accelerazione o rallentamento della velocità di movimento. L'unico caposaldo che non riporta spostamenti significativi è il G6VPSA4, posto al di fuori della zona in frana.

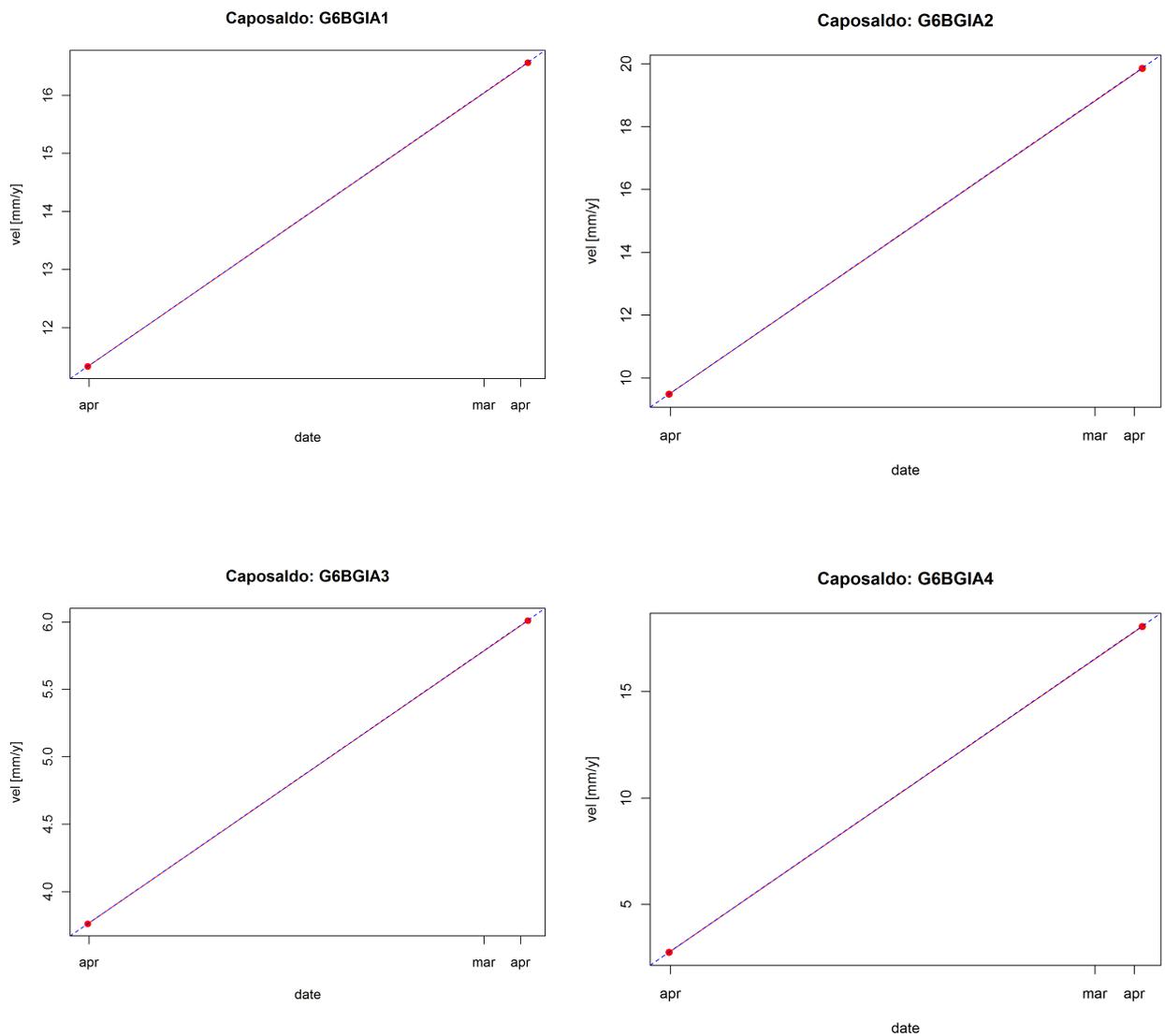


Figura 5.1 - Grafici tempo/spostamento del capisaldi GPS, per il periodo compreso tra maggio 2009 - aprile 2011. I capisaldi sono stabili.

5.2 Dati Interferometrici

Sono state analizzate le deformazioni superficiali mediante elaborazioni dei dati PSInSARTM relativi agli anni 1992-2001 (rilevati dai sensori ERS-1 e ERS-2 dell'Agenzia Spaziale Europea) e SqueeSAR, relative al periodo 2003-2009, rilevate dal satellite RADARSAT (cfr. par. 3.4).

Nel caso specifico dell'area di Baio Dora, essendo l'esposizione del versante orientata ad Est, sono stati utilizzati dataset ascendenti. All'interno del corpo di frana sono presenti una decina di PS (bersagli naturali in genere costituiti da rocce esposte) per i quali è stato possibile misurare, nell'intero arco temporale di osservazione, gli spostamenti relativi rispetto ad un punto di riferimento considerato stabile. La precisione delle misure ottenute è dell'ordine dei mm/y. Le velocità di spostamento rilevate con tecnica PSInSARTM non sono da intendersi come spostamenti puramente verticali, bensì come variazioni di distanza tra sensore e bersaglio lungo la direzione di puntamento dell'antenna (LOS, line of sight). Tale direzione risulta avere un'inclinazione rispetto alla verticale di circa 23 gradi per i sensori ERS ed ENVISAT e, verso all'incirca est: tale configurazione permette di considerare gli spostamenti lungo la LOS come sufficientemente rappresentativi dei fenomeni deformativi della frana di Baio Dora.

I risultati dell'analisi PSInSAR (velocità medie annue di deformazione) evidenziano la presenza di movimenti differenziali all'interno del corpo di frana superiore, a conferma di quanto individuato su base geomorfologiche. Sono stati quindi individuati settori attivi ed altri quiescenti, con velocità massime di movimento fino a 14 mm/y (nella porzione compresa tra le quote 850 e 1000 m di altitudine). Nella porzione compresa tra le quote 600 e 850 m si rilevano velocità di spostamento decisamente più basse (1-4 mm/y). I PS distribuiti fuori dall'area in frana (specificatamente a monte del coronamento principale e verso nord) non risultano essere coinvolti da movimento.

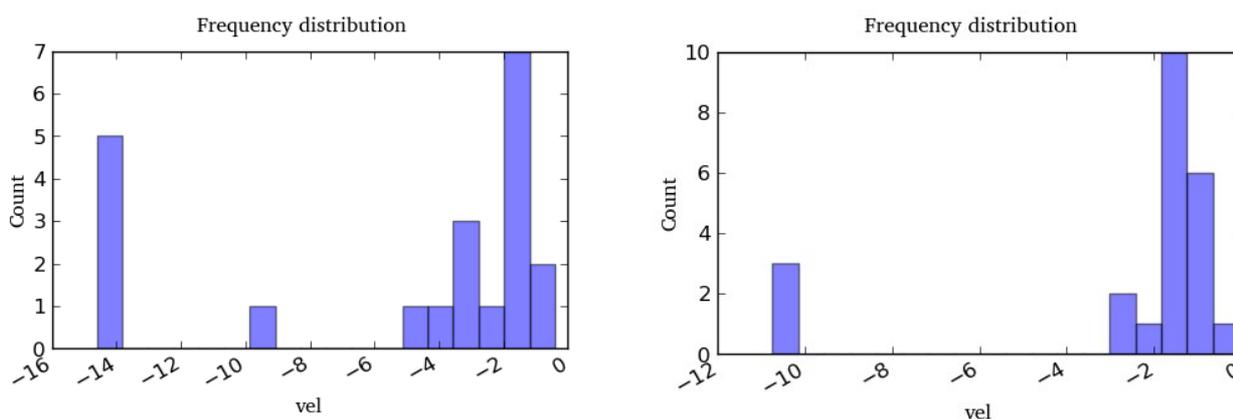


Figura 5.2 - A sinistra, distribuzione delle velocità di spostamento lungo la LOS per i PS contenuti all'interno della geometria in frana. Dati ERS geometria ascendente, analisi locale; a destra dati RADARSAT geometria ascendente,.

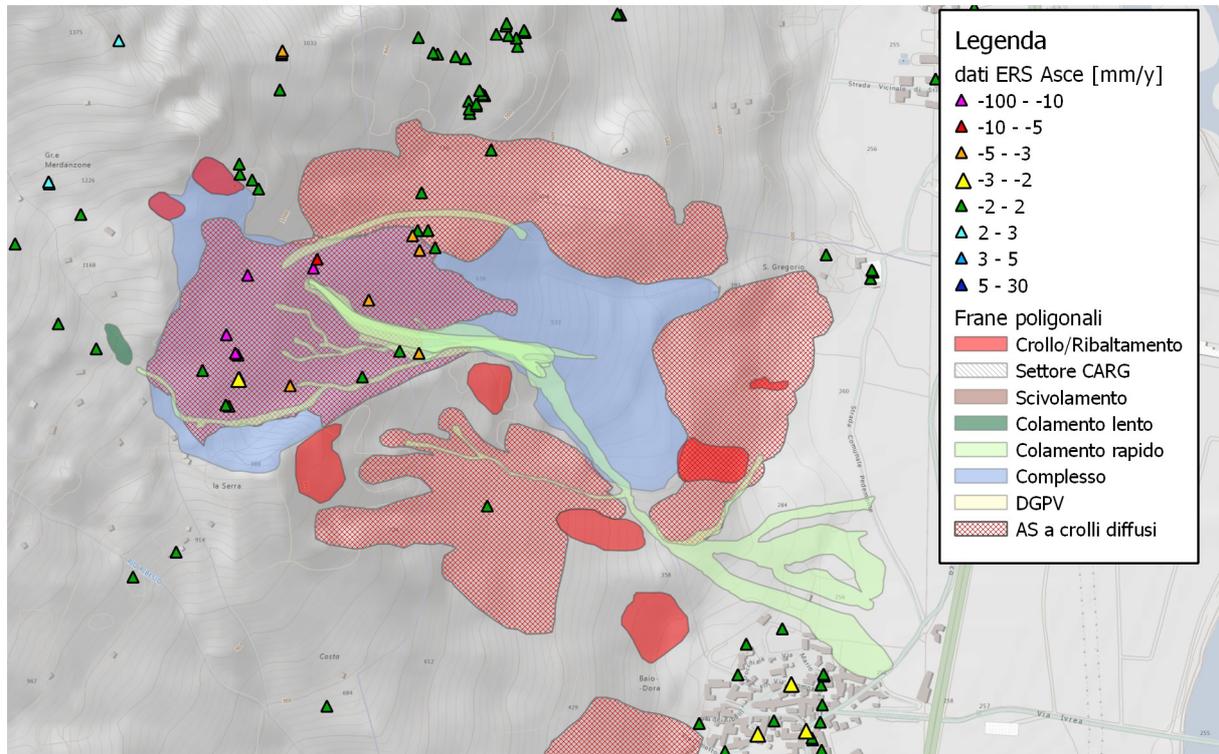


Figura 5.3 - Quadro dei dati derivanti dall'analisi PSInSAR delle immagini ERS geometria ascendente.

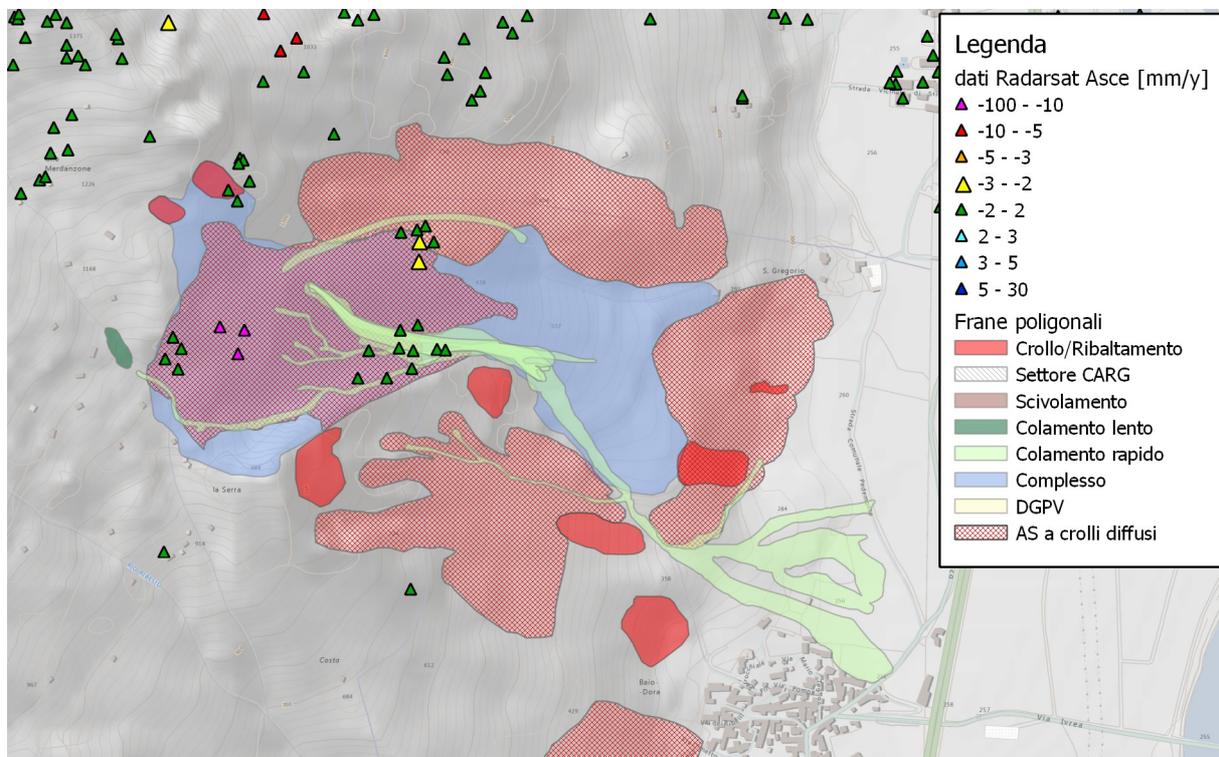


Figura 5.4 - Quadro dei dati derivanti dall'analisi SqueeSAR delle immagini RADARSAT geometria ascendente.

I dati derivanti dalle immagini RADARSAT evidenziano velocità medie annue di deformazione sensibilmente più basse: nella porzione compresa tra le quote 850 e 1000 m di altitudine si registrano velocità massime di movimento fino a 10 mm/y mentre nella porzione compresa tra le quote 600 e 850 m i dati PS evidenziano una sostanziale stabilità dell'area (velocità inferiori ai 2 mm/y).